



بررسی اکوکاردیوگرافیک فونکسیون بطن راست در کودکان با تترالوژی فالوت و کاندید تعویض دریچه پولمونری؛ مقایسه با یافته‌های MRI

رویا عیسی تفرشی^۱: فوق تخصص قلب کودکان، دانشیار، گروه کودکان، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران (* نویسنده مسئول)

محمد راد گودرزی^۲: فوق تخصص قلب کودکان، دانشیار، گروه کودکان، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

مریم حسنی^۳: متخصص کودکان، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

محمد علی نوابی شیرازی^۴: استاد جراحی قلب، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

چکیده

کلیدواژه‌ها

تترالوژی فالوت، تعویض دریچه شریان پولمونری، عملکرد بطن راست، اکوکاردیوگرافی، MRI کودکان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۶
تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶

زمینه و هدف: بسیاری از بیماران مبتلا به تترالوژی فالوت بعداز ترمیم جراحی اولیه، نیاز به تعویض دریچه شریان پولمونری -PVR) به علت نار سایی پولمونری پر شرونده خواهند داشت. اغلب زمان مناسب برای جراحی بر اساس معیارهای عملکرد و اندازه بطن راست در MRI تعیین می‌گیرد. هدف از این مطالعه بررسی ارزش تشخیصی معیارهای اکوکاردیوگرافیک در پیش‌بینی شاخص‌های استاندارد در MRI و جلوگیری از تعدد انجام این تست قبل از انجام PVR است.

روش کار: طی مطالعه توصیفی - مقطعي حاضر، اکوکاردیوگرافی استاندارد در ۳۷ بیمار $2/2 \pm 10/8$ سال با سابقه جراحی ترمیمی و نارسایی پولمونری شدید انجام و معیارهای عملکرد و اندازه بطن با یافته‌های استاندارد شده در MRI مقایسه گردید.

یافته‌ها: RV Fractional area change (RV-FAC) و همین طور Fractional shortening (FS) مجاور شده برای مجرای خروجی بطن راست (RVOT-FS) با کسر جهشی بطن راست- (Right ventricular ejection fraction-RVEF) در MRI (CMR-RVEF) در RVEF میزان (MPI) سرعت موج 's و میزان (IVA) Isovolumic myocardial acceleration (IMA) به دست آمده با دایلر بافتی، با حجم بطن راست در MRI وابستگی آماری نشان دادند.

نتیجه‌گیری: اندازه‌گیری هر دو شاخص RV-FAC و RVOT-FS در پیش‌بینی میزان CMR-RVEF به عنوان یکی از مهم‌ترین معیارهای تعیین کننده نیاز به انجام PVR حائز اهمیت است. همین طور محا سبه معیارهای عملکرد طولی بطن تو سط دایلر بافتی در پیش‌بینی و پیگیری روند دیلاتاسیون بطن در MRI ثانویه به افزایش بار حجمی بطن، به عنوان شاخص‌های مهم بعدی کاربرد دارند. لذا بررسی مجموعه شاخص‌های اکوکاردیوگرافیک فوق در طی مراجعات دوره‌ای در تخمین شاخص‌های استاندارد فعلی در MRI مفید و در کاهش دفعات انجام MRI در پیگیری بیماران نقش به سزاگی خواهد داشت.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت‌کننده: حامی مالی ندارد.

شیوه استناد به این مقاله:

Isa Tafreshi R, Radgoodarzi M, Hassani M, Navabi Shirazi MA. Evaluation of Right Ventricular Function in Children with Repaired Tetralogy of Fallot Who May Undergo Pulmonary Valve Replacement by Echocardiography; A Comparison with MRI findings. Razi J Med Sci. 2024(5 May);31.22.

Copyright: ©2024 The Author(s); Published by Iran University of Medical Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.en>).

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 4.0 صورت گرفته است.



Original Article

Evaluation of Right Ventricular Function in Children with Repaired Tetralogy of Fallot Who May Undergo Pulmonary Valve Replacement by Echocardiography; A Comparison with MRI findings

✉ Roya Isa Tafreshi: MD, Pediatric Cardiologist, Associate Professor, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

(*Corresponding Author) isatafreshi.r@iums.ac.ir

Mohammad Radgoodarzi: MD, Pediatric Cardiologist, Associate Professor, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Maryam Hassani: MD, Pediatrician, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Mohammad Ali Navabi Shirazi: MD, Professor of Pediatric Cardiac Surgery, Private Consultant of Pediatric Cardiac Surgery, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Background & Aims: Tetralogy of Fallot (TF) represents the most prevalent form of cyanotic congenital heart disease, characterized by chronic pulmonary regurgitation, the foremost postoperative complication leading to right ventricular (RV) dilation, progressive RV dysfunction, and life-threatening arrhythmia (2). Multiple criteria have been established to determine the optimal timing for surgical intervention in asymptomatic patients for this progressive condition. Nevertheless, achieving consensus on the optimal timing of pulmonary valve replacement (PVR) remains elusive (2, 11). An essential criterion for this decision is the assessment of RV systolic function, which proves challenging due to the complex RV geometry and the absence of standardized methods for RV volume assessment. Consequently, the limitations of echocardiography have prompted the use of cardiac MRI (CMR) as an essential tool for RV size and function assessment (6, 10). However, the limited availability and accessibility of CMR compared to echocardiography highlight the need for reliable and reproducible echocardiographic methods to determine the appropriate timing for CMR assessment (8, 9, 50).

The objective of our study was to identify optimal echocardiographic parameters for RV function and size that would indicate the necessity for further CMR evaluation. Additionally, we aimed to investigate potential correlations between echocardiographic measures of RV systolic function and CMR-derived parameters.

Methods: This is a prospective study of patients with repaired TF who revealed severe pulmonary regurgitation or severe RV dilation and who underwent cardiac MRI between 2015 and 2022. A trained physician, blinded to CMR data, conducted the transthoracic echocardiographic study within six months before the CMR evaluation. Inclusion criteria were: (1) age below 18 years, (2) significant RV dilation, (3) absence of significant residual cardiac lesions or arrhythmias, (4) left ventricular ejection fraction (LVEF) greater than 50%, (5) no limitations in daily physical activities (NYHA functional class I), and (6) absence of concomitant diseases.

All patients exhibited regular sinus rhythm with complete right bundle branch block. The study protocol followed the guidelines of the Declaration of Helsinki for humans and was approved by our institutional review board.

Echocardiographic data were obtained and analyzed according to the guidelines of the American Society of Echocardiography (14, 15, 26). To measure ventricle size in the four-chamber view, the largest transverse diameter of the right ventricle in the basal third was recorded and expressed in millimeters, then compared with the data obtained in MRI.

Quantitative RV function was assessed by calculating fractional area change (FAC) and right ventricular outflow tract fractional shortening (RVOT-FS) using 2D echocardiography. FAC, considered one of the best-validated quantitative methods for measuring RV function, with a value of less than 35%, is considered indicative of ventricular dysfunction(16, 20). Tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) of the lateral tricuspid annulus, a reproducible

Keywords

Tetralogy of Fallot,
Pulmonary valve
replacement,
Right ventricular
function,
Echocardiography,
MRI

Received: 28/10/2023

Published: 05/05/2024

marker of RV systolic function, was measured using 2D-guided M-mode from the apical 4-chamber view. Previous reports have shown that TAPSE less than 16 mm is correlated with RV systolic dysfunction(21). The longitudinal performance of the RV was evaluated using Tissue Doppler Imaging (TDI) by measuring parameters at the lateral corner of the tricuspid valve annulus. The peak longitudinal systolic velocity of the RV free wall (s') was obtained as an index of regional RV systolic function, with values less than 9.5 cm/s considered indicative of right ventricular dysfunction(26). Additionally, myocardial acceleration during isovolumic contraction (IVA) as a measure of ventricular contractility was calculated from the basal level of the RV-free wall. Also, the TDI-derived myocardial performance index (TDI-MPI) was determined from the lateral ring of the tricuspid valve(22).

Results: The study included 37 patients with an average age of 10.8 ± 2.2 (range:7-17) years who underwent TF repair at an average age of 13.8 ± 5.5 months. All patients received a trans annular patch enlargement of the right ventricular outflow tract, with a median follow-up post-operation of 9.5 ± 2.1 years. All patients exhibited LVEF within the normal range, and none had RVEF less than 40% by CMR. We observed a significant correlation between echocardiographic-derived RV end-diastolic diameter and RV end-diastolic volume obtained by CMR ($r=0.61$, $p< 0.05$). RV-FAC<35% was not seen in any of the patients and the values of RV-FAC were correlated with CMR-derived RVEF ($P<0.01$, $r =0.58$). Furthermore, RVOT-FS, as one of the new measures of RV systolic function, showed a direct statistical relationship with CMR-RVEF ($P< 0.02$, $r=0.57$) (20). Although TAPSE values were lower than those reported in the normal population, there was no statistical correlation with CMR-RVEF or right ventricular volumes (9, 37). MPI was calculated as an important measure of global RV function with an average value of 0.48 ± 0.08 , but no significant correlation was found with CMR-RVEF. IVA values, as another measure of longitudinal function of the right ventricle, were found within the normal range, but the statistical relationship between this measure and CMR-RVEF was not seen (29, 47). The average s' wave velocity was 7.2 ± 1.4 cm/s, lower than the normal population in previous reports, but had no statistical relationship with CMR-RVEF (26). On the other hand, our findings revealed a significant correlation between s' velocity, and IVA values with ventricular diastolic volume, which is consistent with previous studies (30, 39).

Conclusion: Measuring both RVOT-FS and RV-FAC indices by echocardiography is crucial in predicting CMR-RVEF, serving as one of the most important standard criteria in deciding the appropriate timing for PVR. Simultaneously, monitoring the increase of right ventricular diameter with echocardiography offers an easy and accurate method to estimate the severity of ventricular dilatation. IVA and s' wave, as indicators of regional right ventricular myocardial function, along with MPI as an index of global ventricular function, correlated with the degree of ventricular dilatation caused by increased volume load and will play a role in the follow-up process of patients with repaired TF. Therefore, measuring this set of echocardiographic indices is important in estimating both CMR-derived RVEF and RV diastolic volume, significantly contributing to reducing the frequency of MRI in the follow-up of patients with repaired TF.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Cite this article as:

Isa Tafreshi R, Radgoodarzi M, Hassani M, Navabi Shirazi MA. Evaluation of Right Ventricular Function in Children with Repaired Tetralogy of Fallot Who May Undergo Pulmonary Valve Replacement by Echocardiography; A Comparison with MRI findings. Razi J Med Sci. 2024(5 May);31:22.

Copyright: ©2024 The Author(s); Published by Iran University of Medical Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.en>).

*This work is published under CC BY-NC-SA 4.0 licence.

کامل در تمام مراکز درمانی، هزینه بالا، مدت زمان طولانی تصویربرداری و عدم امکان انجام آن برای بعضی بیماران، همواره اکو کاردیوگرافی به عنوان یک روش جایگزین ارزشمند در پیگیری بیماران مطرح بوده است (۱۰-۸). در صورت اثبات ارزش تشخیصی معیارهای جدید اکو کاردیوگرافیک خصوصاً در مورد تعیین عملکرد بطن راست، از انجام و تکرار MRI در روند پیگیری بیماران کاسته خواهد شد. به این ترتیب همچنان اکو کاردیوگرافی نقش کلیدی در بررسی دوره ای و طولانی مدت بیماران ایفا کرده و همچنان نقشی ارزشمند در کاهش موارد نیاز به MRI خواهد داشت (۱۱).

هدف از این مطالعه بررسی دقت و ارزش معیارهای جدید اکو کاردیوگرافیک در تشخیص اختلال عملکرد و اندازه بطن راست و همین طور بررسی میزان ارتباط با معیارهای استاندارد شده فعلی در MRI جهت تعیین زمان مناسب برای PVR خواهد بود.

روش کار

این مطالعه توصیفی- مقطعی در طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۴ روی ۳۷ بیمار با نارسایی شدید پولمونری در طی مراجعات دوره ای و روند معمول درمان بیماران انجام شد. روش انجام مطالعه توسط کمیته اخلاق دانشکده پزشکی مورد تایید قرار گرفته است. مشخصات لازم برای ورود به مطالعه شامل موارد زیر بود: ۱- سن زیر ۱۸ سال، ۲- دیلاتاسیون شدید بطن راست در اکو کاردیوگرافی، ۳- عدم وجود ضایعه باقیمانده شدید قلبی مثل نارسایی دریچه تریکوسپید و تنگی دریچه پولمونری، ۴- $LVEF < 50\%$ ، ۵- عدم محدودیت در فعالیت (NYHA class I) و ۶- عدم وجود بیماری زمینه‌ای.

بیماران با سابقه جراحی ترمیمی به طور دوره ای تحت بررسی اکو کاردیوگرافیک قرار می‌گرفتند. در صورت وجود نارسایی پولمونری شدید و یا دیلاتاسیون بطن راست شدید، کاندید احتمالی PVR قرار گرفته و لذا جهت انجام MRI معرفی می‌شدند. طبق آخرین دستورالعمل منتشر شده، معیارهای مطرح کننده نیاز به تعویض دریچه پولمونری در MRI شامل حجم پایان سیستول - دیاستول، کسر جهشی بطن

مقدمه

بیماری تترالوژی فالوت شایع‌ترین بیماری سیانوتیک قلبی در کودکان است. علی‌رغم پیشرفتهای مهم در روش جراحی، بسیاری از بیماران از اختلالات همودینامیک یا الکتروفیزیولوژیک بعد از ترمیم جراحی رنج می‌برند. نارسایی دریچه پولمونری شایع‌ترین عارضه پایدار در بیماران بوده و سبب افزایش بار حجمی مزمن در بطن راست می‌شود. تغییرات ساختاری ثانویه به نارسایی دریچه پولمونری، آکینزی در دیواره مجرای خروجی بطن راست بعد از ترمیم جراحی و همین‌طور اختلالات هدایتی ناشی از ونتریکولوتومی، سبب بروز اختلالات پاتوفیزیولوژیک خواهد بود که در نهایت سبب اختلال عملکرد، دیلاتاسیون بطن راست، کاردیومیوپاتی الکترومکانیکال و افزایش مورتالیتی خواهد شد (۱، ۲). تعویض دریچه شریان پولمونری (Pulmonary valve replacement-PVR) جهت کنترل عوارض پیشرونده، ناشی از تغییرات فوق در بطن راست انجام می‌شود. علی‌رغم تحقیقات متعدد، تعیین زمان مناسب برای جراحی همچنان چالشی بزرگ در این بیماران محسوب می‌شود.

با توجه به ماهیت پیچیده بیماری، تغییرات ساختاری بعد از جراحی ترمیمی اولیه و ساختار خاص و پیچیده بطن راست، استفاده از روش‌های مختلف تشخیصی جهت تعیین دقیق میزان تغییرات بطن راست و زمان مناسب برای انجام PVR تو صیه شده است (۳، ۴). در جدیدترین دستورالعمل معیارهای پیشنهادی برای تعیین زمان PVR بر اساس معیارهای نشان‌دهنده عملکرد و اندازه بطن راست در اکو کاردیوگرافی، نوار قلب و MRI قبل از عمل PVR و بهبود آن‌ها بعد از تعویض دریچه تعیین شده است. به این ترتیب و با توجه به محدودیت‌های موجود در هر یک از معیارها از یک سو و تاثیر انواع فاکتورهای خطر قبل از PVR بر پیش آگهی بیمار و خصوصاً به علت ساختار پیچیده بطن راست، اندازه گیری و محاسبه مجموعه ای از معیارهای مختلف فوق، جهت تعیین زمان مناسب PVR، ضروری خواهد بود (۵-۷). به هر حال، یکی از مهم‌ترین معیارها، تعیین حجم و عملکرد بطن راست در MRI است که قبل از تصمیم گیری جهت انجام PVR صورت می‌گیرد. با توجه به محدودیت‌های MRI خصوصاً عدم دسترسی

فونکسیون بطن راست بوده با میزان کمتر از ۳۵٪ غیر طبیعی تلقی می‌شود (۱۶-۱۹).

(RV outflow tract fractional shortening - RVOT-FS) یا کسر جهشی مجرای خروجی بطن راست: در نمای پارالاسترناال و در سطح دریچه آورت، قطر مجرای خروجی بطن راست در پایان دیاستول و سیستول اندازه‌گیری و طبق فرمول زیر محاسبه و بر اساس درصد ثبت شد (قطر پایان دیاستول - قطر پایان سیستول / قطر پایان دیاستول) (۱۲). در مطالعات قبلی میزان کمتر از ۲۵٪ ذشاشة اختلال عملکرد سیستولیک بطن راست و به نفع وجود $<35\%$ RVEF در MRI بوده است (۲۰).

Tricuspid annular plane systolic (TAPSE)-excursion یا حرکت سیستولیک رینگ دریچه تریکوسپید: به عنوان معیار جدید قدرت انقباضی میوکارد بطن راست مطرح و توسط اکوکاردیوگرافی M-mode به دست می‌آید. برای اندازه‌گیری در نمای چهار حفره‌ای و در رینگ خارجی تریکوسپید شبیه حرکت آنولوس در زمان سیستول اندازه‌گیری و به شکل میلی متر بیان شد. در مطالعات قبلی مقادیر کمتر از ۱۶ میلی متر به نفع اختلال عملکرد بطن راست نشان داده شده است (۲۱).

با توجه به نقش مهم داپلر بافتی در تعیین عملکرد بطن، سهولت و قابل اطمینان بودن معیارهای به دست آمده با این روش، چند معیار جدید نشان دهنده عملکرد طولی و گلوبال بطن راست با این روش اندازه‌گیری شد. Myocardial performance index(MPI)-پرفورمانس میوکارد: در مطالعات قبلی ارزش تشخیصی MPI به عنوان معیار عملکرد گلوبال سیستولیک و دیاستولیک بطن با حساسیت بالا و بدون وابستگی به ژئومتری بطن نشان داده شده است (۲۲)، محاسبه این اندرس به روش داپلر بافتی از سهولت بیشتر برخوردار و بیشتر اختصاصی بوده است (۲۳)، جهت محاسبه به روش داپلر بافتی، sample volume در قسمت لترال رینگ تریکوسپید قرار گرفته و امواج مربوط به حرکت سیستولیک و دیاستولیک میوکارد در طی یک سیکل قلبی ثبت شد. فاصله زمانی

(Right ventricular ejection fraction- RVEF) و شدت نارسایی پولمونری مشخص و جمع آوری شد (۵). بررسی MRI با فاصله کمتر از شش ماه از بررسی اولیه اکوکاردیوگرافیک انجام و سپس شاخص های اکوکاردیوگرافیک نشان دهنده اندازه و عملکرد بطن راست با معیارهای MRI مورد مقایسه قرار گرفت (۹، ۱۲، ۱۳). به این ترتیب ارزش تشخیصی شاخصهای جدید اکوکاردیوگرافیک در پیش‌بینی معیارهای استاندارد شده فعلی در MRI بررسی شد.

اندازه‌گیری معیارها در سه سیکل جداگانه انجام و سپس میانگین آن جهت بررسی آماری مورد استفاده قرار گرفت و نوار قلب نیز به شکل همزمان ثبت می‌شد. الف- بررسی اکوکاردیوگرافیک: اکوکاردیوگرافی ترنس توراسیک استاندارد شامل 2D, M-mode, داپلر و داپلر بافتی طبق دستور العمل انجمن اکوکاردیوگرافی امریکا و توسط یک متخصص بدون اطلاع از نتایج MRI انجام شد (۱۳-۱۵). برای اندازه‌گیری کمی اندازه و عملکرد بطن از روش D-2 و M-mode استفاده شد. در بررسی داپلر بافتی معیارهای جدید عملکرد سیستولیک گلوبال و یا longitudinal که غیر وابسته به ژئومتری بطن می‌باشند، اندازه‌گیری شد.

جهت تعیین اندازه بطن راست، در نمای چهار حفره‌ای، بزرگ‌ترین قطر عرضی بطن راست در قسمت یک سوم بازال بطن ثبت و به شکل میلی متر بیان شد و با قطر به دست آمده در MRI مقایسه گردید.

با توجه به پیچیدگی‌های عملکرد بطن راست و تغییرات ژئومتریک بعد از جراحی ترمیمی، جهت بررسی فونکسیون سیستولیک بطن راست، چند معیار متفاوت به ترتیب زیر محاسبه و با یافته‌های به دست آمده در MRI مقایسه گردید.

Fractional area change(RV-FAC) یا کسر جهشی سطحی بطن راست: در نمای چهار حفره‌ای سطح داخلی حفره بطن راست در زمان سیستول و دیاستول تعیین و طبق فرمول زیر محاسبه شده و به شکل درصد ثبت شد (سطح پایان دیاستول - سطح پایان سیستول / سطح پایان دیاستول). FAC یکی از بهترین روش‌های تایید شده کمی در اندازه‌گیری

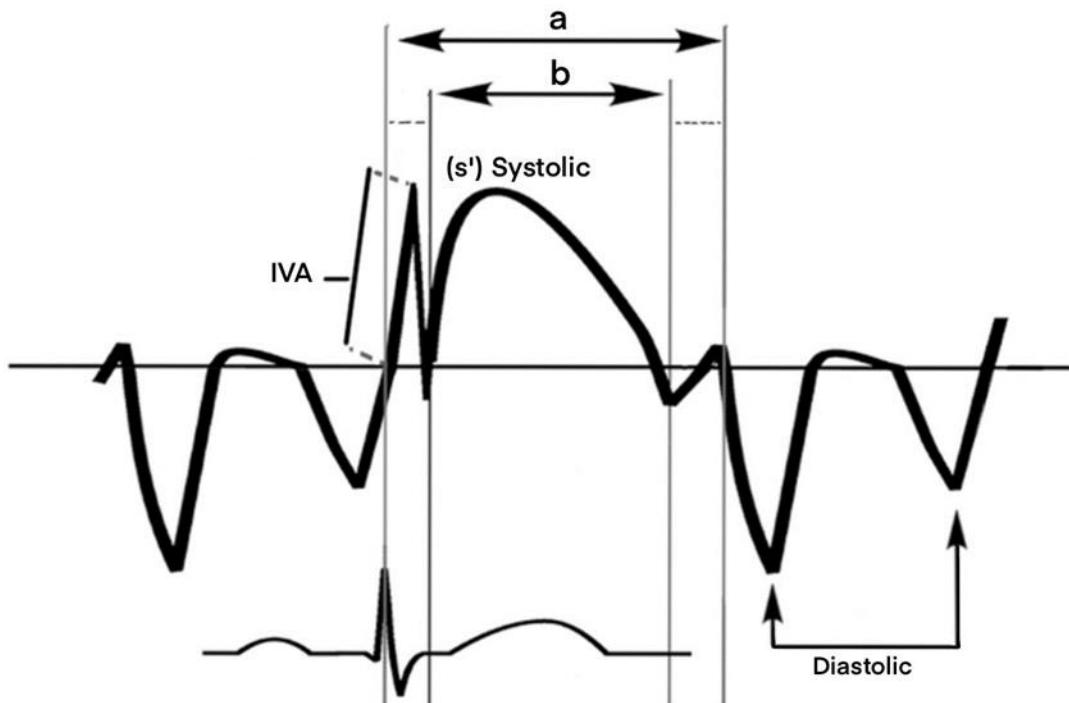
انقباضی طولی بطن راست و به عنوان معیار مناسب نشان دهنده عملکرد بطن راست در بیماری‌های سرنشی و هیپرتانسیون ریوی معرفی شده است. به طوری که مقادیر کمتر از ۹,۵ سانتی متر/ثانیه به عنوان نشانه اختلال عملکرد بطن راست معرفی شده است (۲۶).

ب - MRI (CMR) با سیستم steady-state free precession (SSFP) از قاعده تا آپکس و طبق پروتکل استاندارد انجام و تصاویر استاندارد برای محاسبه معیارهای حجمی و عملکردی بطن راست شامل حجم پایان دیاستول و پایان سیستول اندکس شده بر اساس سطح بدن، RVEF-CMR و شدت نارسایی پولمونری توسط رادیولوژیست بی اطلاع از یافته‌های اکوکاردیوگرافیک گزارش شد. RVEF کمتر از ۴۵٪ غیر طبیعی تلقی شد. نارسایی پولمونری بیش از ۳۰٪ شدید محسوب می‌شود.

بین پایان و شروع مجدد موج دیاستولیک (a) و همچنین طول زمان موج سیستولیک (b) ثبت شده MPI = (a-b)/a (شکل ۱). در مطالعات قبلی $\text{MPI} > 0.54$ غیر طبیعی و به نفع اختلال عملکرد بطنی گزارش شده است (۲۶، ۲۷).

Isovolumic myocardial acceleration (IVA)-شتاب هم حجمی میوکارد، به عنوان معیار جدید نمایانگر وضعیت انقباض طولی میوکارد بطن راست مطرح و در زمای چهار حفره ای در قسمت لترال آنولوس تریکوسپید و توسط داپلر بافتی به دست می‌آید. به این ترتیب که موج حرکت طولی میوکارد در زمان سیستول ثبت و شبیه اولین موج مثبت اندازه گیری شد (شکل ۱) (۲۸، ۲۷).

s' wave: در نمای فوق و توسط داپلر بافتی حداقل سرعت موج سیستولیک ناشی از حرکت انقباض طولی میوکارد (s') ثبت شد. موج s نمایانگر حرکت



شکل ۱ - نحوه محاسبه اندکس پروفورمانس میوکارد و شتاب هم حجمی میوکارد توسط داپلر بافتی.

جهت محاسبه اندکس پروفورمانس میوکارد به روش داپلر بافتی، sample volume در قسمت لترال رینگ تریکوسپید قرار گرفته و امواج مربوط به حرکت سیستولیک و دیاستولیک میوکارد در طی یک سیکل قلبی ثبت می‌شود. فاصله زمانی بین پایان و شروع مجدد موج دیاستولیک (a) و همچنین طول زمان موج سیستولیک (b) ثبت شده و سپس توسط فرمول زیر محاسبه می‌شود (a-b/b). برای محاسبه شتاب هم حجمی میوکارد، شبیه اولین موج مثبت در انتهای موج a اندازه‌گیری می‌شود.

و دیلاتاسیون شدید بطن راست در تمامی بیماران دیده می‌شد. در هیچ یک از بیماران نارسایی شدید دریچه تریکو سپید دیده نشد. اطلاعات به دست آمده شامل اندازه و عملکرد بطن راست در اکوکاردیوگرافی و MRI در جدول ۱ نشان داده شده است. ارتباط یافته‌های اکوکاردیوگرافیک با یافته‌های MRI در جدول ۲ خلاصه شده است.

در اکوکاردیوگرافی، قطر عرضی متوسط بطن راست $35/4 \pm 3/6$ میلی متر به دست آمد که ارتباط مستقیم با حجم پایان دیاستول بطن در MRI نشان می‌داد ($p=0.01$ و $r=0.61$). ولی ارتباط آماری با میزان عملکرد سیستول بطنی دیده نشد.

$<35\%$ در هیچ یک از بیماران دیده نشد. بین RV-FAC و مقادیر RVEF در MRI ارتباط مستقیم آماری دیده شد ($r=0.58$ و $p=0.01$). (وابستگی آماری بین RV-FAC و حجم بطن راست به دست آمده در MRI دیده نشد).

RVOT-FS به عنوان یکی از معیارهای جدید فونکسیون سیستول بطن راست معادل $32/4 \pm 3/9$ به CMR- RVOT-FS دست آمد و ارتباط آماری مستقیم با میزان

mean \pm SD محاسبه آماری: معیارهای کمی به شکل mean \pm SD بیان شد. ارتباط بین معیارهای اکوکاردیوگرافیک با Linear regression analysis، توسط MRI، توسط Pearson's correlation coefficient و آنالیز آماری توسط برنامه SPSS version 26 انجام شد. $P < 0.05$ از نظر آماری ارزشمند تلقی شد.

یافته‌ها

۳۷ بیمار با سن متوسط $10/8 \pm 2/2$ سال (دامنه: ۱۷-۷) و سابقه ترمیم جراحی ترالوزی فالوت در این مطالعه تحت بررسی قرار گرفتند. سن متوسط بیماران در زمان جراحی ترمیمی $13/8 \pm 5/5$ ماه (دامنه: ۹-۳۵) بود. در ۴ بیمار جراحی پالیاتیو قبل از ترمیم کامل بیماری انجام شده بود. در تمام بیماران از Patch annular trane استفاده شده بود. مطالعه با فاصله زمانی متوسط $9/5 \pm 2/1$ سال از زمان جراحی انجام شد. در زمان مطالعه ریتم سینوسی و نمای بلوك شاخه راست در نوار قلب تمام بیماران ثبت شد. تمام بیماران کلاس ۱ NYHA قرار داشتند. نارسایی شدید دریچه پولمونری

جدول ۱ - یافته‌های اکوکاردیوگرافیک و MRI در بیماران

	بیماران (تعداد ۳۷)	معیارهای اکوکاردیوگرافیک
میانگین و انحراف معیار و دامنه تغییرات		
$35/4 \pm 3/6$ (۳۲-۴۹)	قطر پایان دیاستول بطن راست (میلی متر)	
$44/4 \pm 3/9$ (۴۰-۵۸)	کسر جهشی سطحی بطن راست (%)	
$32/4 \pm 3/9$ (۲۵-۴۰)	کسر جهشی مجرای خروجی بطن راست (%)	
$13/8 \pm 2/9$ (۱۰-۲۲)	RVOT-FS	
$179/7 \pm 36$ (۱۲۵-۲۳۰)	حرکت سیستولیک رینگ دریچه میترال (میلی متر)	
$7/2 \pm 1/4$	TAPSE	
$0/48 \pm 0/08$	شتاب هم حجمی میوکارد (میلی متر / محدود ثانیه)	
	S wave	
	سرعت موج سیستولیک (سانتی متر / ثانیه)	
	اندکس پروفورمانس میوکارد MPI	
	معیارهای MRI	
168 ± 12	حجم پایان دیاستول اندکس شده بطن راست (میلی لیتر / متر مریع)	
68 ± 9	حجم پایان سیستول اندکس شده بطن راست (میلی لیتر / متر مریع)	
47 ± 4 (۴۰-۵۶)	CMR-RVEF	
32	کسر جهشی بطن راست (%)	
	کسرناراسایی پولمونری (%)	
	pulmonary regurgitation fraction (%)	

RVDD: right ventricular end-diastolic diameter; RV-FAC: right ventricular fractional shortening; RVOT-FS: right ventricular outflow tract fractional shortening; TAPSE: Tricuspid annular plane systolic excursion; IVA: Isovolumic myocardial acceleration; s': systolic wave; MPI: myocardial performance index; RVEDVI: RV end-diastolic volume index; RVESVI: RV end-systolic volume index; CMR: cardiac magnetic resonance

جدول -۲- ارتباط یافته‌های اکوکاردیوگرافیک با RVEDVI و RVEF به دست آمده در MRI

P-value	ضریب همبستگی (r)	P-value	ضریب همبستگی (r)	معیارهای اکوکاردیوگرافیک
	حجم پایان دیاستول		کسر جهشی سیستولیک	
	اندکس شده بطن راست		بطن راست در MRI	
	در MRI			
<0.01	0.61	بی معنا	-0.038	قطر پایان دیاستول بطن راست (RVDD)
بی معنا	-0.03	<0.01	0.058	کسر سطحی سیستولیک بطن راست (RV-FAC)
بی معنا	-0.032	<0.020	0.057	کسر جهشی سیستولیک مجرای خروجی بطن راست (RVOT-FS)
بی معنا	-0.02	بی معنا	-0.05	حرکت سیستولیک رینگ دریچه تریکوسپید (TAPSE)
<0.05	-0.056	بی معنا	0.031	S سرعت موج
<0.05	0.063	بی معنا	-0.02	اندکس پروفورمانس میوکارد (MPI)
<0.04	-0.052	بی معنا	-0.015	شتاب هم حجمی میوکارد (IVA)

RVDD: right ventricular end-diastolic diameter; RV-FAC: right ventricular fractional shortening; RVOT-FS: right ventricular outflow tract fractional shortening; TAPSE: Tricuspid annular plane systolic excursion; IVA: Isovolumic myocardial acceleration; s': systolic wave; MPI: myocardial performance index; RVEDVI: RV end-diastolic volume index

ارتباط معنی‌دار با CMR-RVEF نداشت ولی با شدت دیلاتاسیون بطن در MRI ارتباط آماری نشان می‌داد ($r = 0.056$, $p = 0.043$).

MRI: درهیچ یک از بیماران $<40\%$ fraction regurgitation دیده نشد. در تمام بیماران بیش از 30% به دست آمد.

بحث

معیارهای اکوکاردیوگرافیک در گروهی از بیماران که به دلیل نارسایی پولمونری و یا دیلاتاسیون بطن شدید کاندید احتمالی PVR قرار می‌گرفتند، با شاخص‌های استاندارد به دست آمده در MRI مقایسه شد. یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که هر دو معیار RVEF و RV-FAC در اکوکاردیوگرافی با تغییرات RVEF در MRI ارتباط مستقیم آماری دارند و همراه با یافته‌های داپلر بافتی مرتبط با حجم بطن راست، مجموعاً به عنوان معیارهای اکوکاردیوگرافیک دقیق در پیش‌بینی معیارهای استاندارد در MRI، در نتیجه برای انتخاب بیماران برای انجام PVR کاربرد خواهد داشت.

با توجه به مورفولوژی پیچیده بطن راست و تغییرات پاتولوژیک ثانویه به نارسایی پولمونری شدید و طولانی مدت، استفاده از چند معیار مختلف اکوکاردیوگرافیک جهت تخمین عملکرد بطن راست تو صیه شده است

RVEF نشان می‌داد ($r = 0.02$, $p = 0.057$). در 0.65 بیماران دیلاتاسیون متوسط تا شدید مجرای خروجی بطن راست ثانویه به ترمیم جراحی قبلی دیده شد. در بررسی عملکرد سیستولیک طولی 13.8 ± 0.9 cm به دست آمد که کمتر از میزان گزارش شده در جامعه نرمال و به نفع اختلال عملکرد طولی میوکارد بطن راست بود ولی ارتباط آماری با CMR-RVEF و یا حجم بطن راست دیده نشد.

همچنین، سرعت موج S نسبت به جامعه نرمال در گزارش‌های قبلی پایین تر ولی ارتباط آماری با CMR-RVEF دیده نشد. وابستگی ضعیف معکوس با حجم پایان دیاستول بطن در MRI وجود داشت ($r = 0.056$, $p = 0.043$).

در بررسی توسط داپلر بافتی، IVA به عنوان دیگر معیار نشان دهنده عملکرد طولی بطن راست اندازه گیری شد و میزان متوسط 17.9 ± 3.6 میلی متر/ثانیه به دست آمد که در محدوده نرمال گزارش شده می‌باشد CMR-RVEF (29). در بررسی آماری بین این معیار و ارتباط معنی‌دار دیده نشد. از طرف دیگر ارتباط ضعیف بین این پارامتر و حجم دیاستولیک بطن در MRI وجود داشت ($r = -0.052$, $p = 0.040$).

MPI به عنوان معیار مهم عملکرد گلوبال بطن راست محاسبه و میزان متوسط 0.48 ± 0.08 به دست آمد ولی

مهم در تخمین شدت تغییرات مورفولوژی بطن راست، ثانویه به افزایش بار حجمی تلقی کرد ($r=+0.55$). البته نتایج بعضی مطالعات قبلی، وجود بافت فیبروز و اسکار در مجرای خروجی بطن راست را به عنوان فاکتور مداخله‌ای در محاسبه RVOT-FS مطرح کرده و نقش این اندکس را در تخمین عملکرد گلوبال بطن راست مورد سوال قرار داده است (۶). به هر حال در تمام بیماران مورد مطالعه حاضر از روش trans annular patch جهت رفع تنگی شدید دریچه شریان پولمونری استفاده شده بود و از نظر بافت غیر عضلانی و بدون عملکرد انقباضی در این ناحیه، بین بیماران تفاوتی وجود نداشت و هیچ یک از بیماران نیز دچار دیلاتاسیون شدید و آنوریسمال در مجرای خروجی بطن نبودند. لذا، این اندکس به عنوان تست مهم در کنار سایر معیارها در پیگیری بیماران اهمیت خواهد داشت.

بررسی شدت دیلاتاسیون بطن راست به شکل بررسی قطرعرضی بطن توسط اکوکاردیوگرافی در تشخیص و پیگیری روند تغییرات اندازه بطن در بیماری‌های سرشی و اکتسابی حائز اهمیت بوده و همین طور ارتباط آن با افزایش مورتالیتی در بیماران مبتلا به هیپرتانسیون پولمونری نیز نشان داده شده است (۷، ۳۴). در مطالعه حاضر نیز مشابه گزارش‌های قبلی، وابستگی مستقیم مقادیر به دست آمده در اکوکاردیوگرافی با حجم پایان دیاستول بطن راست در MRI مشاهده شد (۳۵، ۳۶). با توجه به تکرارپذیری بالا و سهولت انجام این تست در تشخیص و خصوصاً بررسی روند افزایشی دیلاتاسیون بطن در طی پیگیری این گروه بیماران مفید خواهد بود. البته مطالعه لای و همکاران و همین طور گروتنمن و همکاران، محاسبه سطح بطن را به عنوان معیار دقیق‌تر در بیماران نشان داده است (۱۷، ۳۶)، به طوری که سطح بطن راست بیش از ۲۰ سانتی متر مربع/متر مربع با حساسیت ۹۷٪ و اختصاری بودن ۷۰٪ نشان دهنده حجم بالای بطن در MRI بوده است. به این ترتیب مجموعه معیارهای اکوکاردیوگرافیک وابسته به اندازه در کنار معیارهای عملکرد سیستولیک در تعیین شدت تغییرات مورفولوژیک بطن راست ثانویه به افزایش بار حجمی

(۵). از این میان محاسبه FAC به عنوان یکی از مهم ترین و دقیق‌ترین معیارها برای محاسبه عملکرد بطن راست حتی در بیماری‌های مادرزادی معرفی شده است. در مطالعه حاضر مشابه گزارش‌های قبلی بین-RV-FAC با CMR-RVEF ارتباط مستقیم آماری دیده شد که نشانه اهمیت این اندکس در پیش‌بینی عملکرد سیستول بطن راست در بیماران با سابقه ترمیم تترالوژی بود (۳۰، ۹). در هیچ یک از بیماران مورد مطالعه، اختلال عملکرد سیستولیک بر مبنای کاهش FAC و یا $< 45\%$ در RVEF در CMR دیده نمی‌شد. لذا، میزان وابستگی این دو معیار در بیماران با عوارض شدیدتر میوکاردیال قابل بررسی نبود. از طرف دیگر افزایش کاذب میزان FAC در بیماران بعد از ترمیم تترالوژی نیز گزارش شده است و یکی از دلایل این امر وجود سگمان‌های دیلاته و آکینتیک عنوان شده است که در انقباض بطی شرکت نمی‌کنند (۳۱). علی‌رغم عدم وجود منحنی نرمال جهت کودکان، کاربرد این معیار جهت تخمین عملکرد بطن راست در بیماری‌های مختلف در حال افزایش است. به این ترتیب و با توجه به وابستگی نسبتاً ضعیف بین این دو اندکس، کماکان استفاده از چند معیار به طور همزمان برای افزایش دقت تشخیصی اکوکاردیوگرافی در بررسی عملکرد بطن مفید خواهد بود.

به تازگی محاسبه RVOT-FS به عنوان یکی از معیارهای ارزشمند عملکرد سیستولیک بطن راست در بیماری‌های سرشی و اکتسابی معرفی شده است. با توجه به روش اندازه‌گیری آسان و تکرارپذیری بالا در این روش، در پیش‌بینی شروع اختلال عملکرد بطن حائز اهمیت است (۱۴، ۳۲، ۳۳). اما در بیماران ترمیم شده تترالوژی به علت وجود نسج اسکار و عدم هماهنگی دقیق قسمت‌های inflow و outflow احتمال عدم ارتباط این معیار با اندکس عملکرد گلو بال بطنی محتمل است. در مطالعه حاضر ارتباط مستقیم این اندکس با CMR-RVEF به نفع ارزش تشخیصی این اندکس در بیماران با سابقه جراحی ترمیمی تترالوژی می‌باشد. همچنین وجود ارتباط مستقیم آماری با حجم پایان دیاستول در MRI را نیز می‌توان به عنوان معیار

محدوه پایین به دست آمده و تفاوت به دست آمده با سایر مطالعات را می‌توان توضیح داد.

بررسی سرعت حرکت طولی سیستولیک میوکارد به شکل اندازه‌گیری سرعت موج s' به عنوان یک معیار مهم عملکرد سیستول بطن راست مطرح است. خصوصاً نقش مهم این معیار عملکرد رژیونال میوکارد در پیش‌بینی عملکرد گلوبال بطن راست در مواردی که تغییرات پاتوفیزیولوژیک ثانویه به افزایش بار فشاری مثل آنچه در هیپرتانسیون پولمونر اتفاق می‌افتد، نشان داده شده است. اما در مواردی که اختلال غالب اولیه افزایش بار حجمی بطن است، نتایج مطالعات مختلف بوده است (۴۲). نتایج مطالعه حاضر مشابه مطالعات قبلی نشان داد که تغییرات سرعت موج s' با تغییرات حجم بطن راست ارتباط ضعیف و معکوس دارد (۴۳، ۵۶). از طرف دیگر، یافته‌های مطالعه حاضر مشابه مطالعه سلی و همکاران و همین طور چاولیت و همکاران، بین سرعت موج s' و CMR-RVEF ارتباط دیده نشد (۳۰، ۳۵). لذا، برخلاف مطالعات قبلی اهمیت و کاربرد اندازه‌گیری معیار عملکرد رژیونال بطن جهت پیش‌بینی و تعیین عملکرد گلوبال بطن دیده نشد (۴۰). علت این امر شاید اختلال ایجاد شده در هم سویی حرکت میووفیبریل‌های سپتوم با رینگ دریچه تریکو سپید، بعد از ترمیم تترا لوزی باشد. همین طور وجود نسج اسکار و دیلا تاسیون در مجرای خروجی بطن راست به عنوان عامل کاهش دقت معیارهای طولی و رژیونال در قاعده بطن و در نتیجه عدم ارتباط با عملکرد گلوبال بطن در بیماران تترالولوژی ترمیم شده، مطرح شده است (۴۳، ۳۰). برخلاف سایر مطالعات، یافته‌های گوت و همکاران نشان می‌دهد که فرم خاصی از جایه جایی رینگ تریکو سپید ثانویه به نار سایی مزمن پولمونری در بیماران ترمیم شده تترالولوژی ایجاد می‌شود. به طوری که تغییر ساختاری در آرایش میو فیبریل‌های طولی و عرضی بطن راست سبب کاهش فونکسیون طولی، قبل از بروز اختلال در عملکرد گلوبال می‌شود (۴۴). تغییرات فوق و روند بهبودی زودرس بعد از PVR در ارزیابی‌های بطن راست توسط اکوکاردیوگرافی به روش Strain نشان داده شده است. از طرف دیگر RV

کاربرد خواهد داشت.

با توجه به فرم انقباضی بطن راست و آناتومی فیبرهای عضلانی، اندازه‌گیری حرکت طولی فیبرهای بطن راست (TAPSE) به عنوان معیار مهم سیستول بطن کاربرد دارد. علی‌رغم سهولت، سرعت و قدرت تکرارپذیری بالا در محاسبه این معیار، نتایج به دست آمده در بیماری‌های مختلف یکسان نبوده است و در بیماران ترمیم شده تترالولوژی با دیلاتاسیون بطن راست و نار سایی پولمونر شدید، از دقت کمتر برخوردار بوده است. در مطالعات قبلی TAPSE به عنوان معیار مهم نشان دهنده فونکسیون در بیماران معرفی شده است؛ به طوری که مقادیر کمتر از ۱۶ میلی متر با RVEF کمتر از ۳۵٪ در MRI مطابقت داشته است (۹، ۳۷). اگر چه در مطالعه حاضر TAPSE در ۷۳٪ بیماران کمتر از ۱۶ میلی متر گزارش شد، ولی مشابه مطالعه مرکزو همکاران ارتباط آماری با اندکس سیستولیک در MRI راست و همین طور حجم دیاستولیک در MRI نشد (۳۸). در حالی که یافته‌های کاکوورت و همکاران و همین طور کاستنبرگر و همکاران وابستگی این معیار را با RVEF و همین طور ارتباط آماری عکس با حجم پایان دیا ستول را به خوبی نشان می‌داد (۳۹، ۴۰). از طرف دیگر در مطالعه سلی و همکاران نیز ارتباط آماری بین این اندکس حرکت طولی میوکارد با RVEF به دست آمده در MRI دیده نشد. فرضیه مهم در این مورد تغییر در فرم انقباضی و نحوه آرایش میووفیبریل‌ها در این سگمان بطن بعد از ترمیم جراحی و همچنین تمرکز خاص این روش روی سگمان RV inflow بیان شده است (۳۰). از سوی دیگر، وابستگی این شاخص به تغییرات پره لود بطن راست از نکات مهم در محاسبه این اندکس است. لذا، وجود درجات مهم نار سایی تری کوسپید سبب تغییرات مهم در مقادیر به دست آمده خواهد شد، ولی در مطالعه حاضر هیچ یک از بیماران دچار نار سایی تریکو سپید شدید نبودند. مطالعات قبلی وابستگی TAPSE را به افزایش سن در جامعه نرمال نشان داده است (۴۱). با توجه به میانگین سنی پایین تر بیماران مورد مطالعه حاضر نسبت به مطالعات قبلی و عدم وجود اختلال عملکرد شدید بطن راست در MRI

.۴۸، ۳۵)

تغییرات MPI در بیماران تترالوژی ترمیم شده با تغییر در پره لود و حجم حفره بطن توجیه شده است (۳۰). با توجه به تغییرات ثانویه به نارسایی پولمونری isovolumic وافزایش بار حجمی بطن، زمان contraction کوتاه و لذا عدد MPI محسبه شده، کوتاه می شود. به این ترتیب، تغییرات این اندکس ناشی از تغییرات بار حجمی بوده و با تغییرات عملکرد میوکارد کمتر ارتباط خواهد داشت. به هر حال با توجه به سهولت و تکرارپذیری بالادر محسبه این معیار، جهت تخمین و پیگیری روند افزایشی حجم بطن راست به عنوان معیار مهم تصمیم گیری جهت PVR، ارزشمند خواهد بود.

نتیجه‌گیری

بطور کلی یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که اندازه گیری هر دو شاخص RV-FAC و RVOT-FS توسط اکوکاردیوگرافی در پیش بینی میزان CMR-RVEF به عنوان یکی از مهم ترین معیارهای استاندارد در تضمیم PVR، حائز اهمیت است. از طرف دیگر اندازه گیری و پیگیری روند افزایشی قطر بطن راست با اکوکاردیوگرافی به عنوان روش آسان و دقیق در تخمین شدت دیلاتاسیون بطن کمک کننده است. از طرف دیگر IVA و سرعت موج s' به عنوان شاخص‌های عملکرد رژیونال میوکارد بطن راست و همین طور میزان MPI به عنوان شاخص عملکرد گلوبال بطن با میزان دیلاتاسیون بطنی ناشی از افزایش بار حجمی مرتبط بودند و در روند پیگیری بیماران با نارسایی پولمونری نقش خواهند داشت. لذا، اندازه گیری مجموعه شاخص‌های اکوکاردیوگرافیک فوق در طی مراجعات دوره ای با دقت بالا در تخمین معیارهای مهم شامل RVEF و حجم دیاستولیک بطن در MRI حائز اهمیت بوده و در کاهش دفعات انجام MRI در سیر پیگیری بیماران نقش به سزایی خواهد داشت. مطالعات در آینده بر روی طیف وسیع تراز بیماران مبتلا و با عوارض مختلف مثل تنگی های پولمونری باقی مانده و از سوی دیگر بررسی عوامل مداخله گر شایع، جهت بهبود روش‌های تشخیصی در این گروه بزرگ از بیماران کمک کننده خواهد بود.

coupling غیر مناسب بعد از PVR نیز مطرح شده است که وابسته به حجم بطن راست در MRI بوده و توجیه کننده کاهش RVEF حتی بعد از PVR هست (۴۵، ۴۶).

نتایج به دست آمده در مورد وابستگی IVA به شدت نارسایی پولمونری متفاوت بوده است. هر دو مطالعه فریگیولا و همکاران و تویونو و همکاران، ارتباط عکس میزان IVA با شدت نارسایی پولمونری را نشان داده شده‌اند (۲۷، ۲۸). به هر حال یافته‌های مطالعه حاضر مشابه مطالعه اونو و همکاران بوده که در آن وابستگی بین IVA و شدت نارسایی پولمونری دیده نشد (۴۷). علاوه بر این، یافته‌های مطالعه حاضر مبنی بر عدم ارتباط بین IVA و اندکس سیستولیک بطن در MRI مشابه مطالعه کوکا و همکاران بوده است (۴۸). از طرف دیگر، یافته مطالعه حاضر مبنی بر وابستگی این پارامتر به حجم دیاستولیک بطن راست عکس مطالعات قبلی بوده و لذا با توجه به عدم وابستگی این شاخص به تغییرات فیزیولوژیک پره لود، به عنوان شاخص مهم تغییرات پاتولوژیک و پیشرونده بطن راست ثانویه به افزایش بار حجمی و تخمین دقیق روند افزایشی حجم بطن به عنوان اندیکاسیون مهم PVR، مطرح می‌شود (۴۸). با توجه به یافته‌های فوق از یک سو و دامنه زیاد تغییرات این پارامتر در سنین و شرایط آناتومیک مختلف از سوی دیگر، تحقیقات بیشتر در مورد دقت تشخیصی این معیار جهت فاللوآپ بیماران از نظر عوارض افزایش بار حجمی و تغییرات پیشرونده پاتولوژیک بطنی در بیماران ترمیم شده با تترالوژی نیاز خواهد بود.

امروزه محاسبه MPI به عنوان پارامتر غیر وابسته به ژئومتری در تخمین عملکرد گلوبال بطن راست و چپ مورد توجه قرار گرفته است و محاسبه این پارامتر توسط داپلر بافتی با سهولت بیشتر و تکرارپذیری بالا همراه بوده و به عنوان معیار عملکرد و پیش آگهی در بیماری‌های سرشی و اکتسابی ارزشمند است (۱۶، ۴۹). در مطالعه حاضر میزان MPI به دست آمده مشابه مطالعات قبلی افزایش نداشته و با میزان CMR-RVEF نیز ارتباط آماری نشان نمی‌داد ولی ارتباط مستقیم با حجم پایان دیاستول بطن راست دیده می‌شد ($r=0.63$) (۱۶).

5. Geva T. Indications for pulmonary valve replacement in repaired tetralogy of fallot: the quest continues. *Circulation.* 2013;128(17):1855-7.
6. Carminati M, Pluchinotta FR, Piazza L, Micheletti A, Negura D, Chessa M, et al. Echocardiographic assessment after surgical repair of tetralogy of fallot. *Front Pediatr.* 2015;3:3.
7. Lee JK, Chikkabyrappa SM, Bhat A, Buddhe S. Echocardiographic assessment of right ventricular volume in repaired tetralogy of Fallot: a novel approach to an older technique. *J Echocardiogr.* 2022;20(2):106-14.
8. Kilner PJ, Geva T, Kaemmerer H, Trindade PT, Schwitter J, Webb GD. Recommendations for cardiovascular magnetic resonance in adults with congenital heart disease from the respective working groups of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J.* 2010;31(7):794-805.
9. DiLorenzo MP, Bhatt SM, Mercer-Rosa L. How best to assess right ventricular function by echocardiography. *Cardiol Young.* 2015;25(8):1473-81.
10. Sanchez Ramirez CJ, Perez de Isla L. Tetralogy of Fallot: cardiac imaging evaluation. *Ann Transl Med.* 2020;8(15):966.
11. Zaidi A, Oxborough D, Augustine DX, Bedair R, Harkness A, Rana B, et al. Echocardiographic assessment of the tricuspid and pulmonary valves: a practical guideline from the British Society of Echocardiography. *Echo Res Pract.* 2020;7(4):G95-G122.
12. Caris E, Drant S. Assessment of regional and global right ventricular systolic function in children with repaired tetralogy of Fallot. *Cardiol Young.* 2021;31(10):1571-5.
13. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2015;16(3):233-70.
14. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, Hua L, Handschumacher MD, Chandrasekaran K, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2010;23(7):685-713; quiz 86-8.
15. Wu VC, Takeuchi M. Echocardiographic

محدودیت‌ها: تعداد کم جمعیت مورد مطالعه به عنوان مانع در آنالیز کامل معیارهای اکوکاردیوگرافیک مطرح است. گروه مورد مطالعه شامل جمعیت کوچکی از بیماران بدون علائم نارسایی قلبی و بدون وجود اختلالات ساختاری شایع مثل تنگی دریچه پولمونری بود. در حالی که وجود هیپرتروفی، ضایعات باقی مانده آنatomیک مثل تنگی پولمونری یا شانت و اختلال عملکرد میوکارد ناشی از عوامل دیگری به جز افزایش بار حجمی، در بیماران بعد از ترمیم ترالوژی شایع است که در محاسبه شاخص‌های اکوکاردیوگرافیک مداخله خواهد داشت. همچنین با توجه به عدم وجود نموگرام برای بعضی شاخص‌ها و خصوصاً عدم وجود محدوده نرمال در کودکان، بررسی آماری در مقایسه با نتایج به دست آمده در بزرگسالان انجام شده است.

References

1. Geva T. Repaired tetralogy of Fallot: the roles of cardiovascular magnetic resonance in evaluating pathophysiology and for pulmonary valve replacement decision support. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2011;13(1):9.
2. n SV, Wald RM, Hickey K, et al. Preoperative Predictors of Death and Sustained Ventricular Tachycardia After Pulmonary Valve Replacement in Patients With Repaired Tetralogy of Fallot Enrolled in the INDICATOR Cohort. *Circulation.* 2018;138(19):2106-15.
3. Warnes CA, Williams RG, Bashore TM, Child JS, Connolly HM, Dearani JA, et al. ACC/AHA 2008 guidelines for the management of adults with congenital heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Develop Guidelines on the Management of Adults With Congenital Heart Disease). Developed in Collaboration With the American Society of Echocardiography, Heart Rhythm Society, International Society for Adult Congenital Heart Disease, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons. *J Am Coll Cardiol.* 2008;52(23):e143-e263.
4. Larios G, Friedberg MK. Imaging in repaired tetralogy of Fallot with a focus on recent advances in echocardiography. *Curr Opin Cardiol.* 2017;32(5):490-502.

- assessment of right ventricular systolic function. *Cardiovasc Diagn Ther.* 2018;8(1):70-9.
16. Lopez-Candales A, Dohi K, Rajagopalan N, Edelman K, Gulyasy B, Bazaz R. Defining normal variables of right ventricular size and function in pulmonary hypertension: an echocardiographic study. *Postgrad Med J.* 2008;84(987):40-5.
 17. Greutmann M, Tobler D, Biaggi P, Mah ML, Crean A, Oechslin EN, Silversides CK. Echocardiography for assessment of right ventricular volumes revisited: a cardiac magnetic resonance comparison study in adults with repaired tetralogy of Fallot. *J Am Soc Echocardiogr.* 2010;23(9):905-11.
 18. Ishiwata J, Daimon M, Nakanishi K, Sugimoto T, Kawata T, Shinozaki T, et al. Combined evaluation of right ventricular function using echocardiography in non-ischaemic dilated cardiomyopathy. *ESC Heart Fail.* 2021;8(5):3947-56.
 19. Anavekar NS, Skali H, Bourgoun M, Ghali JK, Kober L, Maggioni AP, et al. Usefulness of right ventricular fractional area change to predict death, heart failure, and stroke following myocardial infarction (from the VALIANT ECHO Study). *Am J Cardiol.* 2008;101(5):607-12.
 20. Greutmann M, Tobler D, Biaggi P, Mah ML, Crean A, Wald RM, et al. Echocardiography for assessment of regional and global right ventricular systolic function in adults with repaired tetralogy of Fallot. *Int J Cardiol.* 2012;157(1):53-8.
 21. Tello K, Wan J, Dalmer A, Vanderpool R, Ghofrani HA, Naeije R, et al. Validation of the Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion/Systolic Pulmonary Artery Pressure Ratio for the Assessment of Right Ventricular-Arterial Coupling in Severe Pulmonary Hypertension. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2019;12(9):e009047.
 22. 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(6):654-8.
 23. Zimbarra Cabrita I, Ruisánchez C, Dawson D, Grapsa J, North B, Howard LS, et al. Right ventricular function in patients with pulmonary hypertension; the value of myocardial performance index measured by tissue Doppler imaging. *Eur J Echocardiogr.* 2010;11(8):719-24.
 24. Tekten T, Onbasili AO, Ceyhan C, Unal S, Discigil B. Value of measuring myocardial performance index by tissue Doppler echocardiography in normal and diseased heart. *Jpn Heart J.* 2003;44(3):403-16.
 25. Friesen RM, Schafer M, Burkett DA, Cassidy CJ, Ivy DD, Jone PN. Right Ventricular Tissue Doppler Myocardial Performance Index in Children with Pulmonary Hypertension: Relation to Invasive Hemodynamics. *Pediatr Cardiol.* 2018;39(1):98-104.
 26. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015;28(1):1-39 e14.
 27. 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(4):332-7.
 28. 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(11 Suppl 1):II153-7.
 29. Jurcut R, Giusca S, La Gerche A, Vasile S, Ginghina C, Voigt JU. The echocardiographic assessment of the right ventricle: what to do in 2010? *Eur J Echocardiogr.* 2010;11(2):81-96.
 30. Selly JB, Iriart X, Roubertie F, Mauriat P, Marek J, Guilhon E, et al. Multivariable assessment of the right ventricle by echocardiography in patients with repaired tetralogy of Fallot undergoing pulmonary valve replacement: a comparative study with magnetic resonance imaging. *Arch Cardiovasc Dis.* 2015;108(1):5-15.
 31. Mertens LL, Friedberg MK. Imaging the right ventricle--current state of the art. *Nat Rev Cardiol.* 2010;7(10):551-63.
 32. Srinivasan A, Kim J, Khalique O, Geevarghese A, Rusli M, Shah T, et al. Echocardiographic linear fractional shortening for quantification of right ventricular systolic function-A cardiac magnetic resonance validation study. *Echocardiography.* 2017;34(3):348-58.
 33. Allam LE, Onsy AM, Ghalib HA. Right Ventricular Outflow Tract Systolic Excursion and Fractional Shortening: Can These Echocardiographic Parameters be Used for the Assessment of Right Ventricular Function? *J Cardiovasc Echogr.* 2017;27(2):52-8.
 34. van Wolferen SA, Marcus JT, Boonstra A, Marques KM, Bronzwaer JG, Spreeuwenberg MD, et al. Prognostic value of right ventricular mass, volume, and function in idiopathic pulmonary arterial hypertension. *Eur Heart J.* 2007;28(10):1250-7.
 35. Chaowalit N, Durongpisitkul K, Kittayaphong R, Komoltri C, Jakrapanichakul D, Phrudprisan S. Echocardiography as a simple

- initial tool to assess right ventricular dimensions in patients with repaired tetralogy of Fallot before undergoing pulmonary valve replacement: comparison with cardiovascular magnetic resonance imaging. *Echocardiography*. 2012;29(10):1239-46.
36. Lai WW, 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(7):691-8.
37. Shiran H, Zamanian RT, McConnell MV, Liang DH, Dash R, Heidary S, et al. Relationship between echocardiographic and magnetic resonance derived measures of right ventricular size and function in patients with pulmonary hypertension. *J Am Soc Echocardiogr*. 2014;27(4):405-12.
38. Mercer-Rosa L, Parnell A, Forfia PR, Yang W, Goldmuntz E, Kawut SM. Tricuspid annular plane systolic excursion in the assessment of right ventricular function in children and adolescents after repair of tetralogy of Fallot. *J Am Soc Echocardiogr*. 2013;26(11):1322-9.
39. Koestenberger M, Nagel B, Avian A, Ravekes W, Sorantin E, Cvirk G, et al. Systolic right ventricular function in children and young adults with pulmonary artery hypertension secondary to congenital heart disease and tetralogy of Fallot: tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) and magnetic resonance imaging data. *Congenit Heart Dis*. 2012;7(3):250-8.
40. Kavurt AV, Pac FA, Koca S, Mutlu Mihcioglu A, Yigit H. The evaluation of right ventricular systolic function in patients with repaired Tetralogy of Fallot by conventional echocardiographic methods and speckle tracking echocardiography: Compared with the gold standard cardiac manganetic resonance. *Echocardiography*. 2019;36(12):2251-8.
41. Kurath-Koller S, Avian A, Cantinotti M, Burmas A, Grangl G, Schweintzer S, et al. Normal Pediatric Values of the Subcostal Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion (S-TAPSE) and Its Value in Pediatric Pulmonary Hypertension. *Can J Cardiol*. 2019;35(7):899-906.
42. 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. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2012;13(3):235-42.
43. Koestenberger M, Ravekes W. Value of tricuspid annular plane systolic excursion and peak systolic velocity in children with pulmonary hypertension. *J Am Soc Echocardiogr*. 2012;25(12):1357; author reply -8.
44. Goot BH, Tham EB, Krishnaswamy D, Punithakumar K, Noga M. Cardiac MRI-Derived Myocardial Deformation Parameters Correlate with Pulmonary Valve Replacement Indications in Repaired Tetralogy of Fallot. *Pediatr Cardiol*. 2021;42(8):1805-17.
45. Li VW, Yu CK, So EK, Wong WH, Cheung YF. Ventricular Myocardial Deformation Imaging of Patients with Repaired Tetralogy of Fallot. *J Am Soc Echocardiogr*. 2020;33(7):788-801.
46. Sandeep B, Cheng H, Luo L, Li Y, Xiong D, Gao K, Xiao Z. Assessing Right Ventricle Pulmonary Artery Coupling and Uncoupling Using Echocardiography and Cardiopulmonary Exercise Test in Post Operative TOF Patients. *Curr Probl Cardiol*. 2023;48(8):101214.
47. Ono A, Hayabuchi Y, Tanaka M, Kagami S. Assessment of right ventricular function by isovolumic acceleration of pulmonary and tricuspid annulus in surgically repaired tetralogy of Fallot. *J Med Invest*. 2020;67(1.2):145-50.
48. Koca B, Oztunc F, Eroglu AG, Gokalp S, Dursun M, Yilmaz R. Evaluation of right ventricular function in patients with tetralogy of Fallot using the myocardial performance index and isovolumic acceleration: a comparison with cardiac magnetic resonance imaging. *Cardiol Young*. 2014;24(3):422-9.
49. Isa Tafreshi R, Radgoodarzi M, Arjmandi Rafsanjani K, Soheilipour F. Subclinical Left Ventricular Dysfunction in Children and Adolescence With Thalassemia Intermedia. *Front Pediatr*. 2022;10:774528.
50. Flors L, Bueno J, Gish D, White S, Norton PT, Hagspiel KD, Leiva-Salinas C. Preprocedural Imaging Evaluation of Pulmonary Valve Replacement After Repair of Tetralogy of Fallot: What the Radiologist Needs to Know. *J Thorac Imaging*. 2020;35(3):153-66.