بررسی اکوکاردیوگرافیک فونکسیون بطن راست درکودکان با تترالوژی فالوت وکاندید تعویض دریچه پولمونری; مقایسه با یافته هایMRI

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

-Mohammad Radgoodarzi, MD. Pediatric cardiologist, associate professor, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran, [dr.radgudarzi@yahoo.com](mailto:dr.radgudarzi@yahoo.com)

- 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

نویسنده مسئول : رویا عیسی تفرشی ، فوق تخصص قلب کودکان *،دانشیار گروه کودکان، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران ،iums.ac.ir isatafreshi.r@ ،09123009606*

محمد راد گودرزی ، فوق تخصص قلب کودکان*، دانشیار گروه کودکان، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران،dr.radgudarzi@yahoo.com*

*مریم حسنی،* متخصص کودکان*،، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران*

[*Maryhas7089@gmail.com*](mailto:Maryhas7089@gmail.com)

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

چکیده

مقدمه.

بسیاری از بیماران مبتلا به تترالوژی فالوت بعداز ترمیم جراحی اولیه، نیاز به تعویض دریچه شریان پولمونری ( PVR)به علت نارسایی پولمونری پیشرونده خواهند داشت.اغلب زمان مناسب برای جراحی بر اساس معیارهای فونکسیون و سایز بطن راست در MRI تعیین می گیرد. هدف از این مطالعه بررسی ارزش تشخیصی معیار های اکوکاردیوگرافیک در پیش بینی شاخص های استاندارد در MRIو جلوگیری از تعدد انجام این تست قبل ازانجام PVR است.

روش انجام کار.

اکوکاردیوگرافی استاندارد در37 بیمار( 10.8± 2.2سال) با سابقه جراحی ترمیمی و نارسایی پولمونری شدید انجام و معیار های فونکسیون و سایز بطن با یافته های استاندارد شده در MRI مقایسه گردید.

یافته ها.

Fractional area change ( RV- FAC ) RV و همینطور Fractional shortening محاسبه شده برای مجرای خروجی بطن راست(RVOT-FS) با RVEF در MRI (CMR-RVEF ) ارتباط آماری مستقیم داشتند

(به ترتیب *p=0.01,*r =0.58 و=0.02 r =0.57 , *p*). سرعت موج s´ ومیزان(IVA) Isovolumic myocardial acceleration و همینطورمیزان( MPI )Myocardial performance indexبدست آمده با داپلر بافتی، با حجم بطن راست در MRIوابستگی آماری نشان می دادند.

نتیجه گیری.

اندازه گیری هر دو شاخص RVOT-FS و RV-FAC در پیش بینی میزان CMR-RVEF به عنوان یکی ازمهمترین معیارهای تعیین کننده نیاز به انجام PVR حائز اهمیت است. همینطورمحاسبه معیارهای فونکسیون طولی بطن توسط داپلر بافتی در پیش بینی وپیگیری روند دیلاتاسیون بطن در MRI ثانویه به افزایش بار حجمی بطن، به عنوان شاخص های مهم بعدی کاربرد دارند. لذا بررسی مجموعه شاخص های اکوکاردیوگرافیک فوق در طی مراجعات دوره ای در تخمین شاخص های استاندارد فعلی در MRI مفید و در کاهش دفعات انجام MRI در فالوآپ بیماران نقش به سزایی خواهد داشت.

کلید واژه: تترالوژی فالوت، تعویض دریچه شزیان پولمونری، فونکسیون بطن راست، اکوکاردیوگرافی، MRI، کودکان

مقدمه.

بیماری تترالوژی فالوت شایع‌ترین بیماری سیانوتیک قلبی در کودکان است .علیرغم پیشرفت‌های مهم در تکنیک جراحی ، بسياري از بیماران از اختلالات همودینامیک یا الکتروفیزیولوژیک بعد از ترمیم جراحی رنج می برند. نارسایی دریچه پولمونری شایع ترین 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 همینطوراختلالات هدایتی ناشی از ونتریکولوتومی ، سبب بروز اختلالات پاتوفیزیولوژیک خواهد بود که در نهایت سبب اختلال عملکرد، ديلاتاسيون بطن راست، کاردیومیوپاتی الکترومکانیکال وافزایش مورتالیتی خواهد شد(1, 2). تعویض دریچه شریان پولمونری (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 می شود. با توجه به ماهیت پیچیده بیماری، تغییرات ساختاری بعد از جراحی ترمیمی اولیه و ساختارخاص و پیچیده بطن راست ،استفاده از روش‌های مختلف تشخیصی جهت تعیین دقیق میزان تغییرات بطن راست و زمان مناسب برای انجام PVR توصیه شده است(3, 4). در جدیدترین گایدلاین معیارهای پیشنهادی برای تعیین زمان PVR بر اساس معیارهای نشان دهنده فونکسیون و سایزبطن راست دراکوکاردیوگرافی،نوار قلب و MRI قبل ازعملPVR و بهبود آنها بعد ازتعویض 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 پروگنوز بیمارو خصوصا به علت ساختار پیچیده بطن راست ،اندازه گیری و محاسبه مجموعه ای از معیارهای مختلف فوق، جهت تعیین زمان مناسب PVR ، ضروری خواهد بود(5-7). بهرحال، یکی از مهم‌ترین معیارها، تعیین حجم و فونکسیون بطن راست درMRI است که قبل از تصمیم گیری جهت انجامPVR صورت می گیرد. با توجه به محدودیت‌های MRIخصوصاً عدم دسترسی کامل درتمام مراکز درمانی،هزینه بالا،مدت زمان طولانی تصویربرداری و عدم امکان انجام آن برای بعضی بیماران، همواره اکوکاردیوگرافی به عنوان یک روش جایگزین ارزشمند در فالوآپ بیماران مطرح بوده است(8-10). در صورت اثبات ارزش تشخیصی معیار های جدید اکوکاردیوگرافیک خصوصا درمورد تعیین فونکسیون بطن راست،از انجام و تکرار MRI در روند پیگیری بیماران کاسته خواهد شد. به این ترتیب همچنان اکوکاردیوگرافی نقش کلیدی در بررسی دوره ای و طولانی مدت بیماران ایفا کرده و همچنان نقشی ارزشمند در کاهش موارد نیاز به MRI خواهد داشت(11).

هدف از این مطالعه بررسی دقت و ارزش معیارهای جدید اکوکاردیوگرافیک در تشخیص اختلال فونکسیون و سایزبطن راست وهمینطوربررسی میزان ارتباط با معیار ها ی استاندارد شده فعلی در MRI جهت تعیین زمان مناسب برای PVR خواهد بود.

روش انجام کار.

این مطالعه در طی سال‌های 1394-1401روی 37 بیماربا 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:1-سن زیر18 سال ۲ –دیلاتاسیون شدید بطن راست در اکوکاردیوگرافی3- عدم وجود ضایعه باقیمانده شدید قلبی مثل نارسایی دریچه تریکوسپید و تنگی دریچه پولمونری 4- LVEF > 50% 5- عدم محدودیت در فعالیت(. NYHA class I) 6- عدم وجود بیماری زمینه ای.

بیماران با سابقه جراحی ترمیمی بطور دوره ای تحت بررسی اکوکاردیوگرافیک قرار می گرفتند. در صورت وجود نارسایی پولمونری شدید ویا دیلاتاسیون بطن راست شدید، کاندید احتمالی PVR قرارگرفته لذا جهت انجام MRI معرفی می شدند. طبق آخرین گایدلاین منتشر شده، معیارهای مطرح کننده نیاز به تعویض دریچه پولمونری در MRI شامل حجم پایان سیستول - دیاستول ، RVEF و شدت نارسایی پولمونری مشخص و جمع آوری شد(5). بررسیMRI با فاصله کمتر از شش ماه از بررسی اولیه اکوکاردیوگرافیک انجام وسپس شاخص های اکوکاردیوگرافیک نشان دهنده سایزوفونکسیون بطن راست با معیار های MRI مورد مقایسه قرار گرفت(9, 12, 13). به این ترتیب ارزش تشخیصی شاخص های 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 ECGنیزبه شکل همزمان ثبت می شد.

الف-بررسی اکوکاردیوگرافیک : اکوکاردیوگرافی ترنس توراسیک استاندارد شامل 2D,M-mode,، داپلر و داپلربافتی طبق دستورالعمل انجمن اکوکاردیوگرافی امریکا وتوسط یک متخصص بدون اطلاع از نتایج MRI انجام شد(13-15). برای اندازه گیری کمی سایز و فونکسون بطن ازتکنیک 2-Dو M-mode استفاده شد. در بررسی داپلر بافتی معیار های جدید فونکسیون سیستولیک گلوبال ویا longitudinal که غیر وابسته به ژئومتری بطن می باشند، اندازه گیری شد.

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

با توجه به پیچیدگی‌های فونکسیون 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) :در نمای چهار حفره‌ای سطح داخلی حفره بطن راست در زمان سیستول و دیاستول تعیین و طبق فرمول زیر محاسبه شده و به شکل در صد ثبت شد )سطح پایان دیاستول – سطح پایان سیستول/ سطح پایان دیاستول(. FAC یکی ازبهترین روش‌های تایید شده کمی در اندازه‌گیری فونکسیون بطن راست بوده با میزان کمتر از ۳۵% غیر طبیعی تلقی می‌شود(16-19).

- : RV outflow tract fractional shortening ( RVOT-FS) درنمای پارااسترنال ودر سطح دریچه آئورت ، دیامتر مجرای خروجی بطن راست در پایان دیاستول و سیستول اندازه‌گیری وطبق فرمول زیرمحاسبه و بر اساس درصد ثبت شد (دیامتر پایان دیاستول – دیامتر پایان سیستول / دیامتر پایان دیاستول) (12). در مطالعات قبلی میزان کمتر از ۲۵% نشانه دیس فونکسیون سیستولیک بطن راست وبه نفع وجود ۳۵RVEF<% در MRI بوده است(20).

(TAPSE)- Tricuspid annular plane systolic excursion  :به عنوان معیار جدید قدرت انقباضی میوکارد بطن راست مطرح و توسط اکوکاردیوگرافی M-mode بدست می آید . برای اندازه گیری در نمای چهار حفره ای ودر رینگ خارجی تریکوسپید شیب حرکت آنولوس در زمان سیستول اندازه‌گیری و به شکل میلی متر بیان شد. در مطالعات قبلی مقادیر کمتر از 16 میلی متربه نفع دیس فونکسیون بطن راست نشان داده شده است(21).

با توجه به نقش مهم داپلر بافتی در تعیین فونکسیون بطن ، سهولت و reliability معیار های بدست آمده با این تکنیک، چند معیار جدید نشان دهنده فونکسیون طولی و گلوبال بطن راست با این روش اندازه گیری شد .

Myocardial performance index(MPI)-: در مطالعات قبلی ارزش تشخیصیMPI به عنوان معیار فونکسیون گلوبال سیستولیک و دیاستولیک بطن با حساسیت بالا وبدون وابستگی به ژِئومتری بطن نشان داده شده است(22, 23). محاسبه این اندکس به روش داپلر بافتی از سهولت بیشتر برخوردار وبیشتر اختصاصی بوده است (24, 25). 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 بین پایان و شروع مجدد موج دیاستولیک(a) و همچنین طول زمان موج سیستولیک (b) ثبت شده وسپس توسط فرمول زیر محاسبه می شود. MPI=(a-b/b)(تصویر 1). در مطالعات قبلی MPI> 0. 54 غیر طبیعی و به نفع دیس فونکسیون بطنی گزارش شده است(12, 26).

Isovolumic myocardial acceleration (IVA)-

به عنوان معیار جدید نمایانگر وضعیت انقباض طولی میوکارد بطن راست مطرح و در نمای چهار حفره ای در قسمت لترال آنولوس تریکوسپید و توسط داپلر بافتی بدست می آید. به این ترتیب که موج حرکت طولی میوکارد در زمان سیستول ثبت و شیب اولین موج مثبت اندازه گیری شد (تصویر 1)(27, 28).

: s´ wave-درنمای فوق و توسط داپلر بافتی حداکثرسرعت موج سیستولیک ناشی ازحرکت انقباض طولی میوکارد(s´) ثبت شد. موج s´ نمایانگر حرکت انقباضی طولی بطن راست و به عنوان معیار مناسب نشان دهنده فونکسیون بطن راست در بیماری‌های کانژنیتال و هیپرتانسیون ریوی معرفی شده است. بطوریکه مقادیر کمتر از 9.5cm/s به عنوان نشانه دیس فونکسیون بطن راست معرفی شده است (26).

ب- Cardiac MRI (CMR): MRI با سیستم 1.5 تسلا وبا سکانس تصویری steady- state free precession (SSFP) از قاعده تا آپکس و طبق پروتوکل استاندارد انجام و تصاویر استاندارد برای محاسبه معیار های حجمی و فونکسیون بطن راست شامل حجم پایان دیاستول وپایان 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.

محاسبه آماری:

معیارهای کمی به شکلmean± SD بیان شد.ارتباط بین معیارهای اکوکاردیوگرافیک با معیار های MRI، توسط Linear regression analysis و Pearson’s correlation coefficient بررسی شد . آنالیز آماری توسط برنامه SPSS (version 26 ) انجام شد.p < 0.05 از نظر آماری ارزشمند تلقی شد.

یافته ها.

37بیمار با سن متوسط 10.8± 2.2,( range:7-17) سال و سابقه ترمیم جراحی تترالوژی فالوت در این مطالعه تحت بررسی قرار گرفتند. سن متوسط بیماران در زمان جراحی ترمیمی 13.8 ±5.5,( range: 9-35) ماه بود. در 4 بیمار جراحی پالیاتیو قبل ازترمیم کامل بیماری انجام شده بود. در تمام بیماران از Patch trance annular جهت ترمیم مجرای خروجی بطن استفاده شده بود.مطالعه با فاصله زمانی متوسط 9.5± 2.1 سال از زمان جراحی انجام شد. در زمان مطالعه ریتم سینوسی و نمای بلوک شاخه راست در نوار قلب تمام بیماران ثبت شد. تمام بیماران کلاس ۱ NYHA قرار داشتند. نارسایی شدید دریچه پولمونری و دیلاتاسیون شدید بطن راست در تمامی بیماران دیده می‌شد. در هیچیک از بیماران نارسایی شدید دریچه تریکوسپید دیده نشد. اطلاعات به دست آمده شامل سایز و فونکسیون بطن راست در اکوکاردیوگرافی و MRI در جدول شماره 1 نشان داده شده است.

در اکوکاردیوگرافی، دیامتر عرضی متوسط بطن راستmm 35.4 ± 3.6 به دست آمد که ارتباط مستقیم با حجم پایان دیاستول بطن در MRI نشان می داد .(p<0.01, r=0.61) ولی ارتباط آماری با میزان فونکسیون سیستول بطنی دیده نشد.

RV-FAC< 35% درهیچیک از بیماران دیده نشد. بینRV-FAC و مقادیرRVEF در MRI ارتباط مستقیم آماری دیده شد .(P<0.01, r=0.58 ) ولی وابستگی آماری بین RV-FAC و حجم بطن راست بدست آمده در MRI دیده نشد.

RVOT-FS به عنوان یکی از معیارهای جدید فونکسیون سیستول بطن راست معادل3.9% .4± 32 بدست آمد و ارتباط آماری مستقیم با میزان CMR-RVEF نشان می داد (P<0.02, r=0.57 ). در ۶۵%بیماران دیلاتاسیون متوسط تا شدید مجرای خروجی بطن راست ثانویه به ترمیم جراحی قبلی دیده می‌شد.

در بررسی فونکسیون سیستولیک طولی TAPSE:13.8±2.9 بدست آمد که کمتر از میزان گزارش شده در جامعه نرمال و به نفع اختلال فونکسیون طولی میوکارد بطن راست بود ولی ارتباط آماری باCMR-RVEF ویا حجم بطن راست دیده نشد.

همچنین، ولوسیتی موج s´ نسبت به جامعه نرمال در گزارشات قبلی پایینتر ولی ارتباط آماری با CMR-RVEF دیده نشد. وابستگی ضعیف معکوس با حجم پایان دیاستول بطن در MRI وجود داشت(R=-0.56,p<0.05) .

در بررسی توسط داپلر بافتی، IVAبه عنوان دیگرمعیار نشان دهنده فونکسیون طولی بطن راست اندازه ‌گیری شد و میزان متوسط و179±36mm/s2 به دست آمد که در محدوده نرمال گزارش شده می باشد(29). در بررسی آماری بین این معیار وCMR-RVEF ارتباط معنی‌دار دیده نشد. از طرف دیگر ارتباط ضعیف بین این پارامتر و حجم دیاستولیک بطن در MRI وجود داشت(p:0.04, r=- 0.52).

MPI به عنوان معیارمهم فونکسیون گلوبال بطن راست محاسبه و میزان متوسط 0.48± 0.08 بدست آمد ولی ارتباط معنی‌دار با CMR-RVEF نداشت ولی با شدت دیلاتاسیون بطن در MRI ارتباط آماری نشان می داد( p<0.05, r=0.63).

MRI: درهیچ یک از بیماران RVEF< 40% CMR- دیده نشد. در تمام بیماران regurgitation fraction بیش از 30% بدست آمد.

بحث.

معیارهای اکوکاردیوگرافیک در گروهی از بیماران که به دلیل نارسایی پولمونری و یا دیلاتاسیون بطن شدید کاندید احتمالی PVR قرار می گرفتند با شاخص های استاندارد بدست آمده درMRIمقایسه شد. یافته‌های مطالعه ما نشان داد که هر دو معیارRV-FAC و RVOT-FS در اکوکاردیوگرافی با تغییرات RVEF درMRI ارتباط مستقیم آماری دارند و همراه با یافته های داپلر بافتی مرتبط با حجم بطن راست، مجموعا به عنوان معیارهای اکوکاردیوگرافیک دقیق در پیش بینی معیار های استاندارد در MRI ، در نتیجه برای انتخاب بیماران برای انجام PVRکاربرد خواهند 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 فونکسیون بطن راست توصیه شده است(5) .از این میان محاسبه FAC به عنوان یکی از مهمترین ودقیق ترین معیار ها برای محاسبه فونکسیون بطن راست حتی در بیماری های کانژنیتال معرفی شده است. در مطالعه ما مشابه گزارشات قبلی بینRV-FAC با CMR -RVEFارتباط مستقیم آماری دیده شد که نشانه اهمیت این اندکس درپیش بینی فونکسیون سیستول بطن راست در بیماران با سابقه ترمیم تترالوژی بود(9, 30). در هیچیک از بیماران مورد مطالعه، دیس فونکسیون سیستولیک بر مبنای کاهش FACو یا RVEF < 45%در CMR دیده نمی شد . لذا میزان وابستگی این دو معیار در بیماران با عوارض شدیدتر میوکاردیال قابل بررسی نبود. از طرف دیگر افزایش کاذب میزان FACدر 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 بطنی شرکت نمی کنند(31). علیرغم عدم وجود منحنی نرمال جهت کودکان ، کاربرد این معیارجهت تخمین فونکسیون بطن راست در بیماری های مختلف در حال افزایش است. به این ترتیب و با توجه به وابستگی نسبتا ضعیف بین این دو اندکس، کماکان استفاده از چند معیاربه طور همزمان برای افزایش دقت تشخیصی اکوکاردیوگرافی در بررسی فونکسیون بطن مفید خواهد بود.

به تازگی محاسبه RVOT-FSبه عنوان یکی از معیارهای ارزشمند فونکسیون سیستولیک بطن راست در بیماری های کانژنیتال و اکتسابی معرفی شده است. با توجه به تکنیک اندازه‌گیری آسان و تکرارپذیری بالا در این روش، در پیش‌بینی شروع اختلال عملکرد بطن حائز اهمیت است(14, 32, 33). اما در بیماران ترمیم شده تترالوژی به علت وجود نسج اسکار و عدم هماهنگی دقیق قسمت های inflow و out flow احتمال عدم ارتباط این معیاربا اندکس فونکسیون گلوبال بطنی محتمل است. در مطالعه ما ارتباط مستقیم این اندکس با RVEF CMR- به نفع ارزش تشخیصی این اندکس در بیماران با سابقه جراحی ترمیمی تترالوژی می باشد. همچنین وجود ارتباط مستقیم آماری با حجم پایان دیاستول در MRI را نیز می توان به عنوان معیار مهم در تخمین شدت تغییرات مورفولوژی بطن راست ،ثانویه به افزایش بار حجمی تلقی کرد(0.55r=). البته نتایج بعضی مطالعات قبلی، وجود بافت فیبروز و اسکار در مجرای خروجی بطن راست را به عنوان فاکتور مداخله ای در محاسبه RVOT-FS مطرح کرده و نقش این اندکس را در تخمین فونکسیون گلوبال بطن راست مورد سوال قرار داده است (6). بهر حال در تمام بیماران مورد مطالعه ما از تکنیک trans annular patch جهت رفع تنگی شدید دریچه شریان پولمونری استفاده شده بود واز نظر بافت غیر عضلانی و بدون عملکرد انقباضی در این ناحیه، بین بیماران تفاوتی وجود نداشت و هیچیک 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 فالو آپ بیماران اهمیت خواهد داشت.

بررسی شدت دیلاتاسیون بطن راست به شکل بررسی دیامترعرضی بطن توسط اکوکاردیوگرافی در تشخیص و پیگیری روند تغییرات سایز بطن در بیماری‌های کانژنیتال و اکتسابی حایز اهمیت بوده و همینطورارتباط آن با افزایش مورتالیتی در بیماران مبتلا به هیپرتانسیون پولمونری نیز نشان داده شده است(7, 34). در مطالعه ما نیز مشابه گزارشات قبلی ،وابستگی مستقیم مقادیر به دست آمده دراکوکاردیوگرافی با حجم پایان دیاستول بطن راست در MRI مشاهده شد(35, 36). با توجه به تکرارپذیری بالا و سهولت انجام این تست،در تشخیص و خصوصا بررسی روند افزایشی دیلاتاسیون بطن در طی فالوآپ این گروه بیماران مفید خواهد بود. البته مطالعه lai و همکاران و همینطور Greutmann , و همکاران، محاسبه سطح بطن را به عنوان معیار دقیق‌تر در بیماران نشان داده است(17, 36). بطوریکه سطح بطن راست بیش از 20 cm2/M2با حساسیت %۹۷ و اختصاصی بودن ۷۰% نشان دهنده حجم بالای بطن در MRI بوده است. به این ترتیب مجموعه معیارهای اکوکاردیوگرافیک وابسته به سایز در کنارمعیارهای فونکسیون سیستولیک در تعیین شدت تغییرات مورفولولوژیک بطن راست ثانویه به افزایش بارحجمی کاربرد خواهند داشت.

با توجه به فرم انقباضی بطن راست و آناتومی فیببر‌های 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 بدست آمده در بیماری های مختلف یکسان نبوده است و در بیماران ترمیم شده تترالولوژی با دیلاتاسیون بطن راست و نارسایی پولمونری شدید ،از دقت کمتر برخوردار بوده است. درمطالعات قبلی TAPSE به عنوان معیار مهم نشان دهنده فونکسیون در بیماران معرفی شده است به طوری که مقادیر کمتر از mm۱۶ با RVEFکمتر از از ۳۵ %در MRI مطابقت داشته است(9, 37). اگر چه در مطالعه ما TAPSEدر %۷۳ بیماران کمتر از mm۱۶ گزارش شد ولی مشابه مطالعه Mercerو همکاران ،ارتباط آماری با اندکس سیستولیک بطن راست و همینطور حجم دیاستولیک در MRI دیده نشد (38). در حالیکه یافته هایKavurt و همکاران وهمینطور Koestenberger و همکاران وابستگی این معیار را با RVEF و همینطور ارتباط آماری عکس با حجم پایان دیاستول رابه خوبی نشان می داد(39, 40). از طرف دیگر در مطالعه Selly و همکاران نیز ارتباط آماری بین این اندکس حرکت طولی میوکارد با RVEF بدست آمده در MRI دیده نشد. فرضیه مهم در این مورد تغییر در فرم انقباضی و نحوه آرایش میوفیبریل ها در این سگمان بطن بعد از ترمیم جراحی وهمچنین تمرکزخاص این روش روی سگمان RV inflow بیان شده است(30). از سوی دیگر، وابستگی این شاخص به تغییرات پره لود بطن راست از نکات مهم در محاسبه این اندکس است. لذا وجود درجات مهم نارسایی تری کوسپید سبب تغییرات مهم در مقادیر به دست آمده خواهد شد ولی در مطالعه ما هیچیک از بیماران دچار نارسایی تریکوسپید شدید نبودند.مطالعات قبلی وابستگی TAPSEرا به افزایش سن در جامعه نرمال نشان داده است(41). با توجه به میانگین سنی پایینتر بیماران مورد مطالعه ما نسبت به مطالعات قبلی وعدم وجود دیس فونکسیون شدید بطن راست در MRI ، محدوده پایین بدست آمده و تفاوت بدست آمده با سایر مطالعات را میتوان توضیح داد.

بررسی سرعت حرکت طولی سیستولیک میوکارد به شکل اندازه‌گیری سرعت موج s´ به عنوان یک معیا رمهم فونکسیون سیستول بطن راست مطرح است. خصوصا، نقش مهم این معیارفونکسیون رژیونال میوکارد در پیش بینی فونکسیون گلوبال بطن راست در مواردیکه تغییرات پاتوفیزیولوژیک ثانویه به افزایش بار فشاری ،مثل آنچه در هیپرتانسیون پولمونری اتفاق می افتد، نشان داده شده است. اما در مواردیکه اختلال غالب اولیه افزایش بار حجمی بطن است ، نتایج مطالعات مختلف بوده است(42). نتایج ما مشابه مطالعات قبلی نشان داد که تغییرات سرعت موج s´ با تغییرات حجم بطن راست ارتباط ضعیف ومعکوس دارد(r=-0.56) (43).از طرف دیگر، یافته های ما مشابه مطالعه Selly و همکاران وهمینطور Chaowalitو همکاران، بین ولوسیتی موج s´ وCMR-RVEFارتباط دیده نشد(30, 35). لذا بر خلاف مطالعات قبلی اهمیت و کاربرد اندازه گیری معیارفونکسیون رژیونال بطن جهت پیش بینی و تعیین فونکسیون گلوبال بطن دیده نشد(40). علت این امر شاید اختلال ایجاد شده در هم سویی حرکت میوفیبریل های سپتوم با رینگ دریچه تریکوسپید ، بعد از ترمیم تترا لوژی باشد. همینطور 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 فونکسیون گلوبال بطن در بیماران تترالولوژی ترمیم شده ، مطرح شده است(30, 43). برخلاف سایر مطالعات ،یافته های Gootو همکاران نشان می‌دهد که فرم خاصی ازجابجایی رینگ تریکوسپید ثانویه به نارسایی مزمن پولمونری در بیماران ترمیم شده تترالوژی ایجاد می شود. بطوریکه تغییر ساختاری در آرایش میو فیبرلهای طولی و عرضی بطن راست سبب کاهش فونکسیون طولی، قبل از بروز اختلال درفونکسیون گلوبال می‌شود(44). تغییرات فوق و روند بهبودی زودرس بعد از PVR در ارزیابی‌های بطن راست توسط اکوکاردیوگرافی به روش Strain نشان داده شده است. از طرف دیگرRV coupling غیر مناسب بعد از PVRنیز مطرح شده است که وابسته به حجم بطن راست در MRI بوده و توجیه کننده کاهش RVEFحتی بعد از PVRهست(45, 46).

نتایج به دست آمده در مورد وابستگی IVAبه شدت نارسایی پولمونری متفاوت بوده است .هر دو مطالعه Frigiolaوهمکاران و Toyonoو همکاران ، ارتباط عکس میزانIVA با شدت نارسایی پولمونری را نشان داده شده اند(27, 28). به هر حال یافته‌های ما مشابه مطالعه Ono و همکاران بوده وابستگی بین IVAو شدت نارسایی پولمونری دیده نشد(47). علاوه براین، یافته‌های ما مبنی بر عدم ارتباط بین IVAواندکس سیستولیک بطن در MRI مشابه مطالعه Koca و همکاران بوده است(48). از طرف دیگر، یافته ما 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 می شود(48). با توجه به یافته های 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 فالوآپ بیماران از نظر عوارض افزایش بار حجمی و تغییرات پیشرونده پاتولوژیک بطنی دربیماران ترمیم شده با تترالوژی نیاز خواهد بود.

امروزه محاسبهMPI به عنوان پارامترغیر وابسته به ژئومتری در تخمین فونکسیون گلوبال بطن راست و چپ مورد توجه قرار گرفته است و محاسبه این پارامتر توسط داپلر بافتی با سهولت بیشترو تکرارپذیری بالاهمراه بوده و به عنوان معیار فونکسیون و پیش بینی پروگنوز در بیماری‌های کانژنیتال و اکتسابی ارزشمند است(16, 49) .در مطالعه ما میزان 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 (.(35, 48) (r=0.63 تغییرات MPIدر بیماران تترالوژی ترمیم شده با تغییردرپره لود و حجم حفره بطن توجیه شده است (30). با توجه به تغییرات ثانویه به نارسایی پولمونری وافزایش بار حجمی بطن ، زمان isovolumic contraction کوتاه و لذا عدد MPI محاسبه شده ،کوتاه می شود. به این ترتیب، تغییرات این اندکس ناشی از تغییرات بار حجمی بوده و با تغییرات فونکسیون میوکارد کمتر ارتباط خواهد داشت. بهرحال با توجه به سهولت و تکرارپذیری بالادر محاسبه این معیار، جهت تخمین و فالوآپ روند افزایشی حجم بطن راست به عنوان معیار مهم تصمیم گیری جهت PVR ،ارزشمند خواهد بود.

محدودیت ها.

تعداد کم جمعیت مورد مطالعه به عنوان مانع در آنالیز کامل معیارهای اکوکاردیوگرافیک مطرح است . گروه مورد مطالعه شامل جمعیت کوچکی از بیماران بدون علایم نارسایی قلبی و بدون وجود اختلالات ساختاری شایع مثل تنگی دریچه پولمونری بود. در حالیکه وجود هیپرتروفی ،ضایعات باقی مانده آناتومیک مثل تنگی پولمونری یا شانت و دیس فونکسیون میوکارد ناشی از عوامل دیگری بجز افزایش بار حجمی ، در بیماران بعد از ترمیم تترالوژی شایع است که در محاسبه شاخص های اکوکاردیوگرافیک مداخله خواهد داشت. همچنین با توجه به عدم وجود نموگرام برای بعضی شاخص ها و خصوصا عدم وجود محدوده نرمال در کودکان ، بررسی آماری در مقایسه با نتایج بدست آمده در بزرگسالان انجام شده است.

نتیجه گیری.

اندازه گیری هر دو شاخص RVOT-FS و RV-FAC توسط اکوکاردیوگرافی در پیش بینی میزان CMR-RVEF به عنوان یکی ازمهمترین معیارهای استاندارد در تصمیم گیری جهت PVR ، حایز اهمیت است. از طرف دیگر اندازه گیری و پیگیری روند افزایشی دیامتر بطن راست با اکوکاردیوگرافی به عنوان روش آسان و دقیق در تخمین شدت دیلاتاسیون بطن کمک کننده است . از طرف دیگر IVA وسرعت موج s´ به عنوان شاخص های فونکسیون رژیونال میوکارد بطن راست، و همینطورمیزان MPI به عنوان شاخص فونکسیون 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 شاخص های اکوکاردیوگرافیک فوق در طی مراجعات دوره ای با دقت بالا در تخمین معیارهای مهم شامل RVEFو حجم دیاستولیک بطن در MRI حایز اهمیت بوده و در کاهش دفعات انجام MRI در سیر فالوآپ بیماران نقش به سزایی خواهد داشت. مطالعات در آینده بر روی طیف وسیع تر از بیماران مبتلا و با عوارض مختلف مثل تنگی های پولمونری باقی مانده واز سوی دیگربررسی عوامل مداخله گر شایع ، جهت بهبود روش های تشخیصی دراین گروه بزرگ از بیماران کمک کننده خواهد بود.

**Extended abstract.**

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 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.

Keywords: Tetralogy of Fallot, pulmonary valve replacement, right ventricular function, echocardiography, MRI

**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. Geva T, Mulder B, Gauvreau K, Babu-Narayan 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.

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 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, Ruisanchez 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, Krittayaphong 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, Cvirn 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 mangenetic resonance. Echocardiography. 2019;36(12):2251-8.

41. Kurath-Koller S, Avian A, Cantinotti M, Burmas A, Grangl G, Schweintzger 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.

جدول شماره1. یافته های اکوکاردیوگرافیک و MRI در بیماران

|  |  |
| --- | --- |
|  | Patients(n=37) |
| ***Echocardiographic indices*** |  |
| RVDD(mm) | 35.4 ± 3.6(32-49) |
| RV-FAC(%) | 44.4 ± 3.9(40-58) |
| RVOT-FS(%) | 32.4 ± 3.9(25-40) |
| TAPSE(mm) | 13.8 ±2.9 (10-22) |
| IVA(mm/s2) | 179.7± 36(125-230) |
| S´wave(cm/s) | 7.2± 1.4 |
| MPI | 0.48± 0.08 |
| ***MRI indices*** |  |
| RVEDVI( ml/m2) | 168 ±12 |
| RVESVI(ml/m2) | 68 ± 9 |
| CMR- RVEF (%) | 47 ±4(40-56) |
| Pulmonary regurgitation fraction(%) | 32% |

Data presented as mean ±SD, 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 شماره ۲- ارتباط یافته های اکوکاردیوگرافیک با RVEF و RVEDVIبدست آمده در MRI

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| P-value | RVEDVI Correlation coefficients (r) | P-value | RVEF  Correlation coefficients (r) | Echocardiographic variables |
| <0.01 | 0.61 | NS | 0.038 | RVDD |
| NS | -0.3 | <0.01 | 0.58 | RV-FAC |
| NS | -0.32 | <0.02 | 0.57 | RVOT-FS |
| NS | -0.2 | NS | -0.5 | TAPSE |
| <0.05 | -0.56 | NS | 0.31 | s´wave |
| <0.05 | 0.63 | NS | -0.2 | MPI |
| <0.04 | -0.52 | NS | -0.15 | 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;

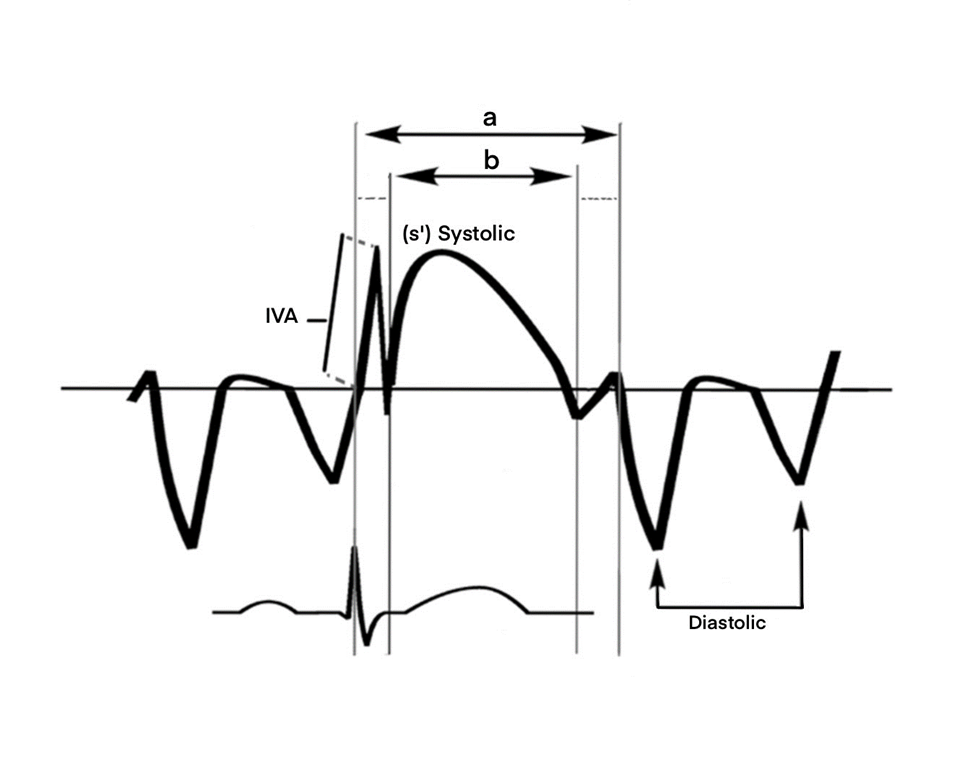


Figure1. Scheme for measurement of time intervals used to calculate the tissue Doppler-derived myocardial performance index (TDI-MPI) and IVA: The MPI index was calculated as (a-b)/b; a, time from cessation of the a’ wave to the onset of the e’ wave; b, the duration of the s’ wave; IVA, myocardial acceleration during isovolumic contraction. The IVA was defined as the first positive deflection in the tissue Doppler signal at the end of the a’ wave. A line was drawn from the IVA onset to its peak, and a slope was measured.