

## دستورالعمل ها و استانداردها

دستورالعمل ها برای انجام کامل اکوکاردیوگرافی از راه مری در کودکان و تمام بیماران با بیماری مادرزادی قلبی:

### توصیه های انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا

این سندتوسط متحدهای بین المللی انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا به شرح زیر تایید شده است: انجمن قلب آرژانتین، انجمن اکوکاردیوگرافی آسیایی پاسیفیک، انجمن اکوکاردیوگرافی انگلستان، دپارتمان تصویربرداری قلب و عروقی انجمن کاردیولوژی بزرگ، بخش اکوکاردیوگرافی انجمن کاردیولوژی کوبا، آکادمی اکوکاردیوگرافی هند، انجمن متخصصین بیهوشی قلبی عروقی ایتالیا، انجمن اکوکاردیوگرافی ژاپن، انجمن اکوکاردیوگرافی کره، انجمن ملی اکوکاردیوگرافی مکزیک، انجمن اکوکاردیوگرافی عربستان سعودی

**وازگان کلیدی:** اکوکاردیوگرافی از راه مری، TEE، بیماری مادرزادی قلبی، CHD، اکوکاردیوگرافی

متترجم: دکترالله ملکان راد

Pierre C. Wong, MD، فیلیپس خدمت می کند.  
در دفترسخنرانان برای Astra Zeneca خدمت می کند.

توجه و سلب مسئولیت: این سند توسط انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا به عنوان منبع مرجع به صورت رایگان در دسترس اعضا قرار داده شده است. این گزارش تنها شامل توصیه ها است و نباید به عنوان تنها پایه برای اتخاذ تصمیم ها در طبابت پزشکی یا اقدام انصباطی برعلیه هریک از کارکنان مورد استفاده قرار گیرد. بیانیه ها و توصیه ها

در این گزارش در درجه اول براساس نظرات خبرگان است تا اینکه براساس اطلاعات راستی آزمایی شده علمی باشد. انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا هیچگونه ضمانت صریح و ضمنی درباره کامل بودن یا دقیق بودن اطلاعات این گزارش شامل ضمانت بازاریابی یا تناسب برای یک هدف

نویسندهای زیر گزارش کرده اند که هیچگونه تعارض منافع واقعی یا بالقوه در ابطة با این سند ندارند:

Michael D. Puchalski, MD, FASE, George K. Lui, MD, FASE, Hollie D. Carron, AAS, RDGS, ACS, FASE, Laura Mercer-Rosa, MD, MSCE, Owen I. Miller, BMed (Hons), FRACP, Wanda C. Miller-Hance, MD, FASE, David Parra, MD, FASE, Luciana T. Young, MD, FASE.  
نویسندهای زیر ارتباط با یک یا بیش از یک منفعت تجاری را گزارش کرده اند:

Michael Brook, MD, FASE  
پژوهش از Siemens دریافت کرده است. Thomas Burch, MD  
LLC . PTEmasters صاحب و مدیر  
است که یک وب سایت برای مروربود برای David A. Roberson, MD, PTEeXAM  
FASE در هیئت مدیره سخنرانان برای اولتراسوند

عضو انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا توجه کنید:  
به برای دریافت اعتبار [www.aseuniversity.org](http://www.aseuniversity.org) رایگان آموزش مداوم پزشکی مربوط به این مقاله از طریق فعالیت آنلاین مراجعه کنید. پس از اتمام موقفیت آمیز فعالیت گواهی برای دسترسی فوری دردسترس است. غیراعضا باید عضو انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا بشوند تا بتوانند از این مزیت بزرگ اعضا استفاده کنند!

درخواست چاپ دوباره: انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا،  
مرکز شرکت Meridian، بزرگراه Meridian، ۲۵۳۰ آپارتمان ۴۵۰، NC Durham، ۲۷۷۱۳ (ایمیل: [ase@asecho.org](mailto:ase@asecho.org))

حق طبع و نشر ۲۰۱۸ توسط انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا  
<https://doi.org/10.1016/j.echo.2018.08.016>

#### مقدمه

اکوکاردیوگرافی از راه مری (TEE)<sup>۱</sup>، از حدود چهار دهه قبل که معرفی شد تاکنون، شاهد پیشرفت های قابل توجهی بوده است. گام های بلندی که در بهبود تکنولوژی TEE برداشته شده ، شامل: تولید ترانسدوسرهای چند سطحی با آرایه های مرحله ای<sup>۲</sup> ، ترانسدوسرهای matrix array برای تصویربرداری سه بعدی و بهبود چشمگیر در تکنولوژی اساسی تصویربرداری اکوکاردیوگرافی موجب شده است که TEE یک روش تصویربرداری بسیار مهم برای بررسی قلب و عروق باشد.<sup>۱۵-۱</sup> قرار داشتن ترانسدوسر اولتراسونیک در مری تصاویر بهتری از قلب را نشان می دهد و مانیتورینگ

ویژه ندارد. در هیچ صورت انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا مسئول به پاسخگویی و پرداخت هزینه به شما، بیماران شما، یا هر گروه ثالث دیگر برای هرگونه تصمیم اتخاذ شده یا عمل انجام شده توسط شما یا سایر گروه ها براساس این اطلاعات نیست. استفاده شما از این اطلاعات ارائه مشاوره پزشکی توسط انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا یا ایجاد ارتباط پزشک - بیمار بین انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا و بیماران شما یا هر کس دیگر نیست.

مرور کنندگان: این سند توسط اعصابی کمیته دستورالعمل ها و استانداردهای سال ۲۰۱۷ - ۲۰۱۸ انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا ، هیئت مدیره انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا و کمیته اجرایی انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا مرور شده است. مرور کنندگان شامل:

Alicia Armour, BS, MA, RDCS, FASE, Federico M. Asch, MD, FASE, Scott D. Choyce, RDCS, RVT, RDMS, FASE, Frederick C. Cobey, MD, FASE, Gregory J. Ensing, MD, FASE, Craig Fleishman, MD, FASE, Mark K. Friedberg, MD, FASE, Neal Gerstein, MD, FASE, Yvonne E. MD, FASE, Robi Goswami, Gilliland, MD, FASE, Lanqi Hua, RDCS (AE/PE/FE), FASE, Pei-Ni Jone, MD, FASE, James N. Kirkpatrick, MD, FASE, FASE, Rick Meese, Stephen H. Little, MD, ACS, RDCS, RCS, RCIS, FASE, Andy RDCS, FASE, Dermot Pellett, PhD, RCS, Phelan, MD, PhD, FASE, and David H. Wiener, MD, FASE. هستند.

<sup>2</sup> - Multiplane phased array transducers

<sup>1</sup> - Transesophageal echocardiography (TEE)

حروف اختصاری
2D = دو بعدی
3D= سه بعدی
بیماری مادرزادی قلبی در بالغین=ACHD
انجمان اکوکاردیوگرافی آمریکا/انجمان متخصصین بیهوشی قلب و عروق=ASE/SCA
دریچه آئورت=AoV
آئورت سعودی=Asc AO
سرخرگ کرونر=CA
بیماری مادرزادی قلبی=CHD
از طریق عمق معده=DTG
سیاه رگ اجوف تحتانی=IVC
دهلیز چپ=LA
نمای طولی=LAX
بطن چپ=LV
مجرای خروجی بطن چپ=LVOT
وسط مری=ME
دریچه دولتی=MV
سرخرگ ششی=PA
دریچه ششی=PV
دهلیز راست=RA
بطن راست=RV
مجرای خروجی بطن راست=RVOT
قطع عرضی=SAX
سیاه رگ اجوف فوقانی=SVC
از طریق معده=TG
اکوکاردیوگرافی از طریق توراکس=TTE
اکوکاردیوگرافی از طریق مری=TEE
دریچه سه لته=TV
قسمت فوقانی مری=UE

قلب بیمار را قبل، در حین و پس از پروسیجر های قلبی و غیر قلبی بدون ایجاد تداخل میسر می سازد.

استفاده گسترده از TEE در کودکان پس از معرفی پروب های کوچک شده<sup>۱</sup> در اوخر دهه ۱۹۸۰ انجام شد.<sup>۱-۳</sup> از آن زمان تاکنون، بی خطر بودن و کاربرد بالینی بسیار ارزشمند این تکنیک در انواع جراحی های بیماری های مادرزادی قلب در کودکان و بالغین و پروسیجر های مداخله ای قلب به اثبات رسیده است.<sup>۴-۱۵</sup> کاربردهای فزاینده TEE همراه با تکنولوژی جدیدتر سبب شد تا انجمان اکوکاردیوگرافی آمریکا و انجمان متخصصین بیهوشی قلب و عروق (ASE/SCA) نسخه اخیر توصیه ها برای انجام یک بررسی کامل با TEE در بالغین با قلب طبیعی از نظر ساختاری را در سال ۲۰۱۳ منتشر نمایند.<sup>۱۶</sup>

بطور مشابه، در کودکان با استفاده از تکنولوژی سه بعدی و بهره گیری از تکنولوژی پیشرفته در پروب ها و نرم افزارها، وجود یک سند جدید، مرجع و روزآمد برای کار دیولوژی کودکان و بیماری های مادرزادی یک ضرورت است.<sup>۱۷-۲۲</sup>

سند کنونی برای ارائه دستورالعمل برای استفاده از TEE و ارائه توصیه ها برای نمایه ای استاندارد TEE و تکنیک هایی است که می توانند در ارزیابی کودکان با بیماری مادرزادی قلبی یا هر بیمار با بیماری مادرزادی قلبی بکار روند.

<sup>۱</sup> -Miniaturized

## دستورالعمل های کلی

### اندیکاسیون ها و کنترالندیکاسیون های انجام TEE

اندیکاسیون ها در کودک بیمار. TEE بطور شایع برای ارزیابی آناتومی و فونکسیون قلب در حین جراحی قلب ، معمولاً برای بیماری مادرزادی قلبی (جدول ۱) ، بکار می رود.<sup>۱, ۲</sup> با این وجود، بدلیل برخی محدودیت های ذاتی TEE در تصویربرداری ساختمان های کلیدی قلب (که درزیز بحث شده است)، نمی توان از آن به عنوان تنها روش تصویربرداری یا روش اصلی تصویربرداری برای ارزیابی بیماری های قلبی در کودکان استفاده نمود. به جای این کار، گروه کاری<sup>۳</sup> پیشنهاد می نماید اکوکاردیوگرافی ازراه قفسه سینه<sup>۴</sup> (TTE) برای تمام کودکان که جراحی قلب می شوند، انجام گیرد زیرا ممکن است اطلاعاتی را بدست دهد که با اکوکاردیوگرافی ازراه مری در حین عمل به تنهایی، دست یافته نباشد. TEE حین عمل که بلا فاصله قبل از عمل جراحی انجام می شود، این امکان را به تیم جراحی می دهد که یافته های تشخیصی پیش از عمل را مرور نمایند ، هرگونه یافته جدیدی را شناسایی کنند ، و در ارزیابی همودینامیک و فونکسیون میوکارد پیش از آغاز عمل جراحی نیز کمک کننده است. TEE ممکن است گذاشتن کاتتر ، پایش وضعیت حجم و فونکسیون بطن در هر لحظه ای از زمان<sup>۵</sup> به منظور انتخاب داروی بیهوشی ،

### جدول ۱ اندیکاسیون های TEE در بیمار با بیماری مادرزادی قلبی (CHD)

اندیکاسیون های تشخیصی
• بیمار مشکوک به CHD و TTE <sup>۶</sup> غیر تشخیص دهنده
• وجود سوراخ بینی باز (PFO) با یا بدون کنتراست سالین agitated و تعیین جهت شنت به عنوان انتیلوژی احتمالی برای سکته مغزی
• بررسی منشا آمویزی قلبی عروقی بدون منشا غیر قلبی شناخته شده
• بررسی بافل های داخل قلبی یا خارج قلبی بدنیال Mustard پروسیجرهای فانتن، Senning یا
• شک به پاتولوژی حاد آورت شامل، ولی نه محدود به، دیسکسیون یا پارگی آورت در اثر ترومما <sup>۷</sup> ( به عنوان مثال سندرم مارفان، دریچه آورت دولتی، کوارکتسیون آورت )
• بررسی داخل قلبی برای وژتاپسیون یا شک به آپسه
• بررسی ترومبووز داخل قلبی قبل از کاردیویرزن برای فلاوتر دهليزی / فيبريلاسيون و یا از بین بردن را راديوفر کونسی <sup>۸</sup>
• افیوئن پریکارد پایررسی فونکسیون قلب و پایش بیمار پس از عمل با استرنوم باز یا پنجره اکوستیک نامناسب
• بررسی دریچه مصنوعی در شرایطی که تصاویر اکوکاردیوگرافی ترنس توراسیک کافی نیستند.
• بررسی دوباره یافته های TEE از نظر تغییرات در طول زمان (به عنوان مثال بهبود ترومبووز پس از آنتی کواگلولاسیون ، بهبود وژتاپسیون پس از درمان با آنتی بیوتیک)
اندیکاسیون های حول و حوش عمل جراحی
• مشخص نمودن آناتومی و فونکسیون بلا فاصله قبل از عمل نتایج جراحی و فونکسیون پس از عمل
• پایش حین عمل حجم و فونکسیون بطن
• پایش از نظر هوا داخل قلب / داخل عروقی و کفایت بدون هوا نمودن <sup>۹</sup> قلب
مداخلات هدایت شده با TEE
• هدایت برای قرار دادن وسایل مسدود کننده ( به عنوان مثال نقش سپتوم، منفذ فانتن یا بافل داخل دهليزی )
• هدایت برای سیتوستومی با تیغ <sup>۱۰</sup> یا بالون
• هدایت برای ایجاد/ استنت کردن ارتباط بین بطن
• هدایت در حین مداخلات دریچه ای از طریق پوست
• هدایت در حین پروسیجر از بین بردن را راديوفر کونسی
• ارزیابی نتایج برش جراحی حداقل تهاجمی <sup>۱۱</sup> یا پروسیجر قلبی با کمک ویدئو
• هدایت در هنگام قرار دادن وسیله کمک قلبی از طریق کاتتر ( به عنوان مثال پمپ قلبی (Impella) ® )

تغییر داده شده از Ayres و همکاران<sup>۱۲</sup>

<sup>1</sup> - Transection

<sup>2</sup> - Radiofrequency ablation

<sup>3</sup> - De-airing

<sup>4</sup> - Blade septostomy

<sup>5</sup> - Minimally invasive surgical incision

<sup>6</sup> - Task force

<sup>7</sup> - Transthoracic echocardiography

<sup>8</sup> - Real-time

به غیر از موارد مربوط به انجام پروسیجر، از TEE برای داشتن تصاویر تشخیصی در مواردی که بیمار پنجره مناسب آکوستیک ندارد یا در مواردی که ارجحیت تصویربرداری با روش TEE به اثبات رسیده است، مانندبررسی ترومبوز دهیز پیش از کاردیوروزن، بررسی شانت داخل قلبی در بیماران دچار سکته مغزی، مشاهده مسیر فانتن، ارزیابی عملکرد دریچه مصنوعی قلب و پاتولوژی های همراه آن، و ارزیابی آندوکاردیت برروی دریچه های طبیعی و مصنوعی استفاده می شود.<sup>۴۸-۴۵، ۳۵-۳۳</sup>

اکوکاردیوگرافی از راه مری در حین عمل به صورت loading فراینده برای پایش عملکرد میوکارد و وضعیت بطون در بیماران با بیماری مادرزادی قلبی و سایرپاتولوژی های اکتسابی که برای آنها پروسیجرهای پرخطر غیر قلبی انجام می شود و همچنین نشان دادن ساختمان های راهنمایی کننده در حین جراحی های کم تهاجمی<sup>۳</sup> بکارمی رود.<sup>۴۹، ۳۶-۵۴</sup> در بخش مراقبت های ویژه، در بیمار پس از عمل که پنجره ترنس توراسیک<sup>۴</sup> مناسب ندارد یا استرنوم وی باز است و برای درمان بیمارانی که حمایت مکانیکی برای گردش خون می شوند، TEE اطلاعات تشخیصی در اختیارقرار می دهد.

تجویز داروی اینوتروپ . تصمیم گیری ها ای درمانی را تسهیل نماید.<sup>۳۶-۳۳</sup> در حین عمل ، می توان از TEE برای ارزیابی محل کانول و درناژ سیاهرگی در حین cardiopulmonary bypass ، هواگیری<sup>۱</sup> داخل قلبی و مشخص نمودن اختلالات ریتم استفاده نمود. یک نقش مهم TEE پس از عمل جراحی بررسی کفایت ترمیم جراحی و ارزیابی فونکسیون بطن است. گرچه باید دانست که یافته های TEE پس از عمل جراحی می تواند تحت تاثیر عوامل متعددی مانند عمق بیهوشی، وضعیت همودینامیک و تجویز داروهای وازاکتیو قرار گیرند. بنابراین، برای تصمیم گیری در باره اینکه آیا دوباره بیمار به bypass گردد یا نه ، باید نه تنها یافته های TEE بلکه اطلاعات بالینی، همودینامیک بیمار و میزان خطر دربرابر میزان فایده ناشی از اقدام دوباره را در نظر گرفت.

TEE نقش مهمی در آزمایشگاه کاتتریزاسیون قلب دارد.<sup>۳۹-۳۷</sup> در هنگام جاگذاری وسیله<sup>۲</sup> برای بستن سوراخ های دیواره قلبی ، TEE اطلاعات دقیق در باره محل، ژئومتری و تعداد سوراخ ها را در اختیار قرار می دهد و اینترونشنیست را قادر می سازد تا استراتژی روشن برای بستن داشته باشد. <sup>۴۲-۴۰</sup> استفاده از TEE در حین بروسیجرهای مبتنی بر کاتتر زمان فلوروسکوپی را محدود می کند ، حجم ماده حاجب تزریق شده را کاهش می دهد و اینمی اینترونشن را بطور کلی افزایش می دهد.<sup>۴۳، ۳۹، ۳۸</sup>

<sup>۳</sup> - Minimally invasive

<sup>۴</sup> - Transthoracic window

<sup>۱</sup> - Deairing

<sup>۲</sup> - Device

## کنترالندیکاسیون های انجام TEE در کودک بیمار

قراردادن پروب و وارد نمودن آن به درون مری اقدامی نیمه

تهاجمی است و بالقوه با خطر همراه است. باید شرح حال را بیمار را از نظر داشتن کنترالندیکاسیون های نسبی و مطلق مرور نمود (جدول ۲). اگر کنترالندیکاسیون نسبی وجود دارد، باید فواید بالقوه انجام TEE بیش از خطرهای ناشی از آن باشد. به عنوان مثال، باید توجه خاصی به بیماری که جراحی مری شده است، نمود زیرا مشخص نیست آیا گذاشتن پروب در این بیمار بی خطر است یا چه زمانی بی خطر است. پس از گذاشتن لوله گاستروتومی / گذاشتن دگمه<sup>۴</sup> ( یا بدون فوندوپلیکاسیون Nissen )، با توجه به نسبت خطر / فایده، ممکن است نیاز به محدود نمودن یا پرهیز از تصویربرداری از معده ( ترسن گاستریک یا ترسن گاستریک عمقی<sup>۵</sup> ) باشد. در بیماران با سندروم داون به دلیل زبان نسبتاً بزرگ ، باریک بودن ساختمان های هیپو فارنکس و یا ناپایداری ستون فقرات گردنی، باید دقت نمود. TEE در کودک بیمار مبتلا به حلقه عروقی،<sup>۶</sup> کنترالندیکاسیون نسبی دارد زیرا مری و نای در یک فضای محدود محاصره شده اند و گذاشتن پروب سخت در مری می تواند موجب بروز مشکل چشمگیر در راه هوایی گردد.

در اینجا منظور بیماری است که به احتمال متوسط تا بالا آندوکاردیت عفونی دارد ولی هنوز تشخیص وی به تایید نرسیده است.

<sup>4</sup> - Atrioventricular

<sup>5</sup> - Button placement

<sup>6</sup> - Deep transgastric

## اندیکاسیون ها در بالغین با بیماری مادرزادی قلبی

### <sup>۱</sup> (ACHD)

TEE در بالغین با ACHD برای بسیاری از همان دلایلی که در بالا برای کودکان ذکر شد، اندیکاسیون دارد: نامناسب بودن کیفیت تصاویر در TTE ، هدایت اینترونشن های قلبی در اتفاق عمل یا آزمایشگاه کاتتریسم ، ارزیابی ترومبوزهای داخل قلبی ( به ویژه پیش از کاردیوژن الکتیو یا ابليسن با رادیوفرکونسی<sup>۷</sup>)، و تشخیص آندوکاردیت عفونی با احتمال پیش آزمون <sup>۸</sup> متوسط تا زیاد.<sup>۱۶</sup> برای ارزیابی شنت های بین دهلیزی ، بازگشت غیر طبیعی سیاهرگ های ششی ، دریچه های دهلیزی- بطی (AV)<sup>۹</sup>، پروسیجرهای با بافل های داخل دهلیزی پیچیده ، مسیر فانتن ، دریچه های قلبی مصنوعی و کاندلوئی ها و آنومالی های عروق کرونر، غالباً TEE به TTE ارجحیت دارد.

TEE می تواند در ارزیابی بیماران ACHD که برای نخستین بار عمل جراحی قلب می شوند و حین اعمال جراحی مجدد برای درمان ضایعات همودینامیک باقیمانده و نیز در جراحی های غیر قلبی بسیار مفید باشد.<sup>۱۰</sup> در این شرایط، TEE می تواند ارزیابی کاملی از مرفولوژی و فونکسیون قلب در بیماری های مادرزادی ساده تا پیچیده قلبی در اختیار قرار دهد.

<sup>1</sup> - Adult congenital heart disease

<sup>2</sup>- Radiofrequency ablation

<sup>3</sup> - Pretest probability

منظور از این اصطلاح ، احتمال اینکه یک بیمار یک بیماری را داشته باشد ، پیش از آنکه نتیجه آزمایش قطعی وی مشخص شده باشد، است.

## جدول ۲ کنترالندیکاسیون های TEE

مطلق	نسبی
ترمیم نشده فیستول تراکتو ازو فاژیال	شرح حال جراحی مری یا معده
انسداد یا تنگی مری احشای توخالی پر فوره	سابقه کانسر مری واریس مری یا دیبورتیکولوم
خونریزی اخیر از دستگاه گوارش مری	خونریزی اخیر از دستگاه گوارش ازو فاژیت فعال یا بیماری زخم
کنتل ضعیف راه هوایی دپرسیون شدید تنفسی	کنتل ضعیف راه هوایی حلقه عروقی، آنومالی کمان آورت با یا بدون اختلال راه هوایی
بیماری که همکاری نمی کند، آرام نشده است	پاتولوژی اوروارنزیال کوآگولوپاتی شدید تروموبوسیتوپنی قابل توجه آسیب یا آنومالی ستون فقرات گردانی پس از گاستروستومی یا فوندوپلیکاسیون تصویربرداری از مری را محدود می کند.

تغییر داده شده از Ayres و همکاران<sup>۱۳</sup>

دانش پزشکی و مهارت های مراقبت از بیمار یا مهارت های پروسیجال، مطابق با آنچه گروه کاری<sup>۲</sup> در برنامه آموزشی تصویربرداری غیر تهاجمی برای فلوشیپ قلب کودکان برای متخصصین قلب کودکان که قصد انجام مستقل TEE را

دارند ذکر کرده اند، توصیه می شود (جدول ۳).<sup>۳۰، ۳۱</sup> این مانع از اینکه یک فلو در حین فلوشیپ شروع به یادگیری مهارت های TEE نماید نمی گردد. یادگیری می تواند شامل تمرین با شبیه ساز به منظور کسب توانایی بدست آوردن نماها به صورت سریع و روان باشد ولی محدود به آموزش بر روی شبیه ساز نمی شود. ارزیابی پیچیدگی آناتومیک و همودینامیک کودکان و بالغین با بیماری مادرزادی قلبی

## کنترالندیکاسیون ها در بیمار ACHD

کنترالندیکاسیون های نسبی و مطلق انجام TEE در بالغین در دستورالعمل های کامل TEE توسط انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا / انجمن متخصصین بیهوشی قلبی و عروق<sup>۱</sup> ذکر شده است. در بیماران ACHD، همان ملاحظات شرح داده شده برای کودک با سندروم داون یا حلقه عروقی را باید رعایت نمود.

### نکات کلیدی

۱. اندیکاسیون های TEE در کودکان و تمام بیماران با بیماری مادرزادی قلبی شامل ارزیابی آناتومی و فونکسیون قلب پیش و پس از عمل، هدایت اینترونشن های از راه کاتتر، TTE غیر تشخیصی، ترمبوز داخل قلبی، فونکسیون دریچه مصنوعی، و تشخیص آندوکاردیت عفونی است.

۲. در مواردی که بیمار کنترالندیکاسیون های نسبی برای انجام TEE را دارد، باید فواید ناشی از انجام پروسیجر بیش از خطرهای آن باشد. کنترالندیکاسیون های نسبی در درجه اول مربوط به احتمال بروز ترومای مری یا ایجاد مشکل در راه هوایی است.

مهارت های شناختی، مهارت های تکنیکی و دستورالعمل های آموزشی تصویربرداری TEE یک مهارت پیشرفته محسوب می شود. بنابراین انتظار می رود فرد اکوکاردیوگرافی کننده کودکان یا ACHD که این بررسی را انجام می دهد، تجربه و تخصص در تشخیص بیماری های ساختاری و اکتسابی قلبی با TEE داشته باشد. مهارت های ضروری برای اکوکاردیوگرافی کودکان شامل

عمل ، آزمایشگاه های کاتتریزاسیون، اتاق های هیبرید، واحدهای مراقبت ویژه و واحدهای آرام بخشی<sup>۲</sup> باشد. فرد اکوکاردیوگرافی کننده باید مهارت های بدست آوردن تصویر و مطلوب سازی کیفیت تصویر ، کنترل و هدایت پروب با دست<sup>۳</sup> و تفسیر یافته ها را کسب نماید. یافته ها باید با سرعت و بطور موثر به اطلاع تیم یا تیم های جراحی و/یا اینترونشن به گونه مناسب رسانده شود.<sup>۴۵</sup>

انجام و تفسیر حداقل ۵۰ مورد بررسی TEE در کودکان و بالغین با بیماری مادرزادی قلبی پیش از انجام مستقل TEE توصیه می شود.<sup>۴۶</sup> برای تصویربرداری ACHD توسط پزشکانی که در درجه اول TEE بالغین را انجام می دهند ، حداقل الزامات برای آموزش و حفظ توانمندی در دستورالعمل های کامل ASE/SCA برای TEE در سال ۲۰۱۳ ذکر شده است ولی ایده آل آن است که این تصویربرداری توسط پزشکانی انجام شود که تجربه و/یا آموزش در ACHD دارد.<sup>۱۶</sup> علاوه بر متخصصین قلب، برخی از متخصصین بیهوشی قلب که از کودکان مراقبت می کنند آموزش و تجربه مناسب در TEE کودکان را دریافت کرده اند و تفسیر یافته ها را در اتاق عمل در اختیار قرار می دهند. در این موارد باید فرد دومی که آموزش TEE یا بیهوشی در بیماری های قلبی عروقی مادرزادی را دیده باشد، در دسترس باشد تا مانع از عدم توجه به انجام پیش با TEE در زمان حول و حوش پروسیجر گردد. در حالی که برخی از انجمن های بین المللی از انجام توسط افراد غیر پزشک

نیاز به دانش عمیق در باره تمام پاتولوژی های قلبی عروقی مادرزادی و اکتسابی کودکان و پروسیجر های تسکینی و درمانی، به روش جراحی و ازراه کاتتر، مربوط به آنها دارد. علاوه ، تجربه زیاد در اکوکاردیوگرافی دو بعدی ± سه بعدی pulsed-wave ، همراه با تکنیک های تصویربرداری داپلر continuous-wave و داپلرنگی جریان خون<sup>۱</sup> ضروری است.<sup>۹</sup>

انجام TEE نیاز به درک آناتومی اوروفارنکس، تکنیک های آندوسکوپی و اندیکاسیون ها ، کنترالندیکاسیون ها و خطر های پروسیجر دارد بخصوص اگر فرد خود مسئول وارد نمودن پروب باشد. در کودکان با جثه کوچک ، انتخاب پروب درست و نظرات بروز پروب می تواند از بروز خطر جلوگیری نماید.<sup>۴۶</sup> فردی که پروب را وارد می کند باید درانتوباسیون مری ماهر باشد. برای آنها که انتظار می رود در گذاشتن پروب در کودکان نقش داشته باشند، قبل از آن که فرد مجاز باشد بدون نظرات بطور مستقل پروب را در کودکان وارد نماید، باید طبق دستورالعمل پیشنهادی حداقل ۲۵ انتوباسیون مری با نظرات مستقیم یک اکوکاردیوگرافی کننده مجبوب در کودکان ، آندوسکوپیست معده وروده با تجربه در کودکان یا متخصص بیهوشی و بطور ایده آل در یک مرکز قلب کودکان فعال، مورد تایید از نظر اعتبار بخشی و با تعداد زیاد بیمارانجام داده باشد. تجربه گذاشتن پروب تحت نظرات باید شامل کودکان و بالغین در شرایط بالینی مختلف شامل ، ولی نه محدود به ، اتاق های

<sup>۳</sup> -Probe manipulation

<sup>۱</sup> - Color Doppler

<sup>۲</sup> - Sedation suites

مستمر با تمرکز برروی روزآمد سازی دستورالعمل های آزمایشگاه و ارزیابی پیامدها به علاوه ارزیابی سالیانه انجام

توسط پزشکان و دقت تفسیر آنها توصیه می شود. کمیسیون اعتباربخشی بین انجمن ها<sup>۲</sup> (IAC) که یک سازمان مستقل اعتباربخشی است که اعتباربخشی آزمایشگاه های اکوکاردیوگرافی را براساس استانداردهای مورد قبول و منتشر شده انجام می دهد، دستورالعمل های خودرا برای اعتباربخشی اکوکاردیوگرافی کودکان، شامل کودکان به صورت منظم روزآمد می نماید TEE (http://www.intersocietal.org/).

صدور گواهینامه. در حال حاضر هیچ مسیر خاصی برای صدور گواهینامه که به طور ویژه برای پزشک انجام دهنده در کودکان و بالغین با بیماری مادرزادی قلبی باشد، وجود ندارد.

#### نکات کلیدی

۱. پزشکانی که می خواهند TEE در کودکان و تمام بیماران با بیماری مادرزادی قلبی انجام دهند، باید:  
الف. آموزش و تفسیر نظارت شده توسط یک پزشک با تجربه چشمگیر در TEE را دریافت کنند. فرد مجرب می تواند اکوکاردیوگرافی کننده قلب کودکان، متخصص بیهوشی بیماری مادرزادی قلبی عروقی یا فرداکوکاردیوگرافی کننده با تجربه و/یا آموزش دیده در ACHD باشد.
- ب. حداقل ۵۰ مورد TEE را تحت نظارت در کودکان و/یا بیماران ACHD را پیش از انجام تصویربرداری TEE به صورت مستقل، انجام و تفسیر کرده باشد.
۲. در حال حاضر هیچ مسیر خاصی برای صدور گواهینامه که به طور ویژه برای پزشک انجام دهنده TEE در کودکان و بالغین با بیماری مادرزادی قلبی باشد، وجود ندارد.

حمایت می کنند، در مورد بیماری مادرزادی قلبی مناسب است که پروسیجر تحت نظارت مستقیم پزشک انجام شود.

توصیه ها برای پزشکانی که رسمآموزش انجام TEE در کودکان و بالغین با بیماری مادرزادی قلبی ندیده اند. پزشکانی که علاقمند به انجام TEE بدون گذراندن فلوشیپ رسمی قلب کودکان هستند می توانند از آموزش فشرده در آزمایشگاه اکوکاردیوگرافی کودکان / مادرزادی با تأکید بر تصویربرداری TEE بهره مند شوند.<sup>۳۱</sup>

هدف از این دستورالعمل ها ترویج ایمنی و کیفیت از طریق مشخص نمودن مهارت های لازم و میزان آموزش تحت نظارت و تجربه مورد نیاز برای انجام TEE است. هیچگونه قصد محروم کردن پزشکان از انجام TEE وجود ندارد، بلکه هدف ترویج استاندارد ایمنی و انجام موثر TEE در موارد پیچیده در کودکان که غالباً نحیف هستند و در بالغین مبتلا به بیماری مادرزادی قلبی است.

**حفظ مهارت ها.** حفظ مهارت با انجام ۲۵ تا ۵۰ مورد در کودکان و/یا بالغین مبتلا به ACHD در سال باید امکان پذیر باشد. در برنامه های بزرگ که وظایف بین تعداد زیادی پزشکان توانمند در TEE تقسیم می شود، ممکن است این معیار توسط هریک از پزشکان آموزش دیده قابل دستیابی نباشد. در این موارد، از راه های دیگر ارزیابی حفظ مهارت که غالباً بر مبنای متغیرهای پیامدی<sup>۱</sup> که توسط مدیر آزمایشگاه تعیین شده است، استفاده می گردد. ارتقا کیفیت

<sup>2</sup> Intersocietal Accreditation Commission

<sup>1</sup> -Outcome variables

## انتخاب بیمار و عوارض

بطور کلی تجربه بالینی با TEE مشخصات ایمنی مطلوبی را،  
بامیزان عوارض ۱-۳٪ در گروه سنی کودکان نشان  
می دهد.<sup>۶۵، ۶۱، ۱۱-۶۹</sup>

اکثر مشکلات در نوزادان و شیرخواران کوچک دیده  
می شود و مربوط به مشکل تنفسی یا اثرفشاری برروی  
عروق است.<sup>۷۰-۷۵</sup> هسته شدن سینوسی تعداد ضربان قلب  
به صورت خفیف یا حتی بروز برadiکاردی برای سن در  
اثرتحریک واگ و نیز تغییرات ریتم قلبی در هنگام ورود  
پروب در اثر تحریک واگ گزارش شده است.<sup>۶۱، ۶۴</sup> هنگامی  
که تصویربرداری TEE در حین عمل انجام می شود، ایده  
آل آن است که پروب تصویربرداری پیش از قرار دادن پارچه  
های استریل در مری قرارداده شود. به منظور کاهش  
آرتیفیکت ناشی از الکتروکوتور، بررسی پیش از عمل باید قبل  
از برش پوست کامل شده باشد. در اکثر مراکز به منظور  
جلوگیری از آسیب به مری، با توجه به اینکه پهن ترین  
قسمت پروب نوک آن است، نوک پروب در مرحله bypass  
در معده نگه داشته می شود. دسترسی به سخت افزاریا  
سایر علل ممکن است مانع از نگه داشتن پروب در بدن  
در طول bypass شود. پروب را می توان پس از بررسی  
پیش از عمل خارج نمود و پیش از جدال نمودن بیمار از  
دوباره وارد کرد یا تنها برای ارزیابی پس از عمل  
استفاده نمود. در این موارد باید خطرهای اضافه بالقوه مانند  
خطرهایی که مربوط به استفاده از ابزار<sup>۱</sup> در اوروفارنکس /  
مری هستند، پرفوراسیون مری در بیماری که سیستم

انعقادش بطور کامل مختل شده<sup>۲</sup>، خارج شدن بالقوه یا  
جایجاپی لوله نای، یا از جای خود خارج شدن کانول  
 تشخیص داده شوند. به ندرت عوارض جدی مانند bypass  
پرفوراسیون مری، آسیب غیرعمدی به معده در حین  
استرنوتومی و تنگی زیر گلوت شرح داده شده است.<sup>۷۸، ۷۹</sup>  
خطرهای مربوط به خونریزی در اثر تصویربرداری از راه مری  
در بیماری که داروی ضد انعقاد دریافت کرده است، تا  
حد زیادی ناشناخته است و در اینگونه موارد باید نسبت  
خطر به فایده را برای بیمار در نظر گرفت.  
در کودکان TEE شیوع اختلال بلع اوروفارنژیال پس از  
پس از اعمال جراحی قلب باز ۱۸٪ تخمین زده می شود.  
عوامل خطر شامل سن کمتر از ۳ سال، لوله گذاری  
نای پیش از عمل و مداخلات برای انجام ضایعات انسدادی  
سمت چپ است. وجود اختلال بلع می تواند بر روی بهبودی  
پس از عمل تاثیر بگذارد و موجب ایجاد ناخوشی مهم  
گردد. باید تمام تلاش ها را برای اصلاح این عوامل خطر با  
توجه به اندازه بزرگ پروب در نوزاد و اندازه کوچک  
شیرخوار و پیچیدگی و مدت زمان بسیاری از مداخلات  
نمود. نگرانی بالینی دیگر در کودکان انسداد راه هوایی  
فوکانی در برخی از بیماران پر خطر است که نیاز به دوباره  
لوله گذاری نای داشته باشند.<sup>۸۰</sup> افزایش قابل توجه فشار  
گزارش شده TEE کاف لوله نای در حین گذاشتن پروب  
است، ولی این افزایش موقتی است و با جلوبردن پروب به  
درون معده به میزان پایه خود بر می گردد.<sup>۸۱</sup> گرچه شیوع  
بالایی (۶۴٪) از یافته های غیر طبیعی (اریتم، ادم و

<sup>2</sup>-Fully anticoagulated

<sup>۱</sup>-Instrumentation

بیمار **ACHD** همانطور که در دستورالعمل های جامع TEE برای ASE/SCA در سال ۲۰۱۳ ذکر شده است، در بیمار ACHD به صورت روتین با آرام سازی همراه با هوشیاری انجام می شود.<sup>۱۴</sup> عوارض جدی در این بیماران نادر است، گرچه ممکن است، در صورت همراهی اختلالات همودینامیک، هیپرتانسیون شدید سرخرگ ششی، سیانوز باقی مانده یا فیزیولوژی تک بطنی لازم باشد ملاحظات دیگری را در نظر داشت.<sup>۹</sup> در بیمار بالغ با گردش خون فانتن، به حداقل رساندن تغییرات در حجم سیاهرگهای سیستمیک اهمیت دارد زیرا گشاد شدن سیاهرگها یا دهیدراسیون می تواند موجب کاهش فشار سیاهرگهای مرکزی و کاهش جریان خون از طریق مسیر ششی شود.<sup>۸۸</sup> ممکن است نیاز به تجویز مایعات از راه سیاهرگی برای خنثی نمودن اثرات مضر ناشتابودن همراه با اثرات واژودیلاتوری و/یا مهارکننده میوکارد ناشی از داروهای آرام بخش وجودداشته باشد.<sup>۶</sup> هیپوونتیلاسیون و هیپوکسی ناشی از آن می تواند موجب افزایش مقاومت عروق ششی و به طور کلی کاهش برون ده قلبی در بیمار فانتن شود، بنابراین اکسیژن مکمل و کاپنوگرافی برای پایش قویاً توصیه می گردد.<sup>۸۸</sup> از آنجا که هر بیمار با منفذ<sup>۲</sup> در فانتن یا شانت باقیمانده در معرض خطرزیاد برای آمبولی پارادوکس قرار دارد، مراقبت خیلی دقیق شامل استفاده از فیلتر داخل

هماتوم، با شیوع کمتر اروزیون مخاطی و پتشی) پس از در جراحی قلب کودکان با اندوسکوپی قابل TEE<sup>۱۵</sup> انجام انعطاف گزارش شده است، هیچگونه مشکلات دراز مدت در غذاخوردن یا بلع شناسایی نشده است.<sup>۸۴</sup> در شیرخواران بسیار بدخل با ناهنجاری های تمام سیاهرگ های ششی باید توجه خاص نمود زیرا ممکن است در اثر فشار پروب بروی همریزگاه سیاهرگهای ششی<sup>۱</sup>، هیپوتانسیون و هیپوکسمی ایجاد گردد.<sup>۸۶-۸۵</sup> گذاشتن پروب پیش از استرنوتومی غالباً بدون عارضه است، گرچه در صورتی که در این شرایط بکار رود، باید پروب را پس از بازنمودن قفسه سینه وارد نمود و مراقبت دقیق از نظر بروز اختلال همودینامیک توصیه می شود.

### آرام سازی و بیهوشی

**کودک بیمار.** آرام سازی و بیهوشی برای TEE در بیماران با بیماری مادرزادی قلبی باید توسط افراد با تجربه که آناتومی و پاتوفیزیولوژی بیماری های خاص را درک می کنند، انجام شود.<sup>۸۷</sup> لوله گذاری داخل مری می تواند کاملاً تحریک کننده باشد، بنابراین اکثر کودکان نیاز به آرام سازی عمیق یا بیهوشی عمومی دارند و معمولاً یک متخصص بیهوشی یا فردی با تجارب معادل یک متخصص بیهوشی در مراقبت از کودکان بیمار مسئول انتخاب، تجویز و پایش این داروها می شود. برقراری ارتباط نزدیک بین متخصص بیهوشی و فرد اکوکاردیوگرافی کننده پیش از پروسیجر و در حین پروسیجر ضروری است.

<sup>2</sup>-Fontan fenestartion

<sup>۱</sup>-Pulmonary venous confluence

پروپ ها کیفیت تصویر بالاتر، گزینه های بیشتر برای بدست آوردن تصویر و روش های<sup>۲</sup> قویتر برای ارزیابی بهتر سیستم قلبی عروقی حتی در شیرخواران بسیار کوچک دارند. پروپ های TEE تک سطحی<sup>۳</sup> که در ابتدا بودند، فقط امکان انجام تصویربرداری را به صورت عرضی یا افقی می دادند.<sup>۴</sup>

اضافه کردن یک سطح تصویربرداری دوم در پروپ های دوسطحی<sup>۴</sup>، امکان تصویربرداری در سطح طولی یا عمودی (۹۰ درجه) را فراهم نمودو بنابراین این امکان ایجاد شد که ساختمندان در دوسطح عمود برهم مورد بررسی قرار گیرند.<sup>۵</sup> ایجاد پروپ های چند سطحی<sup>۵</sup> (تمام سطوح) امکان تصویربرداری بین ۰ تا ۱۸۰ را میسر ساخت. فناوری سه بعدی برای وسایل TEE از بازسازی آفلاین تصاویر متوالی بدست آمده دو بعدی، به تصویربرداری هم زمان<sup>۶</sup> با استفاده از پروپ با آرایه ماتریس<sup>۷</sup> پیشرفته است. این پروپ حجم انتخاب شده ای از قلب را به صورت مجموعه داده های سه بعدی به صورت هم زمان تصویربرداری می نماید و آناتومی را از هر منظر از جمله از منظر جراح<sup>۸</sup> نشان می دهد.<sup>۹</sup>

انتخاب پروپ TEE برای شیرخواران و کودکان اساساً به دو عامل بستگی دارد: وزن بیمار و اندازه پروپ. پروپ کوچک چند سطحی کودکان<sup>۹</sup> نخستین پروپ مینیاتوریزه شده با توان تصویربرداری چند سطحی برای استفاده در

سیاهگی را باید در نظر داشت. تغییر در پس بار<sup>۱</sup> قلب می تواند موجب افزایش شنت راست به چپ، افزایش خطر آمبولی پارادوکس و کاهش درصد اشباع اکسیژن شریانی گردد.<sup>۹</sup> بنابراین می توان احتیاط نمود و از تیم بیهوشی، در هنگام انجام TEE در بیمار ACHD با فیزیولوژی فانتن، بیماری های سیانوتیک ترمیم نشده یا عمل تسکینی شده، هیپرتانسیون ششی یا بیمار با شرح حال آپنه متوسط تا شدید در حین خواب، درخواست کمک نمود.

## نکات کلیدی

۱. در کودکان و تمام بیماران با بیماری های مادرزادی قلبی TEE ایمنی مناسب و میزان عارضه اندک دارد.
۲. اکثر عوارض مربوط به مشکلات تنفسی یا فشاربرروی عروق است. عوارض نادر جدی شامل پرفوراسیون مری، پاره شدن معده و تنگی زیر گلوت می باشد.
۳. در حالی که بیهوشی عمومی برای انجام TEE در کودکان بکار می رود، TEE در بالغین با بیماری مادرزادی قلبی به صورت روتین با آرام نمودن همراه با حفظ هوشیاری (conscious sedation) بیمار صورت می گیرد. در بیمار بالغ با فیزیولوژی فانتن، بیماری سیانوتیک ترمیم نشده یا عمل تسکینی شده یا بیمار با هیپرتانسیون شدید سرخرگ ششی درخواست کمک از متخصصین بیهوشی را باید در نظر داشت.

انتخاب پروپ، تکنیک های ورود پروپ و مراقبت انتخاب پروپ. تکنولوژی تنسدوسر برای تصویربرداری به صورت چشمگیری پیشرفته است و اکنون TEE

<sup>۶</sup> - Real-time

<sup>۷</sup> -Matrix array

<sup>۸</sup> -Surgeon's view

<sup>۹</sup> -Pediatric mini-multiplane

<sup>۱</sup> - Afterload

<sup>۲</sup> -Mode

<sup>۳</sup> -Monoplane

<sup>۴</sup>-Biplane

<sup>۵</sup> -Multiplane(omniplane)

کاتترهای اکوکاردیوگرافی داخل قلبی (۸ تا ۱۰ فرنچ) برای انجام TEE در نوزادان و شیرخواران کوچک استفاده شده است و ممکن است اطلاعات مفید بالینی در برخی از بیماران در اختیار قرار دهد.<sup>۱۰۴-۱۰۲</sup> تصویربرداری به یک سطح طولی (۹۰ درجه) محدود می‌شود و نداشتن موافقت قانونی رسمی برای این استفاده خاص، همراه با سفت بودن کاتتر استفاده گسترده از آن را محدود ساخته است.

اکوکاردیوگرافی اپیکاردیال حین عمل را می‌توان در بیمارانی که تصویربرداری TEE در آنها بدلیل محدودیت‌های وزن بیمار، کنترالندیکاسیون‌های ورود پرور به درون مری یا دردسترس نبودن TEE امکان‌پذیر نیست، انجام داد. همچنین هنگامی که بیمار قادر به تحمل تصویربرداری TEE نیست یا در مواردی که نگرانی از بروز مشکل همودینامیک یا تنفسی در بیمار است، تصویربرداری اپیکاردیال ممکن است اندیکاسیون داشته باشد. در برخی بیماران تصویربرداری اپیکاردیال، محدودیت‌های TEE مانند محدودیت بررسی شاخه‌های سرخرگ ششی (به ویژه شاخه ششی چپ) و محدودیت بررسی در بیمارانی که برای آنها مداخلاتی بروی نقش دیواره بین بطی در ناحیه عضلانی سپتوم به صورت بستن مستقیم جراحی یا مداخلات ازراه کاتتر از طریق بطن<sup>۱</sup> انجام می‌شود، را ندارد. در حالی که احتمال بروز تغییرات همودینامیک و اختلالات ریتم، خطر عفونت و نیاز به تجربه فرد انجام دهنده در هنگام تماس مستقیم قلب وجود دارد، در اکثر مراکز با تجربه از این رویکرد، بدون بروز عارضه، استفاده کرده‌اند.

نوزادان، شیرخواران و کودکان کوچک بود. پس از آن پرور چند سطحی میکرو<sup>۱</sup> کودکان که امروزه کوچک ترین پرور های چندسطحی موجود هستند، برای استفاده در شیرخواران بسیار کوچک ساخته شد.<sup>۶۴،۲۱،۱۸</sup> سازندگان پرور محدودیت وزنی برای استفاده از این پرور ها پیشنهاد کرده‌اند (برای پرور کوچک چند سطحی وزن بیش از ۳ تا ۳/۵ کیلوگرم و برای پرور چند سطحی میکرو وزن بالای ۲/۵ کیلوگرم)، گرچه در کاربالینی هردو پرور بدون ایجاد عارضه به صورت کاملاً گسترده در بیماران با وزن‌های کمتر از میزان توصیه شده بکاررفته‌اند.<sup>۱۰۱،۱۹</sup> هردو پرور چند سطحی کوچک و میکرو دارای توانایی دو بعدی و داپلر هستند. پرور TEE چندسطحی بالغین باید برای بیماران با وزن بیش از ۲۵ کیلوگرم در نظر گرفته شود، گرچه از این پرور در کودکان کوچک تر نیز استفاده شده است. مزیت استفاده از پرور اندازه بالغین در مواردی که امکان پذیر باشد، داشتن تصویر بهتر ناشی از دانسیته بیشتر کریستال‌های پیزوالکتریک و امکان تماس بهتر آن با مری به دلیل اندازه بزرگتر آن است. نسبت خطر / فایده بررسی نمود ولی ممکن است در صورتی که مقاومت اندکی در برابر ورود آن باشد بی خطر باشد. در حال حاضر پرور های TEE سه بعدی اندکی بزرگتر از پرور چند سطحی دو بعدی بالغین می‌باشند و برای بیماران با وزن بیش از ۳۰ کیلوگرم بکار روندو برای استفاده در اکثر کودکان جوان مناسب نیستند.

سریبیمار را تغییر داد تا از تداخل با محدوده جراحی در حین کاربا پرور اجتناب گردد. عواملی که می‌توانند موجب بروزدشواری در قرار دادن پرور در شیرخواران با وزن کمتر یا مساوی ۴ کیلوگرم شوند شامل وزن کم، غیرطبیعی بودن آناتومی جمجمه و صورت، نارس بودن و تشخیص حذف<sup>۲</sup> ۲۲q11<sup>۳</sup> می‌باشد.<sup>۱۰۶</sup> گاهی اوقات در مواردی که لوله نای کاف دار برای بیمار گذاشته شده است، فروکردن پروری با اندازه مناسب ممکن است دشوار باشد. در این موارد درخواست از متخصص بیهوشی برای خالی کردن کاف لوله نای برای گذاردن پرور و اطمینان حاصل نمودن از تهویه کافی بیمار را باید در نظر داشت. اگر تغییرات تنفسی یا همودینامیک منجر به بروز مشکل شود، می‌توان از پرور کوچک‌تر استفاده نمود یا انجام TEE را متوقف نمود.

اطلاعات بدست آمده درباره وجود سرخرگ زیر ترقوه ای نابجا یا غیرعادی بودن سمت کمان آثورت، توسط TTE<sup>۳</sup> یا سایر روش‌ها را باید به متخصص بیهوشی اطلاع داد تا قبل از گذاشتن پرور TEE برای پایش فشار سرخرگی در حین پرسیجراز اندام فوقانی سمت مخالف، اقدام نماید زیرا تراسه شریانی ممکن است در اثر فشار پرور از بین برود یا بسیار کاهش یابد.

مراقبت از پرور.

مراکز کنترل و پیشگیری از بیماری (CDC) تمام وسایل را براساس احتمال عفونت زایی آنها دسته بندی می‌کنند.

روش‌های گذاشتن پرور. پرور را باید پس از آرام سازی / بیهوشی کافی و پس از ناشتاپی به مدت کافی داخل نمود. روش داخل نمودن پرور در بین موسسات مختلف متفاوت است و لی می‌توان با نگه داشتن سریبیمار و پرور در فضای اوروفارنژیال در وضعیت خنثی در خط وسط آن را تسهیل نمود. در اکثر موارد تنسدوسری که از حالت قفل خارج شده و سطح آن با ژل خوب لیز شده است بدون دید ولی آرام به درون مری داخل می‌شود. خم کردن اندک نوک پرور به سوی قدام، در رفتگی خفیف فک تحتانی<sup>۱</sup>، مانور معکوس کریکوئید و/یا هدایت پرور با انگشت پوشیده شده با دستکش می‌توانند موجب سهولت گذاردن پرور شوند. در کودکان بزرگ‌تر بلند کردن سر می‌تواند کمک کننده باشد. در برخی موارد، لارنگوسکوپی مستقیم توسط متخصص بیهوشی می‌تواند در دیدن و لوله گذاری مری موثر باشد. گذاشتن تنسدوسر یک مهارت مهم در انجام TEE است. گرچه مقداری تلاش برای وارد نمودن پرور را می‌توان انتظار داشت اما تشخیص مقاومت طبیعی از مقاومت بیش از اندازه نیاز به تجربه و استمرار تجربه دارد. گزارش شده است که در کودکان، قرار دادن سر به سمت پهلو موجب تسهیل گذراندن پرور می‌شود زیرا این مانور براساس گزارش موجب بسته شدن سینوس پیریفرم همان سمت، محلی که ممکن است پرور با انسداد رو به رو شود، می‌گردد.<sup>۱۰۵</sup> در شرایط حین عمل، هنگامی که پرور TEE داخل شده است، می‌توان وضعیت

<sup>۳</sup>- Transthoracic echocardiography

<sup>۱</sup> -Subluxation of the mandible

<sup>2</sup> - 22q 11 deletion

## نکات کلیدی

۱. انتخاب پروب TEE در درجه اول براساس وزن بیمار و اندازه پروب است.
الف- پروب های دوبعدی کودکان به صورت پروب چند سطحی میکرو برای بیماران با وزن بیش از ۲/۵ کیلوگرم و پروب چند سطحی مینی برای بیماران با وزن بیش از ۳ تا ۳/۵ کیلوگرم موجود می باشند.
ب- پروب های دوبعدی و سه بعدی TEE بالغین به ترتیب برای استفاده در بالغین بیش از ۲۵ کیلوگرم و بیش از ۳۰ کیلوگرم موجود هستند.
ج- در عمل، هریک از این پروب ها در وزن های کمتر ازوزن های توصیه شده بدون ایجاد عارضه استفاده شده اند.
۲. قراردادن پروب TEE باید با آرام سازی کافی / بیهوشی و پس از مدت زمان کافی ناشتا بودن انجام شود. پایش دقیق از نظربروز عوارض ضروری است.
۳. باید پروب را پس از هریاراستفاده براساس دستورالعمل سازنده و سیاست آزمایشگاه اکوکاردیوگرافی موسسه شستشو دادو ضدغونی در سطح بالا نمود.

### به کاربری با مهارت پروب و کنترل های پروب

پروب TEE را می توان در جهات مختلف برای بدست آوردن تصویر از ساختمان های قلی عروقی حرکت داد([شکل ۱](#)). ترمینولوژی که برای شرح حرکات پروب TEE بکارمی رود بیماررا خوابیده به پشت و سطح تصویربرداری را رو به جلو به سوی قلب از سمت مری فرض می نماید. در اشاره به قلب، نامگذاری مقرر شده وضعیت هارا به صورت زیر درنظر می گیرد: فوقانی ( به سمت سر)، تحتانی ( به سمت پا)، خلفی ( به سمت ستون فقرات) و قدامی ( به سمت استخوان

### ۱۰.۷ از آنجاکه پروب های TEE با غشاهاي مخاطي تماس

پيدا می کنند، پس از هرباراستفاده نياز به ضدغونی سازی در سطح بالا<sup>۱</sup> دارند. توصیه های کنونی برای کارکردن با پروب، تمیز کردن ، ضدغونی نمودن و نگاهداری پروب های TEE بهبود یافته است. هر موسسه باید پروتکل استاندارد برای استفاده از پروب با بهره گيری از دستورالعمل های قانونی و توصیه های سازنده تهیه نماید(جدول ۴). باید دقیق نمود تا در هنگام کار با کریستال های پیزوالکترویک ناهنجار و خشن رفتار<sup>۲</sup> نشود یا آسیب فیزیکی به آن وارد نشود. به عنوان بخشی از مراقبت های روتین برای نگاهداری پروب، باید نوک و بدن پروب را قبل از فروبردن پروب و پس از خارج نمودن پروب از نظرآسیب یا وجود ترک بررسی نمود. تنها بدن و نوک پروب را می توان در مایع غوطه و نمود. دسته، رابط و کابل را باید با ماده ضدغونی کننده توصیه شده با مالش تمیز نمود. شستن کافی برای سلامت بیمار حیاتی است. پروب ها باید برچسب حاوی تاریخ ضدغونی شدن داشته باشند و بر حسب سیاست آزمایشگاه اکوکاردیوگرافی موسسه دوباره ضدغونی شوند. همگام با بهبود توصیه ها، فرآیند ضدغونی سازی و مراقبت سطح بالا نیز باید روزآمد شود.

<sup>2</sup>-Rough handling

<sup>1</sup> - High-level disinfection

انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا به ویژه استفاده از تجربه و مهارت سونوگرافی کننده ها را برای بهترنمودن تصاویر (یعنی تنظیم gain، کنتراست و سایر تنظیمات دستگاه) به علاوه بریدن<sup>۴</sup> تصاویر و نشان دادن مجموعه داده های سه بعدی<sup>۵</sup> در حین بررسی TEE تایید می کند. انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا موافق با گذاشتن پروب یا بکارگیری پروب توسط سونوگرافی کننده نیست.<sup>۱۰۸</sup>

### بررسی کامل تصویربرداری

دستورالعمل های جامع TEE انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا در سال ۲۰۱۳ مجموعه ای از نماهای توموگرافیک دو بعدی اصلی را ارائه نمود که برای بالغین با قلب طبیعی از نظر ساختاری نوشته شده بود. انجام درست بررسی TEE در کودکان یا بیماری های مادرزادی قلبی خارج از محدوده آن سند بود و نیاز به تغییراتی داشت تا چندین نکته مهم و منحصر به فردرا مورد توجه قرار دهد اما در هر زمان که امکان وجود داشته باشد، برای حفظ ثبات<sup>۶</sup>، این سند از همان نماها و از همان نامگذاری از جمله این فرض که بیماران لوبکاردی<sup>۷</sup> یا طرز قرار گیری طبیعی قلب<sup>۸</sup> دارند، استفاده می نماید.

تصویربرداری TEE از چهار موقعیت اصلی در دستگاه گوارش انجام می شود(شکل ۱): میانی مری (ME<sup>۹</sup>)، از طریق معده

جناغ). اصطلاح راست و چپ در اشاره به بیمار به ترتیب راست و چپ بیمار را مشخص می کند.

بدنه پروب را می توان جلوبرد (به داخل مری فروکرد) یا عقب کشید (به سمت خارج آورد) و آن را به راست (در جهت عقره های ساعت) یا چپ (در خلاف جهت عقره های ساعت) چرخاند. کنترل های روی دسته پروب نوک پروب را حرکت می دهند (فلکسیون). در پروب چند سطحی بالغین یکی از کنترل ها (چرخ بزرگتر) موجب فلکسیون نوک پروب به جلو<sup>۱</sup> یا فلکسیون به عقب<sup>۲</sup> و کنترل دیگر (چرخ کوچک) نوک پروب را به راست یا چپ خم می کند. پروب های کودکان را می توان به جلو و عقب خم نمود ولی معمولاً کنترل خم کردن به راست چپ ندارند، که این موجب محدود شدن سطوح تصویربرداری موجود در آنها می شود. در شیرخواران کوچک، تنظیم انداک وضعیت پروب اجازه دستیابی به سطح مقطع های متعدد را می دهد. نوک پروب چند سطحی اجازه چرخش پروب بین صفر درجه تا ۱۸۰ درجه (چرخش به سمت جلو) و از ۱۸۰ درجه تا صفر درجه (به سمت عقب) را می دهد.

### نقش سونوگرافی کننده

انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا فرد سونوگرافی کننده را از اجزای اصلی تیم تصویربرداری قلب می شناسد و از نقش فعل آنها در حین انجام TEE حمایت می کند. گرچه، نقش آنها باید محدود به محدوده عمل<sup>۳</sup> آنها باشد.

<sup>6</sup> -Consistency

<sup>7</sup> - Levocardia

<sup>8</sup> -Normal situs

<sup>9</sup> -Midesophageal

<sup>1</sup> - Anteflexion

<sup>2</sup> - Retroflexion

<sup>3</sup>- Scope of practice

<sup>4</sup> -Crop

<sup>5</sup> - 3D data sets

کلیپ های ویدئویی طولانی تر (با حرکت پروب از یک سو به سوی دیگر مانند حرکت جارو<sup>۷</sup>) مورد نیاز باشد. برای هر ناهنجاری درچه ای یا ساختاری باید از تصویربرداری دو بعدی، داپلرجریان خون رنگی<sup>۸</sup> و طیفی<sup>۹</sup> در نمای مقطع عرضی<sup>۱۰</sup> و نماهای متعدد طولی به علاوه تصویربرداری سه بعدی ساختاری و داپلرنگی در موارد مناسب استفاده نمود. باید وضوح تصویر را با کاهش زاویه قطاع<sup>۱۱</sup> و افزایش بزرگنمایی به منظور افزایش تعداد فریم بهینه کرد. به همین ترتیب مقیاس رنگی Nyquist، زاویه قطاع و عمق رنگ<sup>۱۲</sup> را باید تنظیم نمود تا میزان نقطه های رنگی<sup>۱۳</sup> در میدان دور محدود شود.

با استفاده از ۲۸ نما ذکر شده در این سند، عملاً می توان بررسی TEE کامل را در هر کودک بیمار با یا بدون بیماری مادرزادی قلبی و در اکثر بالغین با بیماری مادرزادی قلبی انجام داد. برای هر نما ویدئو همراه به صورت آنلاین در [www.onlinejase.com](http://www.onlinejase.com) است.

#### ۱. نمای چهار حفره ای از وسط مری: ME 4-Ch<sup>۱۴</sup> (ویدئو<sup>۱۵</sup>)

نمای چهار حفره ای از وسط مری پس از فروبردن پروب به مری هنگامی که تمام حفرات قلبی- دهلیز راست (RA)، دهلیز چپ (LA)، بطن راست (RV)، و بطن چپ (LV) – دیواره بین دهلیزی (IAS) و دیواره بین بطی (IVS) و

(TG<sup>۱</sup>) ، از طریق قسمت عمیق معده (DTG<sup>۲</sup>) و قسمت فوقانی مری (UE<sup>۳</sup>). تصاویر در وضعیت های ME و TG و UE مانند دستورالعمل های سال ۲۰۱۳ نشان داده می شود و میدان نزدیک<sup>۴</sup> و میدان دور<sup>۵</sup> به ترتیب به ساختمان های نزدیک و دور از پروب اشاره می کنند(شکل ۲). نماهای DTG را ما به صورت وارونه یعنی با آپکس قلب در قسمت پایین مانیتور، در وضعیت درست از نظر آنatomی، نشان می دهیم.

بررسی اکوکاردیوگرافیک کودکان و تمام بیماران با بیماری مادرزادی قلبی برمبنای ساختار است تا نماها با توجه به تنوع زیاد بیماری های مادرزادی قلبی با واریاسیون های بی شمار از نظر آنatomی، برای تشخیص آنatomی دقیق قلب در هر بیمار باید برخی از نماها را تغییر داد. لازم نیست که ۲۸ نمای ذکر شده در اینجا را به ترتیب انجام داد و باید این نماها به عنوان نقطه شروع در نظر گرفته شوند، با درک اینکه ممکن است برای دیدن بهینه ساختمان مورد پرسش، ابتکارو نماهای غیر استاندارد (بالاستفاده از مانورهای مختلف پروب مانند چرخش به چپ - راست ، جلوبردن / عقب کشیدن آهسته یا چرخش آهسته زاویه ترنسدوسر) لازم باشد (جدول ۵). به همین ترتیب ممکن است لوپ تک ضربانی<sup>۶</sup> یک نمای توموگرافیک برای تصویربرداری آنatomی کافی نباشد و ممکن است برای نشان دادن اطلاعات ضروری

<sup>8</sup>- Color flow

<sup>9</sup>-Spectral

<sup>10</sup> - Short-axis

<sup>11</sup> -Sector width

<sup>12</sup> - Color depth

<sup>13</sup> - Color speckles

<sup>14</sup> -Midesophageal four-chamber

<sup>1</sup> -Transgastric

<sup>2</sup> - Deep transgastric

<sup>3</sup> -Upper esophageal

<sup>4</sup> - Near field

<sup>5</sup>- Far field

<sup>6</sup> -Single-beat loop

<sup>7</sup> - Sweep

۷۰ درجه بdst می آید. همانطور که نام نما اشاره می کند، نمای ME میترال برای بررسی دریچه میترال است. سطح تصویربرداری از هردو کمیسورهای قدامی جانبی<sup>۲</sup> و خلفی داخلی<sup>۳</sup> می گذرد. بخش های دریچه میترال در صفحه نمایش (ازچپ به راست) عبارتنداز (راست: P3-A3A2A1-P1 : چپ). چرخش پروب به سمت چپ (خلاف عقربه های ساعت) امکان دیدن اسکالاپ های لت خلفی (P3P2P1) و چرخش آن به سمت راست (درجت عقربه های ساعت) تصویربرداری از سگمان های لت قدامی (A3A2A1) را میسر می سازد. این نما برای بررسی ماهیجه های پاپیلری قدامی جانبی و خلفی داخلی به علاوه فونکسیون موضعی بطن چپ و تنگی یا نارسایی دریچه میترال مفید است.

۴. نمای دوحفره ای از وسط مری: ME 2-Ch: (ویدئو ۴)  
نمای دوحفره ای از وسط مری (عمود برنمای ME 4-Ch) در وضعیت نوتزال و با چرخش زاویه ترنسدوسر به ۸۰ تا ۱۰۰ درجه بdst می آید تا LA ، گوشک دهليز چپ (LAA)، MV و LV دیده شوند. سطح مقطع سینوس کرونر (CS) درست در بالای آنولوس خلفی MV و سگمان بازال تحتانی<sup>۴</sup> دیده می شود. از این نما، چرخش پروب در جهت LV عقربه های ساعت نمای دوسیاهرگ اجوف از وسط مری<sup>۵</sup> را نشان می دهد(نمای شماره ۱۵)، با چرخش در جهت خلاف عقربه های ساعت LAA و نیز سرخرگ

دریچه میترال (MV) و دریچه تریکوسپید (TV) مشاهده می شوند، بdst می آید. تمام نماهای ME که درزیز بdst می آیند از این نمای پایه شروع می شوند. این نما شبیه نمای چهار حفره ای آپیکال ترنس توراسیک است و یکی از مفیدترین نماها برای بررسی آناتومی و فونکسیون داخل قلبی است. عموماً این نما با درجاتی از رتروفلکسیون پروب و چرخش زاویه ترنسدوسر بین ۰ تا ۱۰ درجه بdst می آید. با افزایش رتروفلکسیون ، سینوس کرونر (CS) و ورود سیاهرگ اجوف تحتانی (IVC) به RA را می توان مشاهده نمود. نمای ME 4-Ch اطلاعات درباره فونکسیون موضعی<sup>۱</sup> و گلوبال هردوبطن و تنگی و نارسایی دریچه های دهليزی بطنی (AV) را فراهم می کند.

۲. نمای پنج حفره ای از وسط مری: ME 5-Ch: (ویدئو

(۲)

از نمای ME 4-Ch با انداخت فلکسیون پروب به جلو به منظور بهتر دیدن دریچه آنورت (AOV) و مجرای خروجی بطن چپ (LVOT)، نمای پنج حفره ای از وسط مری بdst می آید. برای بررسی تنگی و نارسایی MV ، TV، و AOV می توان از داپلر جریان خون رنگی و طیفی استفاده نمود.

۳. نمای کمیسورهای میترال از وسط مری: ME Mitral

(ویدئو<sup>(۳)</sup>)

نمای کمیسورهای میترال از وسط مری با شروع از نمای ME 4-Ch و چرخش زاویه ترنسدوسر به ۵ تا

<sup>4</sup>- Basal inferior

<sup>5</sup> - ME Bicaval view

<sup>1</sup> -Regional

<sup>2</sup> - Anterolateral

<sup>3</sup> - Posteromedial

ویژه هنگامی که همراه با نمای مقطع عرضی دریچه آئورت که عمود برآن است (نمای ۱۲ را درزیر ببینید) بکار می رود، را انجام داد. داپلرنگی جریان خون می تواند اطلاعات قابل توجهی درباره پاتولوژی AoV و LVOT در اختیار قرار دهد. کاسپ قدامی دریچه آئورت (درمیدان دور) کاسپ کرونراست است و غالبا سوراخ کرونر راست از این سینوس را می توان مشاهده نمود. کاسپ خلفی (کاسپ در میدان نزدیک) کاسپ کرونر چپ یا غیرکرونر، بر حسب چرخش تنسدوسر می باشد. با چرخش پروب در جهت خلاف عقره های ساعت، غالبا می توان سرخرگ کرونر اصلی چپ را مشاهده نمود و با چرخش بیشتر به سمت چپ، گاهی دوشاخه شدن به سرخرگ نزولی قدامی چپ و سرخرگ کرونرسرکامفلکس را می توان دید.

۷. نمای طولی آئورت سعودی از وسط مری : ME AoV LAX (ویدئو ۷)

نمای طولی آئورت سعودی از وسط مری از نمای TEE (نمای ۶ در بالا) با عقب کشیدن پروب و چرخش زاویه تنسدوسر بین ۹۰ تا ۱۱۰ بدست می آید. سطح مقطع سرخرگ ششی راست در پشت آئورت سعودی (درمیدان نزدیک) دیده می شود. پاتولوژی در آئورت سعودی مانند تنگی فوق دریچه ای آئورت، هیپوپلازی یا گشادشدن آنوریسمال را می توان شناسایی نمود. جریان خون آئورت معمولاً عمودبر زاویه اولتراسوند است، از این رو محدودیت در بررسی داپلر طیفی آئورت وجوددارد ولی داپلرنگی می تواند مفید باشد. هنگامی که

کرونر سرکامفلکس چپ (CA) را می توان دید که مسیر آن در طول شیار دهلیزی بطئی است. داپلرجریان خون رنگی به علاوه داپلر طیفی دریچه میترال می تواند در تشخیص تنگی یا نارسایی دریچه ای کمک نماید.

۵. نمای طولی از وسط مری: ME LAX (ویدئو ۵)

نمای طولی از وسط مری<sup>۱</sup> را می توان از نمای ME 4-Ch یا نمای 2-Ch، با افزایش روبه جلو زاویه تنسدوسر تا حدود ۱۴۰ تا ۱۲۰ درجه بدست آورد و LV، (P2-A2) MV، LA پروکسیمال آئورت سعودی را مشاهده نمود. بخشی از مجرای خروجی بطن راست (RVOT) را نیز می توان در قدام LVOT دید. این نما امکان ارزیابی دریچه میترال و دریچه آئورت را، بعلاوه آناتومی پایین و بالای دریچه آئورت می دهد.

۶. نمای طولی دریچه آئورت از وسط مری: ME AoV LAX (ویدئو ۶)

نمای طولی دریچه آئورت از وسط مری از نمای LAX با اندازه عقب کشیدن پروب، در حالی که زاویه تنسدوسر روی ۱۲۰ تا ۱۴۰ درجه است، بدست می آید. عمق تصویر تنسدوسر نیز کاهش داده می شود تا تمرکز اساساً بر روی AoV، LVOT و قسمت پروکسیمال آئورت سعودی شامل سینوس والسالوا باشد تا بتوان اندازه گیری های دقیق با تصویربرداری دو بعدی، داپلر رنگی و طیفی به

<sup>2</sup> - AoV SAX view

<sup>۱</sup> - Midesophageal long-axis view

تحتانی (RLPV) را مشاهده نمود که جهت آن عمودی تراست. علاوه براین، زاویه ترنسدوسر بین  $۳۰$  تا  $۵۰$  درجه ممکن است مشاهده سیاهرگها را به صورت همزمان امکانپذیر سازد. داپلرنگی جریان خون (گاهی اوقات با کاهش محدوده Nyquist ) می تواند جریان خون را درهodo سیاهرگ ششی به نمایش بگذارد ، اما چون در این نما زاویه اولتراسوند با سیاهرگ ششی مطلوب تر است ، این نما برای بررسی داپلر طیفی این سیاهرگ ششی ترجیح دارد. سطح مقطع سیاهرگ اجوف فوقانی (SVC) و آئورت صعودی نیز علاوه برسیاهرگ ششی راست در این نما دیده می شوند.

۱۰. نمای سیاهرگ های ششی چپ از وسط مری : ME

#### (ویدئو ۱۰) Lt Pulm Veins

نمای سیاهرگ های ششی چپ از وسط مری ، سیاهرگ های ششی چپ را در سطح سازیتال عمودبر آنچه برای نمای سیاهرگ های ششی راست از وسط مری شرح داده شد (نمای ۹ در بالا)، نشان می دهد. از وضعیت نوترال در وسط مری پشت دهلیز چپ ، با چرخش زاویه ترنسدوسر به سمت جلو تا  $۹۰$  تا  $۱۱۰$  درجه و چرخش آن در خلاف جهت عقربه های ساعت ، می توان سیاهرگ فوقانی چپ (LUPV) و سیاهرگ تحتانی چپ (LLPV) را بطوط جداگانه دید که به هم متصل شده ووارد دهلیز چپ می شوند. سرخرگ ششی چپ را نیز درست در بالای سیاهرگ ششی فوقانی چپ می توان مشاهده نمود. اگر پروب در جهت عقربه های ساعت چرخانده شود ، دیواره بین دهلیزی (IAS) ، سیاهرگ اجوف فوقانی (SVC) ، سیاهرگ اجوف تحتانی (IVC) (نمای ۱۵)

سطح تصویر برروی سرخرگ ششی راست متتمرکز می شود ، چرخاندن پروب در خلاف جهت عقربه های ساعت می تواند تصویر طولی دریچه ششی (PV) و سرخرگ ششی (PA) اصلی را در اختیار قرار دهد. فلکسیون پروب به سمت جلو بررسی بهینه داپلرنگی و طیفی PV، RVOT و سرخرگ ششی اصلی را میسر می نماید.

۸. نمای عرضی آئورت صعودی از وسط مری : ME AO

#### (ویدئو ۸) SAX

از نمای طولی آئورت صعودی از وسط مری (نمای ۷ در بالا) چرخش زاویه ترنسدوسر در جهت عقب تا زاویه صفر تا  $۳۰$  درجه ، نمای عرضی آئورت صعودی از وسط مری را می آورد. ساختمان هایی که در این نمادیده می شوند شامل سطح مقطع آئورت صعودی وسیاهرگ اجوف فوقانی (SVC)، سرخرگ ششی اصلی و قسمت پروکسیمال شاخه های سرخرگ ششی هستند. بررسی داپلر رنگی جریان خون و طیفی سرخرگ ششی می تواند کمک کننده باشد.

۹. نمای سیاهرگ های ششی راست از وسط مری : ME

#### (ویدئو ۹) Rt Pulm Veins

نمای سیاهرگ های ششی راست از وسط مری را می توان از نمای ME 4-Ch با زاویه ترنسدوسر صفر درجه و چرخش در جهت عقربه های ساعت بدست آورد. سیاهرگ ششی راست فوقانی (بالایی) و تحتانی (پایینی) زاویه های اندک متفاوتی دارند: سیاهرگ ششی فوقانی راست (RUPV) با زاویه اولتراسوند موازی تر است و با اندک جلوبردن پروب ، می توان سیاهرگ ششی راست

و به سمت جلو خم می کنیم تا نمای عرضی دریچه آئورت از وسط مری بدست آید. در یک دریچه سه لته، کاسپ کرونر چپ در خلف و درسمت چپ بیمار (میدان نزدیک)، کاسپ کرونر راست در جلو (میدان دور) و مجاور RVOT و کاسپ غیر کرونر در سمت راست و مجاور دیواره بین دهلیزی قرار می گیرد.

مرفولوژی و فونکسیون دریچه آئورت را می توان با تصویربرداری دوبعدی و داپلرنگی جریان خون که امکان لوکالیزه کردن دقیق جت های تنگی و/یا نارسایی را می دهد، نشان داد. اندک عقب کشیدن پروب منشأ قدامی سرخرگ کرونر راست و منشأ خلفی کرونر چپ را از سینوس های مربوطه آنها آشکار می سازد. غالباً با تغییر زاویه ترانسدوسر به صفر تا ۴۰ درجه می توان منشأ سرخرگ کرونر راست (صفرتا ۲۰ درجه برای راست) و چپ (۳۰ تا ۴۰ درجه برای چپ) را مشاهده نمود. در میدان دور می توان قسمت فوکانی دهلیزهای چپ و راست و بخش قدامی دیواره بین دهلیزی (حاشیه آئورتی<sup>۱</sup>)، را علاوه بر RVOT و دریچه ششی مشاهده کرد. داپلرنگی جریان خون و طیفی می تواند در بررسی این نواحی کمک کننده باشد. شایان ذکر است که نمای عمودی که در هنگام تصویربرداری دو سطحی همزمان گرفته می شود، نمای طولی دریچه آئورت از وسط مری (نمای شماره ۶ در بالا) است.

۱۳. نمای ورودی و خروجی بطん راست از وسط مری :

#### (ویدئو ۱۳) ME RV In-Out

و بالاخره سیاهرگ های ششی راست آشکار می شوند. شایان توجه است که با استفاده از زاویه صفر ترانسدوسر با چرخش پروب در خلاف جهت عقربه های ساعت و با جلوبردن و عقب کشیدن پروب، می توان گوشک دهلیز چپ و سیاهرگ های ششی چپ را مجاور و لترال به آن نشان داد.

۱۱. نمای گوشک دهلیز چپ از وسط مری : ME LAA

#### (ویدئو ۱۱)

نمای گوشک دهلیز چپ از وسط مری را می توان از نمای سیاهرگ های ششی چپ از وسط مری (نمای ۱۰) با استفاده از زاویه ترانسدوسر ۹۰ تا ۱۱۰ درجه و چرخش اندک پروب در جهت عقربه های ساعت با قدری جلوبردن پروب و/یا فلکسیون به سمت جلو در حد لزوم بدست آورد. با توجه به آنatomی بسیار متغیر گوشک دهلیز چپ، بررسی کامل این ساختمان معمولاً نیاز به استفاده از نماهای متعدد شامل چرخش زاویه ترانسدوسر به سمت عقب از ۹۰ به صفر درجه (در حالی که تصویر گوشک دیده می شود) و/یا تصویربرداری همزمان چند سطحی دارد. می توان از داپلرنگی جریان خون و طیفی برای ارزیابی جریان خون در LUPV و همچنین ورود و خروج جریان خون به درون گوشک دهلیز چپ استفاده نمود.

۱۲. نمای عرضی دریچه آئورت از وسط مری : ME AoV

#### (ویدئو ۱۲) SAX

از نمای پنج حفره ای از وسط مری دریچه آئورت را در مرکز صفحه نمایش می آوریم و پروب را در حالی که زاویه آن بین ۲۵ تا ۴۵ درجه است، اندکی عقب کشیده

<sup>۱</sup> -Aortic rim

عقربه های ساعت تاهنگامی که در یچه سه لته در مرکز صفحه نمایش دیده شود، بدست آورد. دهليز چپ، دهليز راست، دیواره بین دهليزی، سياهرگ اجوف تحتاني، سياهرگ اجوف فوقانی و گاهی اوقات گوشک دهليز راست (RAA) را می توان دید. باید با تصویربرداری دوبعدی و داپلر دریچه تریکوسپید را بررسی دقیق نمود.

#### ۱۵. نمای دو سياهرگ اجوف از وسط مری : ME Bicaval

(ویدئو ۱۵)

نمای دو سياهرگ اجوف از وسط مری از وضعیت نوتراال پروب در وسط مری با چرخش زاویه ترنسدوسررویه جلو تا ۹۰ تا ۱۱۰ درجه و چرخش پروب درجه عقربه های ساعت تا دیده شدن SVC و IVC اهمراه با LA، RA، گوشک دهليز راست (در میدان دور) و دیوار بین دهليزی (که عمود بر جهت اولتراسوند قرار دارد)، بدست می آید. نقص ها در دیواره بین دهليزی (ASD) و آنوریسم ها را می توان با تصویربرداری دوبعدی، رنگی و داپلرطیفی مشاهده نمود. داپلرنگی جریان خون برای دیدن ورودی IVC و SVC نیز مفید است. نمای عمود بر این نما (که با تصویربرداری دوستحی همزمان دیده می شود) نمای چهار حفره ای از وسط مری است و با چرخش بیشتر پروب در جهت عقربه های ساعت می توان سياهرگ های ششی راست را مشاهده نمود (عمودبر نمای ۹، نمای سياهرگ های ششی راست از وسط مری).

<sup>2</sup>-VSDs

نمای ورودی - خروجی بطن راست از وسط مری را می توان از نمای عرضی دریچه آنورت ازو سط مری یا نمای پنج حفره ای از وسط مری با چرخاندن زاویه به ۵۰ تا ۷۰ درجه و قدری خم کردن پروب به جلوتا جایی که TV، RV، PV، RVOT و قسمت پروکسیمال سرخرگ ششی همزمان دیده شوند، بدست آورد. این نما معادل معکوس نمای عرضی پارا استرنال در اکوکاردیوگرافی ترنس توراسیک است، بنابراین LA، RA، و دیواره بین دهليزی را نیز می توان دید. اندازه و فونکسیون بطن راست، مرفولوژی و فونکسیون دریچه تریکوسپید و دریچه ششی، تمایز دیواره بین بطنه ممبرانواز خروجی<sup>۱</sup> (و مشاهده سوراخ های بین بطنه<sup>۲</sup> در این نواحی) و تنگی مجرای خروجی بطن راست، به ویژه در ناهنجاری های کونو ترانکال رامی توان بررسی نمود (پایین را بخوانید). باید با استفاده از داپلرنگی جریان خون و داپلرطیفی، جریان خونی را که از دریچه تریکوسپید و دریچه ششی می گذرد بررسی نمود و هرگونه VSD احتمالی را تشخیص داد.

۱۴. نمای تغییریافته دو سياهرگ اجوف - دریچه سه لته از وسط مری : ME Mod Bicaval TV (ویدئو ۱۶)

نمای تغییریافته دو سياهرگ اجوف - دریچه سه لته از وسط مری را می توان از نمای ورودی - خروجی بطن راست از وسط مری، با حفظ زاویه ترنسدوسردر ۵۰ تا ۷۰ درجه و چرخش پروب در جهت

<sup>1</sup>-Outlet

۱۷. مقطع عرضی قاعده قلب از طریق معده: TG Basal

(ویدئو ۱۷) SAX

با تنظیم زاویه تنسدوسر بین صفرتا ۲۰ درجه از نمای IVC / سیاهرگ های کبدی از طریق معده، نمای عرضی قاعده قلب از طریق معده برای دیدن مقطع عرضی بطن های چپ و راست با نمای مشخصه دهان ماهی دریچه میترال، بدست می آید. لت قدامی در سمت چپ صفحه نمایش و لت خلفی در سمت راست است. می توان با تصویربرداری دوبعدی و داپلرنگی جریان خون، مرفلوژی و فونکسیون دریچه میترال را علاوه بر ارزیابی گلوبال فونکسیون بطن راست و چپ ، حرکت دیواره <sup>۱</sup> و وجود VSD ها در وسط قسمت عضلانی دیواره بین بطنه بررسی نمود. با جلوبردن و چرخش پروب در جهت عقربه های ساعت ، در حالی که اندکی به جلو خم شده است، می توان مقطع عرضی دریچه تریکوسپید را مانند دریچه میترال نشان داد.

۱۸. نمای مقطع عرضی وسط پاپیلری از طریق معده: TG

(ویدئو ۱۸) Mid Pap SAX

از موقعیت مقطع عرضی قاعده قلب از طریق معده ، پروب اندک به جلو خم شده را با همان زاویه تنسدوسر ( صفر تا ۲ درجه) می توان درون معده جلوتر برداتا نمای مقطع عرضی وسط پاپیلری از طریق معده را بدست آورد. ماهیچه های پاپیلری بطن چپ ، بخش عضلانی دیواره بین بطنه و ماهیچه های پاپیلری بطن

۱۶. نمای سیاهرگ های کبدی / سیاهرگ اجوف تحتانی از طریق معده :

(ویدئو ۱۶) TG IVC/hepatic veins

نمای سیاهرگ اجوف تحتانی / سیاهرگ های کبدی با صاف کردن و جلوبردن پروب از نماهای وسط مری به درون معده و تنظیم زاویه تنسدوسر به ۸۰ تا ۱۱۰ درجه بدست می آید. سپس پروب را درجهت عقربه های ساعت چرخانده و آن را اندکی به جلو خم نموده تا با دیواره معده تماس پیدا کند. نمای طولی IVC دیده می شودو با اندک عقب کشیده پروب و چرخش آن به چپ/ راست ، سیاهرگ های کبدی که به سیاهرگ اجوف تحتانی وارد می شوند مشاهده می گردند. با عقب کشیدن آهسته پروب به سطح وسط مری اتصال IVC به RA دیده می شود. از داپلرنگی جریان خون می توان برای بررسی سیاهرگ ها و از داپلر طیفی برای ارزیابی جریان خون سیاهرگ کبدی به منظور بررسی عملکرد دیاستولی بطن راست ، علاوه بر هر جریان خون با سرعت بالاتر مانند درناژ غیر طبیعی سیاهرگ های ششی استفاده نمود. با تغییرزاویه تنسدوسر به صفر تا ۲۰ درجه و اندک چرخش پروب به راست / چپ ، نمای عمود براین نما بدست می آید که در آن مقطع عرضی IVC را در قسمتی از مسیرش که از کبدی گذرد، سیاهرگ های کبدی را دریافت می کند و به دهلیز راست می ریزد، نشان می دهد.

<sup>۱</sup> - Wall motion

خون از دریچه میترال و مجرای خروجی بطن چپ /  
دریچه آئورت استفاده نمود.

۲۱. نمای پنج حفره ای از طریق قسمت عمیق معده DTG

#### ۵-Ch (ویدئو ۲۱) :

برای نماهای DTG نیاز به جلوبردن پروب TEE به درون معده ، غالبا همراه با خم کردن قابل توجه پروب به جلو ، است تا سطح اولتراسوند به سمت پشت (خلف) هدایت شود. نمای پنج حفره ای از طریق قسمت عمیق معده با استفاده از زاویه صفرتا ۲۰ درجه ترنسدوسر برای دیدن دریچه میترال، بطن راست ، بطن چپ، دیواره بین بطنی ، مجرای خروجی بطن چپ، دریچه آئورت و ریشه آئورت بدست می آید. می توان با داپلرنگی جریان خون بخش ورودی <sup>۳</sup> ، ممبرانو و تراپکولر دیواره بین بطنی را درستجو برای VSDها بررسی نمود. باید داپلرنگی و طیفی دریچه میترال و مجرای خروجی بطن چپ را ارزیابی نمود. هنگامی که نماهای از طریق قسمت عمیق معده قابل دسترسی نیستند، نمای طولی از طریق معده (نمای ۲۰) جایگزین مناسبی برای بررسی داپلرطیفی مجرای خروجی بطن چپ و دریچه آئورت است.

۲۲. مجرای خروجی بطن راست از طریق قسمت عمیق

#### DTG RVOT (ویدئو ۲۲) :

از نمای پنج حفره ای از طریق قسمت عمیق معده، پروب را اندکی عقب کشیده و زاویه ترنسدوسر را به

راست (با چرخش پروب به سمت راست) را می توان بررسی نمود. از این نما اساسا برای ارزیابی اندازه و فونکسیون بطن چپ (گلوبال و سگمنتال) استفاده می شود.

۱۹. نمای مقطع عرضی آپیکال از طریق معده: TG

#### (ویدئو ۱۹) Apical SAX

از نمای مقطع عرضی وسط پایپلری از طریق معده (نمای ۱۸)، پروب TEE را در حالی که با دیواره معده تماس دارد به جلو برده تا نمای مقطع عرضی آپیکال از طریق معده بدست آید. با چرخاندن پروب در جهت عقربه های ساعت بررسی سگمان های آپیکال هردوبطن و نیز دیدن VSDهای آپیکال عضلانی امکان پذیر است.

۲۰. نمای مقطع طولی از طریق معده: TG LAX (ویدئو ۲۰)

نمای مقطع طولی از طریق معده با چرخاندن زاویه ترنسدوسر به ۱۲۰ تا ۱۴۰ درجه از وضعیت نوترال بدست می آید. این نما امکان بررسی دستگاه زیر دریچه ای میترال <sup>۱</sup> ( شامل رشته های تاندونی <sup>۲</sup> )، دریچه میترال ، مجرای خروجی بطن چپ ، دریچه آئورت ، دیواره های تحتانی جانبی و قدامی سپتال بطن چپ و قسمت پروکسیمال ریشه آئورت را می دهد. باید از داپلرنگی جریان خون برای بررسی جریان

<sup>۳</sup>- Inlet

<sup>۱</sup> - Subvalvar mitral apparatus

<sup>۲</sup> - Chordae tendineae

طول دیواره بین دهلیزی را عالی نشان می دهد. داپلرنگی برای ارزیابی شانت بین دهلیزی مفید است و می توان جریان خون SVC را با داپلرنگی و طیفی مشاهده و بررسی نمود. برای مشاهده ورود IVC به RA<sub>4</sub>، پروب را اندکی جلوبرده و زاویه ترنسدوسر را تا ۱۰۰-۱۲۰ درجه چرخانده می شود. اگر به جای این کار، زاویه ترنسدوسر به سمت عقب به صفر تا ۱۰ درجه چرخانده شود، می توان دیواره بین دهلیزی را درنمای عمود براین نما ، بعلاوه دهلیز راست، ورود سیاهرگ های ششی راست و چپ به درون دهلیز چپ، هردوبطن و دریچه های دهلیزی بطنی مشاهده نمود.

۲۴. نمای مقطع طولی کمان آئورت از قسمت فوقانی مری:

#### (ویدئو ۲۴) UE Ao Arch LAX

نمای مقطع طولی کمان آئورت از قسمت فوقانی مری را می توان با عقب کشیدن پروب تا قسمت فوقانی (زاویه ترنسدوسر صفر تا ۱۰ درجه) بدست آورد. داپلرنگی و طیفی، جریان خون نبض دار روبه جلو را در آئورت نشان می دهد و با اندک عقب کشیدن بیشتر پروب سیاهرگ بی نام را می توان دید که از جلوی کمان آئورت عبور می کند. از آنجا که برونش اصلی چپ معمولاً از بین مری و آئورت عبور می کند، بخشی از کمان آئورت پروکسیمال و دیستال آئورت صعودی ممکن است دیده نشود. اگر سیاهرگ بی نام اصلاً دیده نشود، پروب را باید در خلاف جهت عقربه

سمت جلو تا ۵۰ تا ۹۰ درجه برده تا نمای مجرای خروجی بطن راست از طریق قسمت عمیق معده را بدست آید. ممکن است نیاز باشد قدری پروب را درجهت عقربه های ساعت چرخاند تا مجرای خروجی بطن راست و دریچه ششی مشاهده گردد. می توان ورودی دریچه میترال و خروجی دریچه آئورت را علاوه بر بخش های ترابکولو خروجی <sup>۱</sup> دیواره بین بطنی را از نظر وجود شانت که نشانه VSD باشد، دید. با چرخش زاویه به سمت جلو به ۸۰ تا ۹۰ درجه و اندک چرخش پروب TEE در جهت خلاف عقربه های ساعت، می توان از داپلرنگی و طیفی برای بررسی مجرای خروجی بطن راست، دریچه میترال و مجرای خروجی بطن چپ استفاده نمود. این نما برای بررسی ناهنجاریهای کونو ترانکال <sup>۲</sup> بسیار مفید است (پایین را ببینید).

۲۳. نمای سپتوم دهلیزی از قسمت عمیق معده : DTG :

#### (ویدئو ۲۳) Atr Sept

از نمای مجرای خروجی بطن راست از طریق قسمت عمیق معده، زاویه ترنسدوسر را به سمت جلو تا ۸۰ تا ۹۰ درجه و پروب را در جهت عقربه های ساعت چرخانده تا SVC، RAA، LA، RAA و IAS دیده شوندو نمای سپتوم دهلیزی از طریق قسمت عمیق معده حاصل شود. این نما مشابه تصویر دو سیاهرگ اجوف ساب کوستال <sup>۳</sup> ترنس توراسیک است و مرغولژی و

<sup>3</sup> - Subcostal bicaval image

<sup>1</sup> -Outflow

<sup>2</sup> - Conotruncal

از نمای مقطع طولی کمان آئورت از قسمت فوقانی مری (نمای ۲۴) پروب را آهسته به جلو برد (زاویه ترنسدوسر صفرتا ۱۰ درجه) و اندک چرخش در جهت عقربه های ساعت به آن داده می شود تا نمای سرخرگ ششی از قسمت فوقانی مری بدست آید که اتصال بین سرخرگ ششی اصلی و سرخرگ های ششی راست و چپ را نشان می دهد. با چرخش پروب در جهت عقربه های ساعت از این وضعیت، سرخرگ ششی راست در پشت آئورت صعودی و SVC راست (مقاطع عرضی هردو) نشان داده می شود. با چرخش پروب در خلاف جهت عقربه های ساعت همراه با اندک جلوبردن پروب می توان قسمت پروکسیمال تاوسط سرخرگ ششی چپ را نمایان نمود. باید برای تعیین وجود تنگی در شاخه های سرخرگ ششی از داپلرنگی و طیفی استفاده شود. با داپلرنگی جریان خون و چرخش پروب در خلاف جهت عقربه های ساعت و جلوبردن / عقب کشیدن پروب مجرای شریانی باز را می توان مشاهده نمود. برای ارزیابی گرادیان بین آئورت و سرخرگ ششی اصلی از طریق مجرای شریانی باز از داپلر طیفی میتوان استفاده کرد.

۲۷ و ۲۸. مقطع عرضی آئورت نزولی<sup>۱</sup> (ویدئو ۲۷) و

مقاطع طولی آئورت نزولی<sup>۲</sup> (ویدئو ۲۸)

از نمای طولی کمان آئورت از قسمت فوقانی (زاویه ترنسدوسر صفرتا ۱۰ درجه) پروب را در خلاف جهت عقربه های ساعت چرخانده و آن را آهسته در

های ساعت چرخاند تامشخص نمود آیا در مقطع عرضی سیاهرگ اجوف فوقانی چپ وجود دارد.

۲۵. مقطع عرضی کمان آئورت از قسمت فوقانی مری: UE

(ویدئو ۲۵) Ao Arch SAX

از نمای مقطع طولی کمان آئورت از قسمت فوقانی مری، ترنسدوسر را به جلو تا ۹۰-۷۰ درجه چرخانده تا نمای مقطع عرضی کمان آئورت از قسمت فوقانی مری بدست آید. مقطع عرضی کمان آئورت مشاهده می شودو غالبا نمای طولی سرخرگ ششی اصلی و دریچه ششی را می توان در میدان دور دید. مقطع عرضی سیاهرگ بی نام نیز درست در بالا و جلوی کمان آئورت مشاهده می شود. بررسی داپلرنگی و طیفی دریچه ششی و سرخرگ ششی اصلی در اینجا بسیار مناسب است و مجرای شریانی باز را نیز می توان در این نما مشاهده نمود که وارد سرخرگ ششی می شود. با قراردادن سرخرگ ششی اصلی در وسط تصویر، چرخش پروب در خلاف جهت و در جهت عقربه های ساعت به ترتیب دیدن سرخرگ ششی چپ و راست را میسر می نماید. گاهی اوقات سرخرگ های سروگردان (براکیوسفالیک راست، کاروتید مشترک چپ، زیرترقوه ای چپ) را که از کمان آئورت منشأ می گیرند می توان دید.

۲۶. سرخرگ ششی از قسمت فوقانی: UE PA (ویدئو

(۲۶)

## مسیرکمان آئورت جلوبرده تا نمای مقطع عرضی

آئورت نزولی ظاهر شود. با چرخش زاویه ترنسدوسر

به ۹۰-۱۰۰ درجه نمای مقطع طولی آئورت نزولی

بدست می آید. در حالی که آئورت در مرکز تصویر نگاه داشته می شود، در هر یک از این نماها می توان پروب را آهسته جلوبرد تا تمام آئورت نزولی توراسیک را بررسی نمود. نبودن شاخص های آناتومیک داخلی مشخص نمودن محل دقیق پروب و هرپاتولوژی شناسایی شده را دشوار می نماید، بنابراین یک راه حل این است که پروب را در جهت عقربه های ساعت بچرخانیم تا آناتومی قلب را در همان سطح شناسایی نماییم، درنتیجه نقطه ای برای ارجاع<sup>۱</sup> فراهم می شود. برای بررسی ضربان نبض جریان خون آئورت می توان از داپلرنگی و طیفی استفاده نمود. گاهی اوقات می توان سرخرگ های بین دنده ای را که از پشت آئورت نزولی منشأ می گیرند، با جریان خون نبض دار دورشونده آنها، مشاهده نمود.

## پروتکل بررسی سه بعدی از طریق مری

از زمان انتشار آخرین سند دستورالعمل های TEE در این مجله،<sup>۳۱</sup> پیشرفت های عمدی ای در اکوکاردیوگرافی سه بعدی انجام شده که شامل (الف) تصویربرداری همزمان<sup>۲</sup> با کیفیت بالا (ب) ترنسدوسرهای TEE سه بعدی در اندازه

بالغین (ج) ابزار موثر برای بریدن<sup>۳</sup> (د) برنامه های نرم افزاری

سه بعدی کمی<sup>۴</sup> می باشند.<sup>۱۵-۱۰۹، ۱۶</sup>

در کاردیولوژی کودکان و مادرزادی، مفیدترین کاربرد اکوکاردیوگرافی سه بعدی از راه مری در هنگام درمان های از طریق کاتتر و جراحی های بیماری های مادرزادی قلبی است. در سنند اخیر دستورالعمل های اکوکاردیوگرافی سه بعدی در بیماری های مادرزادی قلبی،<sup>۱۶</sup> پیشنهادات اختصاصی برای آنومالی ها و پروسیجرهای ویژه که در آنها TEE سه بعدی (ونیز برخی که در آنها TEE سه بعدی به صورت موثر بکاررفته است)، توصیه شده است که در جدول ۶ ذکر شده است.

در قیاس با تصویربرداری دو بعدی مرسوم، اکوکاردیوگرافی سه بعدی معمولاً به آموزش اضافه تکنیک و تجربه در باره پروتکل های بهینه سازی و بدست آوردن تصاویر<sup>۵</sup> برای نما های مختلف که به بهترین نحوه بیماری مادرزادی قلبی را نشان دهد، دارد. شایعترین گزینه های مورد استفاده عبارتند از زاویه باریک زنده<sup>۶</sup>، زاویه پهن<sup>۷</sup> یا تصویربرداری بزرگنمایی شده<sup>۸</sup>، تمام حجم<sup>۹</sup> و چند سطحی همزمان.<sup>۱۰</sup> <sup>۱۶-۱۱۳، ۱۱۰</sup> باید تسلط کامل به این روش ها داشت تا بتوان به صورت موثر TEE سه بعدی را در شرایط با محدودیت زمانی در آزمایشگاه کاتتریسم و اتاق عمل انجام داد. پروتکل های TEE سه بعدی را باید به صورت

<sup>6</sup> - Live narrow angle

<sup>7</sup> - Wide angle

<sup>8</sup> - Zoom imaging

<sup>9</sup> - Full volume

<sup>10</sup> - Live multiplane

<sup>1</sup> - Point of reference

<sup>2</sup> - Real-time

<sup>3</sup> - Cropping

<sup>4</sup> - Quantitative

<sup>5</sup> - Optimization and acquisition protocols

## تصویربرداری ساختارهای خاص<sup>۳</sup>

این بخش آناتومی و تصویربرداری ساختارهای خاص و آنومالی های مادرزادی را شرح می دهد. دیدن واضح و دقیق برای شناسایی و ارزیابی ناهنجاری های ساختاری و عملکردی پیش از انجام و در حین انجام مداخلات ضروری است و به تفصیل ذکر می شود. تمرکز برروی ویژگی های افتراق دهنده آناتومی طبیعی دریچه و پاتولوژی اکتسابی که بطور مفصل در دستورالعمل های جامع در سال ۲۰۱۳ ذکر شده بود، و تعدادی از ناهنجاری های قلبی مادرزادی خواهد بود.

<sup>۳۰</sup>

### دریچه میترال

آناتومی. اجزای اصلی دستگاه دریچه میترال شامل لتهای قدامی و خلفی دریچه، آنولوس، رشته های تاندونی<sup>۴</sup> و ماهیچه های پاپیلری می باشد. نماهای متعددی برای بررسی دریچه میترال است و نشان داده شده که با بررسی هنگام جراحی مطابقت خوبی دارند.<sup>۱۷</sup> نماهای ME (۴ حفره ای ، ۵ حفره ای، میترال، دوحفره ای ، نمای مقطع طولی و نمای مقطع طولی دریچه آئورت) لتهای دریچه میترال را در راستای محوری از صفر تا ۱۴۰ درجه قطع می کنند و برای نشان دادن اسکالولوپ های هردو لت کمک کننده هستند(شکل<sup>۳</sup>).<sup>۱۶</sup> نماهای DTG و TG اطلاعات بیشتری از آناتومی دریچه و

روتین همراه با سایر روش های اکوکاردیوگرافی به عنوان بخشی از جریان معمول کار دریک بررسی سگمنتال کامل<sup>۱</sup> یا بررسی متمرکز تر TEE انجام داد. این که جهت تصاویر<sup>۲</sup> کاربردی باشد و ارتباط کلامی واضحی را بین ارائه دهنده کان مراقبت های قلبی عروقی امکان پذیر سازد ، برای دیدن مجموعه داده های تصویری سه بعدی<sup>۳</sup>، اهمیت دارد.<sup>۲۹</sup> در موارد مناسب توصیه هایی در باره استفاده از TEE<sup>۱۱۳</sup> سه بعدی برای بررسی آنومالی های خاص ، پروسیجرها و پارامترهای کمی به بخش های مربوطه این سند اضافه شده است.

### نکات کلیدی

۱. ما مجموعه ای از ۲۸ نمای توموگرافیک را برای انجام بررسی کامل TEE در کودکان و بیماران با بیماری مادرزادی قلبی توصیه می کنیم.
۲. این نماها از چهار محل اصلی در مری / معده بدست می آیند: وسط مری (ME)، از طریق معده (TG)، از طریق عمق معده (DTG) و از قسمت فوقانی مری (UE). تمام نماها با استاندارد "آپکس بالا" ارائه شده است، بجز نمای DTG که برای نشان دادن نمای درست از نظر آناتومیک ، وارونه به صورت "آپکس پایین" است.
۳. این نماها به عنوان نقطه شروع برای بررسی بیماری های مادرزادی قلبی هستند و می توان آنها را بر حسب نیاز تغییر داد. بررسی باید بر مبنای ساختار و نه بر مبنای نما باشد و حداقل شامل تصویربرداری دو بعدی ، داپلرنگی جریان خون و طیفی که از نماهای متعدد بدست آمده است، گردد.
۴. تصویربرداری TEE سه بعدی را می توان همراه با دو بعدی در بیماران با وزن بیش از ۳۰ کیلوگرم انجام داد و لازمه آن استفاده از تکنیک های خاص سه بعدی شامل قطاع قابل تنظیم(adjustable sector)، تمام حجم و چند سطحی زنده است. جدول ۶ تعدادی از موارد استفاده بالینی TEE سه بعدی در بیماری های مادرزادی قلبی را ذکر می

<sup>۳</sup>- Specific structural imaging

<sup>4</sup> - Chordae tendineae

<sup>۱</sup> -Image orientation

<sup>2</sup> - 3D datasets

وضعیت همودینامیک ، به علاوه شدت ضایعات باقیمانده<sup>۶</sup>

را در این تصمیم باید در نظر داشت.

گرچه هیچ معیار ثابت شده ای برای اندازه گیری شدت اختلال عملکرد باقیمانده در کودکان وجود ندارد، شاخص هایی برای درجه بندی تنگی و نارسایی باقیمانده با داپلر موجود است.<sup>۱۲۱</sup> در ابسطه با تنگی میترال ، از معیارهای زیر استفاده شده است: میانگین گرادیان کمتر یا مساوی ۵ میلی متراجیوه با داپلر CW = غیرقابل توجه، میانگین گرادیان ۵ تا ۸ میلی متراجیوه با داپلر CW = بالقوه قابل توجه و میانگین گرادیان بیش از ۸ میلی متراجیوه با داپلر CW = قابل توجه. میانگین گرادیان بیش از ۵ میلی متراجیوه جریان خون ورودی دریچه میترال به عنوان عدد معیار<sup>۷</sup> برای در نظر گرفتن ترمیم بیشتر یا تعویض دریچه پیشنهاد شده است. در صورت وجود نارسایی میترال، باید دریچه میترال را به دقت از نظر پرولاپس لت، حرکت غیر طبیعی لت یا دیلاتاسیون ماندگار آنولوس بررسی نمود. حرکت دینامیک لت قدامی در هنگام سیستول موجب جایگاشدن نقطه به هم رسیدن لتها<sup>۸</sup> به سوی مجرای خروجی بطن چپ و درنتیجه ایجاد نارسایی میترال با جت در جهت خلف می گردد که ممکن است به دلیل بطن چپ هیپوولمیک و با قدرت انقباضی بیشتر از معمول بدنیال جدادشدن از bypass قلب و ریه تشديد یابد.<sup>۱۲۳</sup> پارامترهای عینی مانند عرض vena

کمیسورها در اختیار قرار می دهند و به ویژه برای نشان

دادن ناهنجاری های مادرزادی ارزشمند می باشند.

تصویربرداری TEE برای افتراق اتیولوزی های اولیه اختلال عملکرد دریچه میترال از علل ثانویه مانند نارسایی میترال بدیل گشادشدن آنولوس مفید است. علل اولیه اختلال عملکرد دریچه میترال همراه با پاتولوزی در ساختمان دریچه هستند و ممکن است شامل ۱) ناهنجاری های مادرزادی مانند شکاف (شکاف<sup>۴</sup>) ، دریچه میترال با دو روزنه<sup>۲</sup> ، میترال به شکل طاق قوس دار<sup>۳</sup> یا ماهیچه های پاپیلری غیر طبیعی (دریچه میترال چترنجاتی<sup>۴</sup>، ۲) تغییرات میکزووماتوز که منجر به پرولاپس ، دراز شدن کوردا یا flail می شود،<sup>۳</sup> آسیب عفونی ناشی از آندوکاردیت یا<sup>۴</sup> اثرات التهابی مربوط به بیماری های روماتولوژیک یا بیماری های عروقی کلازن باشد.<sup>۵</sup> <sup>۱۱۸-۱۱۹</sup>

نقش TEE در ترمیم دریچه میترال. تصویربرداری TEE برای بررسی کافی بودن ترمیم دریچه میترال و برای تعیین نیاز به بازگشت به bypass قابل اطمینان است.<sup>۱۲۰-۱۱</sup> شناسایی زودرس یافته های حاکی از نیاز به اصلاح ترمیم می تواند موجب پیشگیری از نیاز به عمل جراحی مجدد در آینده و کاهش ناخوشی، مرگ و میر و بطور کلی هزینه های بیمارستانی در درازمدت گردد.<sup>۱۵</sup> چندین عامل شامل

<sup>5</sup> - Collagen vascular

<sup>6</sup> - Residual lesions

<sup>7</sup> - Cut-off point

<sup>8</sup> - Coaptation point

<sup>۱</sup> - Cleft

<sup>۲</sup> - Double-orifice mitral valve

<sup>۳</sup> - Mitral arcade

<sup>۴</sup> - Parachute mitral valve

ارائه شده است. در صورتی که وضوح زمانی<sup>۳</sup> (تعداد حجم ها<sup>۴</sup>) کافی باشد ، تصویربرداری سه بعدی به صورت زنده<sup>۵</sup> با داپلر رنگی جریان خون ممکن است مفید باشد. تصویربرداری دوبعدی در دو سطح و روش های نقشه برداری داپلرنگی جریان خون مفید هستند و می توانند موجب صرفه جویی در زمان شوند زیرا دونما به صورت هم زمان گرفته می شود.

### دریچه آئورت و آئورت

آناتومی دریچه آئورت. کمپلکس دریچه آئورت شامل مجرای خروجی بطن چپ، دریچه آئورت و ریشه آئورت است. کمپلکس دریچه آئورت را باید به دقت از نظر احتمال انسداد زیردریچه، سطح دریچه و بالای دریچه در نمایانه این شکل<sup>۵</sup> ، نمای مقطع طولی دریچه آئورت ME LAX در ME (ویدئو<sup>۳۱</sup>) و نمای پنج حفره ای از قسمت عمیق معده<sup>۶</sup> بررسی نمود. آشنایی با تمام این ساختمان ها اهمیت دارد، زیرا انسداد یا نارسایی در هر سطح می تواند درنهایت بروی عملکرد دریچه آئورت اثر بگذارد. اندازه گیری قطر آنولوس دریچه آئورت در محل اتصال<sup>۷</sup> لث های دریچه انجام می شود، در حالی که سینوس های والسالوا و اتصال سینوتوبولر از لبه داخلی به لبه داخلی در انتهای سیستول یا در حداکثر قطر در کودکان اندازه گیری می گردد.<sup>۱۱۶</sup>

contracta نارسایی میترال به شرح زیر استفاده نمود: فقدان جت نارسایی یا جت نارسایی اندک با عرض جت کمتر از ۲ میلی متر با رنگ<sup>۱</sup> در سطح لث های دریچه = غیرقابل توجه ، عرض جت ۴-۲ میلی متر با داپلرنگی در سطح لث های دریچه = بالقوه قابل توجه، عرض جت نارسایی بیش از ۴ میلی متر با داپلرنگی در سطح لث های دریچه = قابل توجه.<sup>۱۲۱</sup> علاوه بر این، می توان در تصویربرداری دوبعدی از نسبت حداکثر مساحت جت نارسایی به مساحت دهلیز چپ برای تعیین میزان نارسایی میترال استفاده نمود که نسبت  $\leq 30\%$  به عنوان نارسایی خفیف تعریف می شود. برای نارسایی میترال بیشتر از خفیف، بازگشت به bypass را برای انجام اصلاحات بیشتر یا تعویض دریچه باید در نظر داشت زیرا خطر جراحی دوباره افزایش می یابد. معمولاً این یک تصمیم مشترک بین جراح و فرد اکوکاردیوگرافی کننده است و ممکن است نیاز به بررسی کامل تر دریچه برای اتخاذ تصمیم درست باشد.<sup>۱۲۴</sup>

استفاده از TEE سه بعدی در ارزیابی دریچه میترال. بهترین نمای TEE سه بعدی برای دریچه میترال دیدن دریچه از وضعیت ME از زاویه دهلیز چپ با استفاده از روش زاویه پهن زنده<sup>۳</sup> می باشد.

مثال هایی از این رویکرد در شکل<sup>۴</sup> ، ویدئوهای<sup>۲۹</sup> و<sup>۳۰</sup>

<sup>5</sup> - Live 3D

<sup>6</sup> - DTG 5-Ch

<sup>7</sup>- Hinge point

1- Color

2- Wide-angle live

3 - Temporal resolution

4 - Volume rate

از عمل و پس از عمل با PW و CW فراهم می کنند. حداکثر گرادیان بیش از ۴۰ میلی متر جیوه در مجرای خروجی بطن چپ ممکن است از نظر همودینامیک قابل توجه باشد و نیاز به مداخله مجدد داشته باشد. گرچه در صورت کاهش عملکرد بطن و برون ده قلبی پایین بلا فاصله پس از bypass، ممکن است TEE به دقت میزان تنگی باقیمانده در تمام موارد را نشان ندهد.<sup>۱۲۱</sup>

در مورد نارسایی آئورت، پنهانی جت بیش از ۴ میلی متر با داپلرنگی در سطح لتها دریچه، ممکن است نشانگر خطر نارسایی قابل توجه آئورت پس از عمل جراحی باشد. <sup>۱۲۲</sup> سایر عوامل خطر گزارش شده برای عمل جراحی مجدد زود هنگام شامل تعویض همزمان ریشه آئورت و یا تعویض آئورت صعودی با حفظ دریچه و پرولاپس لت است.<sup>۱۲۹، ۱۲۸</sup>

استفاده از TEE<sup>۳</sup> بعدی در ارزیابی دریچه آئورت. TEE<sup>۴</sup> بعدی زنده با زاویه باریک در نمای مقطع عرضی دریچه آئورت از وسط مری<sup>۴</sup> نماهای عالی از دریچه آئورت را فراهم می کند. مثال هایی از دریچه آئورت طبیعی و غیرطبیعی در <sup>۳۲</sup> ویدئو نشان داده شده است. در صورت کافی بودن تعداد فریم ها، تصویربرداری دو بعدی دوسطحی و روش های نقشه برداری داپلرنگی جریان خون مفید هستند و می توانند موجب صرفه جویی وقت شوند زیرا دو نما به صورت همزمان بدست می آیند. تصویربرداری به

گرچه دستورالعمل های انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا در بالغین اندازه گیری از لبه leading تا لبه trailing<sup>۱۲۵</sup> انتهای دیاستول یا در حداکثر قطر را توصیه می کند.

نقش TEE در ترمیم دریچه آئورت و جراحی مجرای خروجی بطن چپ. پیش از هرگونه مداخله از طریق کاتتر یا مداخله جراحی بروی دریچه، در کامل مکانیسم اختلال عملکرد دریچه آئورت، شامل مرفلوژی لتها و ریشه آئورت ضروری است. در کودکان بیمار که تحت عمل جراحی ترمیم دریچه آئورت قرار می گیرند، تصویربرداری TEE برای شناسایی نشانه های عود نارسایی که نیاز به جراحی مجدد زدن هنگام دارد، بکار می رود.<sup>۱۲۶</sup> گرچه در بالغین کوتاه تر بودن طول coaptation<sup>۱</sup> و کم بودن ارتفاع<sup>۲</sup> coaptation به عنوان نشانه های نیاز به جراحی مجدد زدن هنگام تعیین شده اند، در کودکان بیمار بدنیال ترمیم جراحی دریچه نشان داده شده است که ناقرینگی coaptation که به صورت افزایش درصد اختلاف در طول coaptation در مقطع عرضی اندازه گیری می شود، پیش گویی کننده قوی برای جراحی مجدد زدن هنگام برای نارسایی آئورت باقیمانده است.<sup>۱۲۷</sup>

سنجرش میزان تنگی و نارسایی دریچه آئورت را باید براساس دستورالعمل های اکوکاردیوگرافیک که قبل از منتشر شده انجام داد.<sup>۱۱۸</sup> برای تنگی دریچه آئورت / مجرای خروجی بطن چپ، نماهای DIG 5-Ch و TG LAX را واید عالی برای اولتراسوند برای ارزیابی داپلر گرادیان های پیش

<sup>3</sup> - Live narrow-angle

<sup>4</sup> - ME AoV SAX

<sup>1</sup> - Length

<sup>2</sup> - Height

نارسایی که بطور مشخص فیزیولوژیک است، دارد. با چرخش پروب در جهت عقریه های ساعت و در صورت امکان خم کردن آن به سمت راست از نمای تریکوسپید تغییر یافته دو سیاهه را اجوف <sup>۳</sup>، ممکن است بهترین ارزیابی را از لت خلفی و coaptation آن با لت های مجاور بتوان انجام داد.

ناهنجاری های دریچه تریکوسپید ممکن است آناتومیکال مانند آنومالی ابشتین، دیسپلازی دریچه تریکوسپید، تنگی ، عدم coaptation لت ها ناشی از لید ضربان ساز، لت overriding یا straddling . flail های مادرزادی قلبی پیچیده، یا فونکسیونل، ثانویه به اختلال عملکرد سمت راست ( هیپرتانسیون پولمونر، اختلال عملکرد و دیلاتاسیون بطن راست) یا سمت چپ ( افزایش فشارهای پرشدن دهلیز چپ به دلایل مختلف و شکل غیر طبیعی سپتوم) باشد.

نقش **TEE** در ترمیم / تعویض دریچه تریکوسپید. غیر عادی نیست که ارزیابی حین عمل یک کودک لوله گذاری نای شده و بیهوش با پیش بار<sup>۴</sup> پایین ناشی از محدودیت خوردن در طول شب، میزان نارسایی دریچه تریکوسپید را کمتر از میزان واقعی نشان دهد. نماهای ME ، ME 4-Ch و ME Mod Bicaval TV و RV In-Out تریکوسپید را بزرگتر از سایر نماها نشان می دهند.<sup>۱۳۴</sup> در زمان پس از bypass استفاده از نماهای متعدد در زمان های مختلف ( همراه با فشارهای سرخ رگی سیستمیک و

منظور هدایت بستن سینوس والسالوای پاره شده با وسیله

نیز می تواند کمک کننده باشد(ویدئو سه بعدی <sup>۱۳۳</sup>).

**آناتومی آئورت توراسیک**. بهترین نماها برای مشاهده وسط آئورت سعودی و آئورت نزولی از ME ، UE و نماهای آئورت هستند. بررسی جریان خون در آئورت نزولی با داپلر ممکن است نارسایی شدید آئورت را تایید نماید.<sup>۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۲</sup>

در بیمارانی که تحت عمل جراحی ترمیم کمان آئورت قرار می گیرند(مانند کوارکتاسیون یا قطع کمان آئورت) بررسی جریان خون آئورت نزولی با داپلر رنگی و طیفی می تواند در شناسایی انسداد باقیمانده در کمان آئورت کمک کننده باشد. تصویربرداری در dissection آئورت در دستور العمل دیگری ذکر شده است.<sup>۱۳۳، ۱۳۲</sup>

#### دریچه تریکوسپید

**آناتومی**. دریچه تریکوسپید از نظر آناتومی و عملکرد پیچیده است، از سه لت متصل به آنولوس فیبروز، دستگاه کوردال <sup>۲</sup> و ماهیچه های پاپیلری تشکیل شده است. نمای ME 4-Ch لت های قدامی و سپتال دریچه را علاوه بر ناهنجاری هایی مانند tethering ، سگمان های flail ، در گیری لت سپتال در بافت آنوریسمال سپتال تریکوسپید در VSD ممبرانو ، جابجایی لت سپتال به سمت آپکس و tethering آن را در آنومالی ابشتین و آندوکاردیت مربوط به این لت هارا نشان می دهد(شکل <sup>۶</sup> ویدئو <sup>۱۳۴</sup>). داپلر رنگی در این نما پtern جریان خون عبوری از دریچه تریکوسپید را نشان می دهد و غالبا هم راستایی خوب با جت مرکزی

<sup>۳</sup> - Modified Bicaval TV view

<sup>۴</sup> - Preload

<sup>۱</sup> - 3D

<sup>۲</sup> - Chordal apparatus

از ترمیم RVOT یا نیاز به شروع اکسید نیتریک استنشاقی در بیماری با شنت چپ به راست محدود نشده که دیر مراجعه کرده است، باشد. سرعت TR که با فشارهای سرخرگ سیستمیک اختلاف داشته باشد ممکن است هشداری درمورد انسداد باقیمانده در کمان آنورت هنگامی RV بطن سیستمیک است باشد و سرعت پایین TR می تواند نشانه فشارهای پرشدگی بالا همراه با کاهش عملکرد قلب باشد.

می توان لیدهای ضربان سازهای داخل وریدی را درهنگام عبور آنها از دریچه تریکوسپید که گاهی اوقات موجب نارسایی بدلیل کشیدگی لت، فیروز لبه های لت، tethering لت ها یا پروفوراسیون می شوند، مشاهده نمود. در این موارد بررسی آناتومی دریچه تریکوسپید به علاوه موقعیت لید در برنامه ریزی برای ترمیم دریچه کمک خواهد نمود. آندوکاردیت ناشی از لید یا کاتتر ورید مرکزی نیاز به بررسی کامل ساختمان های سمت راست دارد.

استفاده از TEE سه بعدی برای ارزیابی دریچه تریکوسپید. بهترین نمای TEE سه بعدی برای دریچه تریکوسپید معمولاً با استفاده از روش زاویه پهن سه بعدی زنده<sup>۳</sup> از نمای ME 4-Ch با نگاه از زاویه دهلیز راست بدست می آید، و ممکن است اختلال عملکرد برخی لتها را خاص را بهتر مشخص نماید. اگر تعداد حجم ها<sup>۴</sup> کافی باشد، اکوکاردیوگرافی سه بعدی زنده با نقشه برداری داپلرنگی جریان خون ممکن است مفید باشد. روش های

ششی متغیر، انقباض در حال بهبودبطن پس از کاردیوپلزی و بازگشت هماهنگی زمانی دهلیزی بطنی<sup>۱</sup>) می تواند در bypass اتخاذ تصمیم جراحی مانند نیاز به بازگشت به برای اصلاح ضایعات باقیمانده در صورت قابل توجه بودن نارسایی دریچه تریکوسپید یا افزایش فشار سیستولی بطن راست، کمک نماید.<sup>۱۲۰</sup>

نارسایی فیزیولوژیک دریچه تریکوسپید شایع است، همیشه کمتر از خفیف است و می تواند در پیش بینی فشار سیستولی بطن راست مفید باشد. ممکن است در زمان پس از bypass که تغییرات سریع است، شناسایی این جت ها که معمولاً کوچک یا متناوب هستند، هنگامی که با حرکت قابل توجه through-plane ترکیب می شوند، دشوار باشد. ممکن است ذکر فشارهم زمان سیاهرگ مرکزی و فشار سرخرگ سیستمیک همراه با اندازه گیری های حداقل گرادیان فشار در لحظه<sup>۲</sup> با داپلر کمک کننده باشد. Nyquist limit را می توان روی ۵۰ تا ۶۰ سانتی متر/ثانیه تنظیم نمود تا تصاویر پیش و پس از عمل را با تنظیمات تکنیکی یکسان مقایسه نمود زیرا اگر تنظیمات بالاتر از این باشد، نارسایی دریچه تریکوسپید ممکن است کمتر از میزان واقعی تخمین زده شود.<sup>۱۳۵</sup> ارزیابی دقیق نارسایی تریکوسپید با داپلر به دلایل متعددی اهمیت دارد: سرعت بالای TR پس از ترمیم VSD شک را درباره وجود یک سوراخ بازمانده قابل توجه برمی انگیزد، ممکن است نشانه انسداد باقیمانده در مجرای خروجی بطن راست پس

<sup>3</sup>- Wide-angle live 3D

<sup>4</sup> - Volume rate

<sup>1</sup> -AV synchrony

<sup>2</sup> - Instantaneous pressure gradient

موارد معمولاً کمتر از ۲ متر در ثانیه است. حداکثر سرعت جریان خون از دریچه پولمونر ممکن است در شنت های چپ به راست افزایش باید و تصویربرداری متمرکز برروی دریچه پولمونر برای ردکردن دیسپلازی، مانع از مداخله جراحی می شود. نارسایی فونکسیونل دریچه پولمونر شایع است و به صورت یک جت کوچک مرکزی از دریچه پولمونردیده می شود. جت های قابل توجه تر پهنه تر هستند، عرض جت بیشتر از ۵۰٪ مجرای خروجی بطن راست ،<sup>۱۳۶</sup> همچنین هرچه نارسایی بیشتر تمام دیاستولی باشد،<sup>۱۳۷</sup> نشانه نارسایی شدید است. Deceleration سریع جریان خون، زود تمام شدن جریان دیاستولی و جریان خون بازگشتی در هنگام دیاستول در شاخه های سرخرگ ششی تقریباً همیشه نشانه نارسایی پولمونر قابل توجه است.

نقش TEE در ترمیم / تعویض دریچه پولمونر. تعیین وجود و شدت تنگی باقیمانده در ناحیه زیر دریچه، دریچه یابالای دریچه ممکن است راهنمایی کننده برای اتخاذ تصمیم در باره روش درمان باشد(به عنوان مثال رویکرد از دریچه تریکوسپید یا ونتریکولوتومی راست/در موارد نادر انفاندیبیولوتومی). تنگی پولمونر دینامیک یا ثابت در سطوح مختلف دلیل مهمی برای افزایش فشار سیستولی بطن راست است و باید بررسی گردد. ارزیابی سریع و دقیق انسداد باقیمانده در مجرای خروجی بطن راست را می توان از نمای DTG RVOT که می توان تمام مجرای خروجی بطن راست، دریچه پولمونر و نواحی فوق دریچه ای را دریک راستا قرار داد و محل دقیق و شدت انسداد را مشخص نمود،

تصویربرداری دوبعدی در دو سطح و نقشه برداری داپلرنگی جریان خون، مفید و ازنظرزمان موردنیاز برای انجام آنها کارآمد هستند. دریچه تریکوسپید طبیعی، آنومالی ابستین، و تعویض دریچه Sapien در آزمایشگاه کاتتریسم در ویدئو های [۳۵ تا ۳۷](#) نشان داده شده است.

### دریچه ششی

آناتومی. در قلب با ساختار طبیعی، از دودریچه نیمه هلالی، دریچه پولمونر جلو، چپ و بالاتر قرار دارد. موقعیت جلوی آن در قفسه سینه می تواند ارزیابی آن را با اکوکاردیوگرافی ترنس توراسیک دشوار نمایدو و در عین حال، فاصله آن از پروب TEE و نزدیکی آن به ریه چپ فوقانی می تواند مشاهده کامل آن را دشوار سازد. نماهای DTG RVOT و ME RV In-Out می دهند. تنگی پولمونر ممکن است در ناحیه زیر دریچه، دریچه یا بالای دریچه باشد. در بیماران با تنگی فوق دریچه ای پولمونر(مانند سندرم ویلیامز)، باریک شدن فوق دریچه ای می تواند در سرخرگ ششی اصلی در سطح بازشنده ای دیسپلستیک در هنگام سیستول یا به صورت حلقه ای فیبروتیک دور تدور باشد. به طور مشابه می توان تنگی کاندوزی های دریچه دار یا بدون دریچه را ارزیابی نمود، گرچه فیبروز و کلسیفیکاسیون دریچه های طبیعی یا کاندوزی ها می تواند موجب اختلال در وضوح تصویرگرگدد. در این موارد، با استفاده از داپلرنگی و طیفی می توان مکان و شدت انسداد را تخمین زد. افزایش سرعت جریان خون سیستولی از دریچه پولمونر ممکن است ثانویه به افزایش جریان خون از دریچه پولمونر باشد، ولی در این

## نکات کلیدی

۱. علل اولیه اختلال عملکردد دریچه میترال شامل ناهنجاری های مادرزادی، تغییرات میکروماتوز ، آسیب عفونی ناشی از آندوکاردیت یا اختلالات التهابی می باشند. نماهای ME (چهارحفره ای، پنج حفره ای، میترال، دوحفره ای ، نمای مقطع طولی و نمای مقطع طولی دریچه آئورت) از صفر تا ۱۴۰ درجه بیشترین کمک را برای مشخص کردن فیزیولوژی و آناتومی دریچه میترال می نمایند ولی TG و DTG ارزش ویژه ای برای بررسی ناهنجاری های مادرزادی دارند. داپلرنگی جریان خون و طیفی در اتخاذ تصمیم برای بازگشت به bypass به دنبال ترمیم دریچه میترال کمک می کنند.
۲. بررسی تمام کمپلکس دریچه آئورت شامل مجرای خروجی بطن چپ، دریچه آئورت، ریشه آئورت و ناحیه بالای دریچه است. بطن چپ، دریچه آئورت، ریشه آئورت و مجرای خروجی بطن چپ هردو نامای مقطع عرضی و نمای طولی ME بررسی کامل مرفوولوژی و عملکرد دریچه آئورت و مجرای خروجی بطن چپ را امکان پذیر می نمایند. نمای طولی TG و نمای پنج حفره ای TG برای ارزیابی گرادیان داپلر PW/CW بسیار مفید هستند.
۳. مشاهده سیستماتیک آئورت توراسیک صعودی و نزولی به بهترین وجه با ترکیبی از نماهای ME و UE، درسطوح مختلف مری، با چرخش مناسب ترنسدوسور برای دیدن قسمت های مختلف آئورت توراسیک انجام می شود.
۴. ناهنجاری های دریچه تریکوسپید ممکن است آناتومیکال مانند آنومالی ابشتین، دیسپلازی دریچه تریکوسپید، تنگی، عدم coaptation لت ها ناشی از لید ضربان ساز ، لت flail، overriding یا straddling قلبی پیچیده یا فونکسیونل ثانویه به اختلال عملکرد بطن راست یا چپ باشد. نماهای ME ارزیابی مرفوولوژی و عملکرد دریچه تریکوسپید را امکان پذیر می نمایند.
۵. کمپلکس دریچه پولمونر شامل نواحی زیر دریچه ، دریچه و بالای دریچه است. نماهای ME، DTG و مقطع عرضی کمان آئورت / سرخرگ ششی از UE مشاهده کمپلکس دریچه پولمونر را میسر می سازند. از داپلر رنگی جریان خون و طیفی می توان برای ارزیابی میزان تنگی یا نارسایی در این ناحیه استفاده نمود. با توجه به فاصله دریچه پولمونر از مری، TEE سه بعدی غالباً محدودیت دارد.
۶. TEE سه بعدی بررسی اندازه دریچه، پاتولوژی، مکانیسم و شدت اختلال عملکرد دریچه را نیز فراهم می نماید.

انجام داد. همچنین بیمارانی که با داشتن مجرای خروجی

بطن راست گشاد تعویض دریچه می شوند(چه جراحی یا از طریق کاتتر) ممکن است نشت از کنارد دریچه داشته باشند، که باید به دقت دنبال آن گشت زیرا در اکثر موارد می توان آن را به آسانی درمان نمود.

**استفاده از TEE سه بعدی در ارزیابی دریچه پولمونر.**  
بدلیل فاصله دریچه پولمونر از مری ، غالباً محدودیت در تصویربرداری TEE سه بعدی از دریچه پولمونر وجود دارد. در برخی موارد ممکن است اکوکاردیوگرافی سه بعدی زنده با قطاع باریک یا بدست آوردن سه بعدی تمام حجم با برش، نماهای کافی را فراهم نماید.

## ارزیابی اندازه و عملکرد بطن

طريق معده (TG LAX) را برای اندازه گیری بطن پیشنهاد می کنند، زیرا وضوح جانبی<sup>۴</sup> در اندازه گیری ها در نماهای وسط مری (ME) کمتر است.<sup>۱۴۱-۱۴۳</sup> در کودکان رویکرد توصیه شده نمای مقطع عرضی وسط ماهیچه های پاپیلری (Mid Pap SAX) است، زیرا نمای مقطع طولی حرکت بطن چپ به سمت لترال را که در بسیاری از کودکان مشاهده می شود، نشان نمی دهد و اطمینان در باره دایره ای بودن ژئومتری بطن چپ در مقطع عرضی در طول سیکل قلبی ایجاد نمی کند. برای اطمینان از انجام اندازه گیری ها در نمای عمود برحفره، باید تصویربرداری همزمان در چند سطح<sup>۵</sup> استفاده نمود. در کودکان روش تغییریافته دو سطحی<sup>۶</sup> یا روش مساحت- طول برای محاسبه حجم<sup>۷</sup> بطن چپ توصیه شده است.<sup>۱۱۶</sup> نما های ME-4Ch و 2-Ch امکان علامت گذاری کردن حاشیه آندوکارد بطن چپ و استفاده از فرمول برای محاسبه حجم را می دهند. اندازه M-mode گیری های خطی را میتوان از روی تراشه های<sup>۸</sup> یا تصاویر دو بعدی از نماهای ترنس گاستریک انجام دادزیرا اعداد طبیعی در کودکان از تصویربرداری TTE وجود دارد.<sup>۱۴۰-۱۴۴</sup>

**فونکسیون سیستولی بطن چپ.** ارزیابی فونکسیون بطن نیاز به مرور چندین سطح تصویردر TEE دارد. معمولاً ارزیابی کیفی به صورت طبیعی یا درجات متفاوت اختلال عملکرد مانند خفیف، متوسط یا شدید گزارش می شود. پارامترهای کمی برای فونکسیون سیستولی بطن چپ

ارزیابی عملکرد و اندازه بطن بخش مهمی از TEE در کودکان و بالغین با بیماری های مادرزادی قلبی در موارد زیر است: پیش و پس از جراحی برای بیماری مادرزادی قلبی، در حین مداخله برای بیماری مادرزادی قلبی از طریق پوست<sup>۱</sup> یا مطالعات الکتروفیزیولوژی، در هنگام برخی جراحی های پیچیده غیر قلبی و در موارد اکوکاردیوگرافی ترنس توراسیک غیر تشخیصی.<sup>۱۳۸-۱۳۹</sup> به علاوه، شرایط بلا فاصله پس از عمل دربخش مراقبت های ویژه با استرنوتومی های باز و پنجره های آکوستیک نامناسب<sup>۲</sup> زمان چالش زایی برای اکوکاردیوگرافی ترنس توراسیک بوده و شرایط دیگری است که TEE می تواند در کودکان به ویژه در بیماران با جابجایی سرخرگ ها بزرگ پس از عمل جابجایی سرخرگ ها، بلا فاصله پس از پیوند قلب یا بدنبال قراردادن وسیله کمکی برای بطن<sup>۳</sup> سودمند باشد.<sup>۱۴۰</sup>

**بطن چپ.** بررسی بطن چپ طبیعی در دستورالعمل های کامل TEE انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا / انجمن متخصصین بیهوشی قلب و عروق در سال ۲۰۱۳ مرور شده است.<sup>۱۶</sup> سطوح استاندارد برای اندازه گیری اندازه بطن در TEE مشخص نشده است ولی بطورکلی مطابقت بین اندازه گیری های TTE و TEE در بالغین وجود دارد. دستورالعمل ها استفاده از نمای مقطع عرضی در وسط ماهیچه های پاپیلری از طریق معده (TG Mid Pap SAX) یا نمای عمود برآن نمای مقطع طولی بطن چپ از

<sup>4</sup> - Lateral resolution

<sup>5</sup> - Simultaneous multiplane imaging

<sup>6</sup> - Modified biplane Simpson's method

<sup>1</sup> - Percutaneous

<sup>2</sup> - Poor acoustic window

<sup>3</sup> - Ventricular assist device

داد ولی باید به تفاوت های پارامتر های ورودی میترال و سرعت داپلربافتی PW براساس گروه های سنی دقت نمود.<sup>۱۴۷، ۱۴۶</sup> علاوه براین ، شرایط حجمی<sup>۴</sup> و تعداد ضربان قلب برروی این پارامترهای داپلرتاثیر می گذارند که می تواند ارزیابی فونکسیون دیاستولی در اتاق عمل با TEE را درآورد با بیماری مادرزادی قلبی دچار چالش نماید. نشان داده شده که می توان پیش آگهی بد در بالغین پس از عمل جراحی پیوند bypass سرخرگ کرونر<sup>۵</sup> را با آلگوریتمی ساده برای درجه بندی اختلال عملکرد دیاستولی تنها با استفاده از سرعت موج E و سرعت داپلربافتی آغاز دیاستولی آنولوس میترال(<sup>e</sup>) پیش بینی نمود ولی هیچ اطلاعاتی بلافاصله پس از جراحی بیماری مادرزادی وجود ندارد.<sup>۱۴۸</sup>

بطن راست. بطن راست طبیعی هلالی شکل است و از سه بخش تشکیل شده است: ورودی، عضلانی و خروجی. بخش ورودی شامل دریچه سه لته می باشد که لته سپتال آن نسبت به محل اتصال دریچه میترال به آپکس نزدیک تر است. ترابکولاسیون های خشن عضلانی و باند moderator نشانگر بدن<sup>۶</sup> بطن راست است در حالی که خروجی آن از انفاندیبولوم تشکیل شده است. همچنین، در مقایسه با ماهیچه های پاپیلری مجزا در بطن چپ طبیعی، بطن راست طبیعی به صورت بی همتا اتصالات کوردا از دریچه تریکوسپید به سپتوم دارد.

ارزیابی اندازه و فونکسیون بطن راست بخش ضروری از بررسی TEE در بیماران با بیماری مادرزادی قلبی است.

شامل کسر کوتاه شدگی خطی(SF)<sup>۱</sup>، کسر تغییر مساحت<sup>۲</sup> و کسر خروجی (EF) براساس حجم<sup>۳</sup> با تصویربرداری دوبعدی است. SF<sup>۱۱۶</sup> را می توان در نماهای TG SAX در سطح لبه لتهای دریچه میترال در بیماران جوان یا در سطح ماهیچه های پاپیلری در بیماران مسن تر و بالغین ارزیابی نمود.<sup>۱۱۶</sup> ME-4Ch کسر خروجی (EF) را میتوان از نماهای ME-4Ch و Simpson 2Ch با استفاده از روش تغییر یافته دو سطحی بدست آورد. بهینه سازی نماهای ME برای آن که بطن چپ کوتاه تر از واقعیت دیده نشود و حاشیه های آندوکارد مشخص باشند، اهمیت دارد. استفاده از کسر تغییر مساحت با خطأ همراه است و تکرار پذیری آن دشوار می باشد، بنابراین باید تنها به عنوان یک معیار کیفی از آن استفاده نمود.<sup>۱۴۵</sup> برای ارزیابی ناهنجاری های موضعی حرکت دیواره از نماهای متعدد عمود برهم باید استفاده نمود. برای ارزیابی فونکسیون رادیال ۱۷ سگمان، نماهای تنس گاستریک Mid Pap SAX ، basal SAX و آپیکال ME بهترین هستند. نماهای عمودی TG LAX به علاوه 2-Ch ، 4-Ch و 5-Ch تایید و بررسی فونکسیون طولی را امکان پذیر می نمایند.

**Fonksiyon Dıastolı Bınnı Çırıplı.**  ارزیابی پر شدن دیاستولی بطن چپ معمولاً با TTE انجام می شود. اندازه گیری های مشابه را می توان در نماهای TEE شامل ME-4Ch برای ارزیابی سرعت ورودی دریچه میترال، سرعت های سیاهرگ ششی و سرعت های داپلربافتی انجام

<sup>4</sup> -Loading conditions

<sup>5</sup> -Coronary artery bypass graft surgery

<sup>6</sup> -Body

<sup>1</sup>- Linear shortening fraction

<sup>2</sup> - Fractional area change

<sup>3</sup> - Volumetric ejection fraction

دوبعدی، اکوکاردیوگرافی سه بعدی برای اندازه گیری حجم های بطن چپ براساس فرضیات ژئومتریک نیست و در بیماران با بیماری مادرزادی قلبی و بطن های با شکل غیر طبیعی بکاررفته است.<sup>۱۵۱، ۱۵۲</sup>

اندازه گیری حجم بطن چپ و بطن راست نیاز به کسب کامل<sup>۲</sup> از نمای ME 4-Ch و بکاربردن یکی از برنامه های اندازه گیری حجم نیمه اتوماتیک که برروی کارت و برروی ایستگاه های کاری آفلاین موجود است، دارد.

### نکات کلیدی

۱. اندازه گیری اندازه بطن چپ در نمای TG SAX در کودکان توصیه می شود زیرا نمای TG LAX حرکت لترال بطن چپ را که در بسیاری از کودکان مشاهده می شود، نشان نمی دهد.
۲. عموماً بررسی فونکسیون سیستولی بطن چپ به صورت کیفی انجام می شود ولی می توان آن را با کسر کوتاه شدگی خطی (linear shortening fraction) و کسر خروجی (volumetric ejection fraction) با اکوکاردیوگرافی دوبعدی یا سه بعدی اندازه گیری نمود.
۳. عموماً اندازه گیری فونکسیون و اندازه بطن راست به صورت کیفی انجام می شود ولی برنامه های حجمی سه بعدی امکان اندازه گیری کمی را فراهم می کنند.

### دهلیزها، سیاهرگ های سیستمیک و ششی آناتومی

تعیین طرز قرار گیری دهلیزها (درست، معکوس یا مبهم) در کودکان و بالغین با بیماری مادرزادی قلبی لازم است و می توان از روی گوشک های دهلیزها آن را متوجه شد. گوشک دهلیز راست سه گوش است و قاعده پهنی دارد در حالی که گوشک دهلیز چپ قاعده باریک داشته و لوله ای شکل (شبیه انگشت) است. دیواره بین دهلیزی و اجزای آن در شناسایی طرز قرار گیری دهلیزها نقش مکمل دارند

<sup>2</sup>-Full acquisition

در حالی که پنجره آکوستیک در TTE غالباً چالش برانگیز است، TEE مشاهده شکل پیچیده ژئومتریک بطن راست را با کیفیت عالی امکان پذیر می نماید. نماهای ME-4Ch، TG Basal، TG Mid Pap SAX، ME RV In-Out و RVOT SAX و آنلوس تریکوپسیپید در هنگام سیستول (TAPSE) و اندازه شامل کسر تغییر در مساحت (FAC)، میزان حرکت سطح آنلوس تریکوپسیپید در هنگام سیستول (TAPSE) و سرعت داپلربافتی (MPI)، RV dp/dt و سرعت داپلربافتی آنلوس<sup>۱</sup>) هستند. در حالی که روش های کمی مختلفی برای اندازه گیری فونکسیون بطن راست وجود دارد، در اکثر موارد ارزیابی فونکسیون به صورت کیفی شامل انقباض دیواره آزاد، حرکت طولی قاعده به سمت آپکس و برآمدگی سپتوم بطنی به سمت حفره بطن راست انجام می شود.<sup>۱۴۹</sup> این به ویژه در مورد جابجایی اصلاح شده مادرزادی سرخرگ های بزرگ (I-TGA) یا جابجایی کامل سرخرگ های بزرگ (d-TGA) پس از عمل جابجایی سرخرگ های بزرگ، که شکل بطن راست طبیعی که در موقعیت سیستمیک قرار دارد دچار تغییر قابل ملاحظه شده است، صدق می کند. بنابراین بهترین کار استفاده از نمای TG SAX یا ME 4-Ch برای تخمین چشمی فونکسیون سیستولی می باشد.

**استفاده از 3D TEE برای ارزیابی حجم ها و فونکسیون بطن.** برخلاف روش های اکوکاردیوگرافی

<sup>1</sup> - Annular tissue Doppler velocity

سیاهرگ های آن ها باز هستند جریان یابد. ارزیابی الگوی داپلر سیاهرگ ششی می تواند در ارزیابی موارد دیگر مانند هیپرتانسیون دهلیز چپ ناشی از نارسایی میترال ( وجود یک موج برجسته A ) کمک کننده باشد. همچنین می توان براساس ارتباط موج A با تراسه نوار قلب، ریتم جانکشنال را زریتم سینوسی افتراق داد ( در ریتم سینوسی موج A قبل از هر QRS می آید در حالی که در ریتم جانکشنال جدایی بین موج A و QRS وجود دارد).

نقش TEE در تاهنجاری های دهلیزها. قلب سه دهلیزی. - قلب سه دهلیزی شامل وجود یک باند فیبروموسکولاست که دهلیز ها را به دو قسمت پروکسیمال و دیستال تقسیم می نماید.<sup>۱۵۴، ۱۵۳</sup> فرق مهم قلب سه دهلیزی از حلقه فوق دریچه میترال<sup>۴</sup>، محل گوشک دهلیز چپ است که در قلب سه دهلیزی چپ<sup>۵</sup> همیشه دیستال به مembran قرار دارد ( شکل ۷ و ویدئو ۳۸). ارزیابی این بیماری در نمای ME 4-Ch با اندک خم کردن پروب به سمت عقب به منظور پیشگیری از کمپرس کردن حفره سیاهرگ ششی احتمالی هیپرتانسیو، شروع می شود. سپس پروب را در جهت خلاف عقریه های ساعت چرخانده تا ممبران و اتصال آن در زیر سیاهرگ های ششی چپ ولی در بالای گوشک دهلیز چپ مشاهده گردد. اضافه نمودن داپلر رنگی کمک به شناسایی اتصالات حفرات پروکسیمال و دیستال در هر دونمای ME 2-Ch و ME 4-Ch می نماید.

<sup>4</sup> -Supravalvar mitral ring

<sup>5</sup> - Cor triatriatum sinister

که در دستور العمل جامع TEE انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا و انجمن متخصصین بیهوشی قلب و عروق ASE/SCA) در سال ۲۰۱۳ به تفصیل ذکر شده است.<sup>۱۶</sup> ساختمان های سیاهرگی ، به ویژه بخش فوق کبدی سیاهرگ اجوف تحتانی ، دریچه استاش و سوراخ سینوس کرونر نشانه های دهلیز راست مرفولوژیک هستند و می توان آنها را در نمای ME 4-Ch مشاهده نمود. در نمای DTG Atr Sept و Bicaval فوقانی را در محل ورود به دهلیز راست مشاهده نمود. در این نماها حرکت جاروگونه<sup>۲</sup> پروب از راست به چپ با زاویه ۹۰ درجه، کمک به شناسایی سیاهرگ اجوف فوقانی چپ (LSVC) می نماید.

در نماز سیاهرگ های ششی به درون دهلیز چپ را می توان در نماهای ME سیاهرگ های ششی راست و چپ نشان داد. بررسی داپلر رنگی جریان خون و طیفی سیاهرگ های ششی برای بررسی از نظر انسداد سیاهرگی لازم است. الگوی داپلر سیاهرگ های ششی سه مرحله ای با امواج S و D به سمت جلو و موج کوتاه A به سمت عقب می باشد. در کودکان کم سن و شیرخواران موج S به سمت جلو غالب است.<sup>۱۵۲</sup> میانگین گرادیان سیاهرگ های ششی را باید دریک یا دو سیکل قلبی اندازه گیری نمود و فقدان الگوی فازی جریان خون<sup>۳</sup> را به عنوان تنگی تشخیص داد. باید آگاه بود که گرادیان ها می توانند گول زننده باشند، زیرا ممکن است جریان خون به درون سایر سگمان های ریه که

<sup>1</sup> - Eustachian Valve

<sup>2</sup> - Sweep

<sup>3</sup> -Phasic flow pattern

خصوصیات آناتومیک گوشک های دهلهیزها ( که قبل از شرح داده شد) با استفاده از یک سری حرکات جارو گونه<sup>۴</sup> پروب از پشت به جلو در سطوح مختلف دارد. تصویربرداری از گوشک دهلهیزی که از پشت سرخرگ های بزرگ می گذرد نخستین راهنمای است، گرچه، شک به وجود این آنومالی با مشاهده انحراف بخش وسطی سپتوم بین دهلهیزی به سمت لترال و در جهت فرونتال قرار گرفتن بخش قدامی - فوکانی که کف و دیواره پشتی محل اتصال گوشک دهلهیز راست با بخش سیاهه‌گی حفره دهلهیزی را تشکیل می دهد، ایجاد می شود.<sup>۱۵۹</sup> نماهای ME 4-Ch و مقطع عرضی آورت صعودی می توانند گوشک دهلهیز راست را در پشت آورت و جلوی دهلهیز چپ نشان دهند. استفاده از داپلر رنگی و pulsed-wave می تواند جریان خون به درون گوشک دهلهیز را از نقص در دیواره بین دهلهیزی<sup>۵</sup> افتراق دهد. گرچه تشخیص هم‌جاواری گوشک های دهلهیزها می تواند یک یافته تصادفی باشد، تشخیص آن در هنگام مداخلات از نظر هدایت کردن موقعیت کاتتریا اطمینان از اینکه نوک کاتتر بالون از دیواره بین دهلهیزی عبور کرده است و نه به درون گوشک دهلهیز راست، اهمیت دارد. به علاوه، لخته در گوشک های دهلهیز راست و چپ هم‌جاوار در بیماران با فیبریلاسیون دهلهیزی قبل از کار دیوورژن گزارش شده است.<sup>۱۶۰، ۱۶۱</sup> نقش TEE در آنومالی های سیاهه‌گ های سیستمیک. سیاهه‌گ اجوف فوکانی چپ<sup>۶</sup> (LSVC) به سینوس

اکسنتریک بودن سوراخ های ارتباطی ناشایع نیست و نیاز به بررسی با داپلر رنگی با زوایای مختلف برای یافتن بهترین هم سویی برای ارزیابی داپلر شدت تنگی و تخمین فشار سیاهه‌گ ششی دارد . لازم است بازگشت سیاهه‌گ های ششی بطور کامل مشخص گردد، زیرا ممکن است انواع ناقص<sup>۱</sup> قلب سه دهلهیزی وجود داشته باشد که تنها سیاهه‌گ های راست یا چپ به حفره پروکسیمال وارد می شوند. به علاوه سپتوم دهلهیزی را باید در نماهای ME ، ME 4-Ch DTG Atr Sept Bicaval بین دهلهیزی یا سوراخ باز بیضی شناسایی گردد. سرانجام بین دهلهیزی را از نظر رد بیماری های انسدادی یا باید دریچه میترال را از نظر رد بیماری های انسدادی یا نارسایی میترال بررسی نمود. پس از برداشتن ممبران با جراحی ، TEE برای تشخیص کفایت ترمیم ( ممبران باقیمانده، شنت باقیمانده در سطح دهلهیز) و درناز سیاهه‌گ های ششی کمک می کند.<sup>۱۵۸</sup> گوشک های دهلهیز که مجاور یکدیگر قرار گرفته اند<sup>۲</sup>. قرار گرفتن گوشک های دهلهیز ها در مجاورت یکدیگر یک آنومالی نادر ( حدود ۰/۸ درصد بیماری های مادرزادی قلبی) است ، غالبا همراه با بیماریهای پیچیده مادرزادی قلبی مشاهده می شود. قرار گرفتن گوشک های دهلهیزها در سمت چپ در مجاورت یکدیگر شایع تر است، به ویژه در همراهی با جا بجا یابی سرخرگ های بزرگ، آترزی تریکوسپید و سندرم هتروتاکسی.<sup>۱۵۸-۱۵۶</sup> تشخیص هم جواری گوشک دهلهیزها<sup>۳</sup> چالش برانگیز است و تایید آن نیاز به شناسایی

<sup>4</sup> - Sweeps

<sup>5</sup> - ASD

<sup>6</sup> -Left superior vena cava (LSVC)

<sup>1</sup> -Partial forms

<sup>2</sup> - Juxtaposed atrial appendages

<sup>3</sup> - Juxtaposition

که می توانند همراه با سینوس کرونر گشادبدون LSVC باشند، مانند بازگشت غیر طبیعی سیاهرگ های ششی ، درناز غیر طبیعی سیاهرگ های کبدی یا تنگی سوراخ سینوس کرونر را باید درنظر داشت.

سیاهرگ اجوف فوقانی به دهلیز چپ.- LSVC می تواند تا ۸ درصد موارد بطور مستقیم به سقف دهلیز چپ درناز یابد که بندرت به صورت ایزوله و غالبا همراه با سایر بیماری های مادرزادی قلبی است.<sup>۱۶۳, ۱۶۴</sup> در این موارد شناسایی TEE با LSVC می تواند چالش زا باشد، زیرا اندازه سینوس کرونر طبیعی است و موجب ایجاد شک به وجود LSVC نمی شود. آنچه برای شناسایی این آنومالی کمک کننده است، در هنگام بررسی سیاهرگ های ششی یا ، مشاهده مستقیم LSVC است که وارد سقف دهلیز چپ می شود یا جستجوی فعال به دنبال این اتصال پس از دیدن سیاهرگ اجوف فوقانی راست کوچک می باشد. استفاده از تزریق سالین agitated از دست چپ می تواند در شناسایی اتصال LSVC به دهلیز چپ کمک کننده باشد.

سیاهرگ اجوف تحتانی<sup>۴</sup> (IVC) قطع شده<sup>۵</sup>.- قطع سیاهرگ اجوف تحتانی نادرست و با福德ان IVC درزیر سیاهرگ های کبدی مشخص می شود.<sup>۱۶۵</sup> IVC به سیاهرگ آزیگوس متصل می شود که خود به درون سیاهرگ اجوف فوقانی (SVC) تخلیه می شود. به دلیل تخلیه به درون SVC، این یافته در زمان کانولاسیون در هنگام جراحی اهمیت دارد. تصویربرداری با TEE از نماهای

کرونر (CS).- درناز LSVC به CS یافته نسبتاً شایعی در قلب طبیعی است و می تواند در ۱۰ تا ۱۰ درصد بیماران با بیماری مادرزادی قلبی یافت شود.<sup>۱۶۲</sup> شناسایی LSVC از نظر کانولاسیون در اتاق عمل و در برنامه ریزی برای ترمیم های پیچیده مانند بافل های دهلیزی و اتصال سیاهرگ اجوف فوقانی به سرخرگ ششی ( گلن<sup>۲</sup> یا نیمه فانتن) که در زیر شرح داده شده است، اهمیت دارد اما باید پیش از عمل جراحی از وجود آن اطلاع داشت.

تصویربرداری LSVC را می توان با شناسایی یک سینوس کرونر گشادرنمای ME 4-Ch با خم کردن پروب به عقب و اندک جلوبردن<sup>۳</sup> آن ونیز در نمای ME 2-Ch انجام داد. هنگامی که سینوس کرونر گشاد شناسایی شد، با چرخاندن پروب در جهت خلاف عقربه های ساعت در سطح وسط مری یا قسمت فوقانی مری، با زاویه ترنسدوسر ۶۰ تا ۸۰ درجه، می توان LSVC را مشاهده نمود. در محلی که معمولاً به سینوس کرونر می ریزد، در سمت چپ آنورت نزولی و در قدام سرخرگ ششی چپ قرار دارد. تزریق داخل وریدی سالین agitated در دست چپ می تواند درشناسایی این سیاهرگ از طریق پرشدن سینوس کرونر با سالین agitated کمک نماید.

عدم موفقیت در شناسایی محل اتصال LSVC به سینوس کرونر می تواند موجب شود که سوراخ سینوس کرونر گشاد شده ، اشتباهات به عنوان یک ASD تفسیر گردد. سایر مواردی

<sup>4</sup>-Inferior vena cava(IVC)

<sup>5</sup> -Interrupted inferior vena cava

<sup>1</sup> - Coronary sinus(CS)

<sup>2</sup> -Glenn

<sup>3</sup> - Advance

نوع سکوندوم (۱۰ تا ۱۵٪) است، اما می‌تواند به صورت ایزوله نیز باشد.<sup>۱۶۸</sup> شایعترین نوع PAPVR اتصال سیاهرگ ششی راست به SVC و RA است.<sup>۱۶۹</sup> بررسی اتصال غیر طبیعی سیاهرگ ششی راست به SVC را می‌توان با پروب در نمای سیاهرگ‌های ششی راست ME آغاز نمود. در حالی که در این سطح پروب را عقب می‌کشیم، SVC گرد است و بهم ریخته شدن نمای این رگ به شکل نمای قطره اشک<sup>۶</sup> ورود غیر طبیعی سیاهرگ ششی را مطرح می‌نماید. هنگامی که در این نما شناسایی شد، چرخش روبه جلوی زاویه ترنسدوسر تا نمای ME Bicaval (۹۰ تا ۱۰۰ درجه) اتصال سیاهرگ‌های ششی را به SVC نشان خواهد داد. و امکان تخمين زدن فاصله از محل اتصال SVC به RA را، که برای برنامه ریزی جراحی کمک کننده است، فراهم می‌کند. جلوبردن پروب در همین نماها به سمت پایین می‌تواند درناز سیاهرگ‌ها به دهليز راست يا IVC را شناسایي نماید. از اين مانور می‌توان برای تشخيص سندروم Scimitar که در آن بخشی يا تمام سیاهرگ‌های سمت راست به IVC<sup>۷</sup> می‌ریزند، استفاده نمود. بازگشت غیر طبیعی بخشی از سیاهرگ‌های ششی چپ معمولاً به سیاهرگ عمودی چپ که به سمت بالا به درون سیاهرگ بی نام چپ تخلیه می‌شود، می‌باشد. اين را می‌توان با تصویربرداری دوبعدی و داپلرنگی در نمای مقطع عرضی کمان آئورت از

TG IVC/Hep Veins کبدی رانشان می‌دهد ولی IVC، حتی با چرخش به سمت جلوزاویه ترنسدوسر تا ۹۰ درجه هم دیده نمی‌شود. دنبال کردن سیاهرگ آزیگوس تا SVC راست یا چپ می‌تواند چالش برانگيزباشد و حرکات جاروگونه<sup>۱</sup> متعددی در اکوکاردیوگرافی دوبعدی و تصویربرداری رنگی داپلر لازم است، زیرا سیاهرگ آزیگوس از موقعیتی در پشت قلب به سمت جلومی آید تا به SVC بربزد و مری در مسیر آن قرار دارد. استفاده از تزریق سالین agitated از پا، با ورود حبابها<sup>۲</sup> به درون SVC می‌تواند به شناسایی این اتصال کمک نماید.

SVC سیاهرگ /جوف فوکانی راست به دهليز چپ.- درناز راست به دهليز چپ نادرست و گاهی اوقات درناز به هردو دهليز نیز امکان پذیر است.<sup>۱۶۷، ۱۶۸</sup> استفاده از نمای ME Bicaval يا Atr Sept با داپلرنگی، جريان خون به درون دهليز چپ را نشان می‌دهد. استفاده از تزریق سالین agitated از دست راست می‌تواند به شناسایی این درناز از طریق ورود حباب‌ها<sup>۳</sup> به درون دهليز چپ کمک نماید.

نقش TEE در آنومالی‌های سیاهرگ ششی. بازگشت شابجائی بخشی از سیاهرگ‌های ششی<sup>۴</sup> (PAPVR) شایعترین PAPVR همراه با ASD، به صورت سینوس وریدی<sup>۵</sup> (تا ۸۵٪ موارد و درزیز شرح داده شده است) يا

<sup>4</sup> - Partial Anomalous Pulmonary Venous Return (PAPVR)

<sup>5</sup> - Sinus venosus

<sup>6</sup> - Tear drop appearance

<sup>1</sup> - Multiple sweeps

<sup>2</sup> - Bubbles

<sup>3</sup> -Bubbles

درجه دیدو سیاهرگ های چپ را در ۹۰ تا ۱۱۰ درجه یا نزدیک تر به آئورت نزوی به بهترین وجه دیده می شوند.

ازبایی انواع زیر قلبی با TEE دشوار است، گرچه غالبا بازگشت جریان خون با سرعت زیاد به سیستم پورت همراه با سیاهرگ های کبدی گشاد وجود دارد. بررسی TAPVR به سینوس کرونر نیاز به حرکات جاروگونه پروب با دامنه زیاد<sup>۴</sup>، جلوبردن و عقب کشیدن پروب و/یا تغییر در سطوح تصویربرداری برای دنبال کردن همیزگاه وریدی به درون سینوس کرونر دارد. مشاهده جریان خون قابل ملاحظه در داپلرنگی که به سینوس کرونر و دهلیز راست برمی گردد، کمک کننده است. ارزیابی نوع مخلوط نیاز به استفاده از تمام روش های ذکر شده در بالا دارد.

دریمارپس از ترمیم TAPVR بررسی آناستوموز همیزگاه سیاهرگ های ششی به دهلیز چپ و بررسی از نظر تنگی در هریک از سیاهرگ های ششی ضروری است ([شکل ۸](#) و [ویدئو ۳۹](#)). وجود جریان خون طغیانی در محل آناستوموز ممکن است تنگی اولیه یا پیچ خوردگی همیزگاه را مطرح نماید و در حالی که بررسی با داپلر طیفی شدت تنگی را تعیین می نماید، بازگشت به bypass ممکن است اندیکاسیون داشته باشد و باید در این باره با جراح گفتگو کرد.

قسمت فوقانی مری<sup>۱</sup> با چرخش به سمت چپ مشاهده نمود.

بازگشت غیر طبیعی تمام سیاهرگ های ششی<sup>۲</sup> (TAPVR). بازگشت غیر طبیعی تمام سیاهرگ های ششی به گردش خون سیستمیک در ۲/۲٪ تمام کودکان با بیماری مادرزادی قلبی رخ می دهد.<sup>۱۷</sup> آنها می توان به ترتیب شیوع به فوق قلبی<sup>۳</sup>، زیر قلبی<sup>۴</sup>، قلبی یا مخلوط تقسیم نمود.

استفاده از TEE برای تشخیص TAPVR می تواند محدودیت داشته باشد زیرا محل همیزگاه<sup>۵</sup> سیاهرگ های ششی می تواند توسط پروب تحت فشار قرار گیرد که این می تواند اختلال همودینامیک ایجاد نماید.<sup>۸۵</sup> قرار دادن پروب پس از استرنوتومی به عنوان روش بی خطرتری [گزارش شده است.](#)<sup>۸۶</sup>

هنگامی که پروب TEE را بدون ایجاد اختلال همودینامیک قرار داد، برای مشاهده بازگشت غیر طبیعی ME 4- Ch به سمت چپ و شناسایی همیزگاه سیاهرگ های ششی است. تخلیه هریک از سیاهرگ های ششی به درون همیزگاه را با چرخش پروب درجهت عقربه های ساعت از چپ به راست میتوان مشاهده نمود. سیاهرگ های راست را می توان با چرخش روبه جلوزاویه ترانسدوسر تا ۳۰ تا ۵۰

<sup>4</sup> -Infracardiac

<sup>5</sup> - Confluence

<sup>6</sup> -Long sweeps

<sup>1</sup> - UE Ao arch SAX

<sup>2</sup>- Total Anomalous Pulmonary Venous Return

(TAPVR)

<sup>3</sup>- Supracardiac

## تفصیل در دستورالعمل قبلی انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا

ذکر شده است. (شکل ۹)<sup>۲۲</sup>

تفایص دیواره دهلیزی<sup>۱</sup> (ASDS) / زنوع سوراخ دوم<sup>۲</sup> را غالباً می توان از طریق کاتتر با وسیله<sup>۳</sup> بست به شرط آن که لبه های آن اندازه کافی داشته باشند و سوراخ خیلی بزرگ نباشد. ASD های سکوندوم را می توان از نماهای ME ، ME RV In-Out ، ME AoV SAX ، ME 4-Ch DTG Atr Sept و Bicaval مشاهده نمود.

فرد اکوکاردیوگرافی کننده باید چند مشخصه و پارامتر شامل تعداد ابعاد<sup>۴</sup> ، اندازه<sup>۵</sup> و محل سوراخ ها را مشخص نماید. اگر قرار است که بستن در آزمایشگاه کاتتریسم انجام شود، باید طول لبه های<sup>۶</sup> آثورتی، فوقانی، تحتانی، خلفی و لبه CRUX را اندازه گیری نمود. یک عامل مهم در انتخاب اندازه وسیله بستن ، قطر کمر بالون<sup>۷</sup> در زمانی که دیگر خونی از سوراخ عبور نمی کند<sup>۸</sup> است. همچنین به صورت همزمان با انجام پروسیجر<sup>۹</sup> برای TEE

پایش برای قرار دادن وسیله در قلب ، طرزقرارگیری و پایداری آن بکاررفته است. هنگامی که وسیله بطور کامل جا گذاشته شد و آزاد گردید، باید از نظر شنت باقیمانده و نیز انسداد جریان خون و گیر کردن وسیله به ساختمان های آناتومیک مجاور شامل ریشه آثورت، سقف دهلیز چپ، دریچه های دهلیزی بطئی، سیاهرگ های ششی راست، سیاهرگ های اجوف و سینوس کرونر ارزیابی نمود. در نهایت،

## نکات کلیدی

- ۱- تعیین طرزقرار گیری دهلیزها را می توان با شناسایی گوشک دهلیزها و ساختمان های کلیدی سیاهرگی سیستمیک انجام داد. گرچه نماهای ME بیش از همه کاربرد دارند، باید از تأثیرات TEE و نماهای استفاده نمود.
- ۲- TEE می تواند آنومالی های سیاهرگی سیستمیک غیرعادی مانند LSVC به سینوس کرونر یا دهلیز چپ ، قطع بخش کبدی سیاهرگ اجوف تحتانی و آنومالی های دهلیزی مانند همچواری گوشک های دهلیزی و قلب سه دهلیزی را شناسایی نماید.
- ۳- مشاهده بازگشت سیاهرگ ششی چپ و راست را به نحو عالی امکان پذیر می نماید و امکان ارزیابی داپلر سیاهرگ های ششی را فراهم می سازد که می توان از آن برای بررسی تنگی در درون هریک از سیاهرگ یا همراهی گاه سیاهرگ های ششی استفاده نمود.
- ۴- TEE می توان برای بررسی بازگشت غیر طبیعی بخشی یا تمام از سیاهرگ های ششی استفاده نمود. گرچه در مورد اخیر باید دقت کرد زیرا اختلال همودینامیک با فروبردن / حرکات پروب با دست شرح داده شده است.

## تفایص سپتوم

تفایص دیواره ای دهلیز ها و بطن ها انواع شایع بیماری مادرزادی قلبی هستند که می توانند به صورت تفایص

ایزوبله یا همراه با سایر آنومالی های قلبی رخ دهند.<sup>۱۷۱، ۱۷۴</sup>

تفایص دیواره دهلیزی معمولاً با جراحی یا از طریق

کاتتر ، غالباً با هدایت TEE، بسته می شوند . بنابراین در ک

آناتومی دیواره ، علاوه بر نوع و محل سوراخ مهم است و به

<sup>6</sup> - Rims

<sup>7</sup> - Balloon waist diameter

<sup>8</sup>- Stop-flow occlusive balloon waist diameter

<sup>9</sup> - Live

<sup>1</sup>- Atrial septal defect (ASD)

<sup>2</sup> - Ostium secundum

<sup>3</sup> - Device

<sup>4</sup> - Dimensions

<sup>5</sup> - Size

وریدی ، نماهای DTG Atr Sept و ME Bicaval هستند. پس از ترمیم ASD سینوس وریدی ، بررسی از نظر تنگی سیاهرگ های ششی یا انسداد بافل اهمیت دارد. بهترین نماها برای مشاهده این موارد نماهای سیاهرگ های ششی راست ME و Bicaval و نیز استفاده از UE برای ASD از نوع سینوس وریدی فوقانی یا نماهای ME براحتی ممکن است. بعدها در این قسمت تحتانی مری برای ASD از نوع سینوس وریدی از نوع تحتانی هستند.

ASD سینوس کرونر آنومالی نادری است که در آن فقدان بخشی یا تمام سقف سینوس کرونر به درون دهلیز چپ موجب شدن خون از دهلیز چپ به سینوس کرونر و به درون دهلیز راست می شود.<sup>۱۸۰</sup> تقریباً در همه موارد با اتصال سیاهرگ اجوف فوقانی چپ به سینوس کرونر همراه است (بالارا بینید).

نقش TEE در ترمیم ASD پیش از عمل در هنگام ترمیم جراحی ASD می تواند اندازه و محل را تایید نماید، از نظر بیماری های قلبی همراه شامل بازگشت غیر طبیعی بخشی از سیاهرگ های ششی بررسی کند، اندازه و فونکسیون بطن را ارزیابی نماید و فشار های سرخرگ ششی را تخمین زند. TEE پس از عمل بروی شنت باقیمانده درسطح دهلیز ، ارزیابی سیاهرگ های اجوف، وجود نارسایی باقیمانده دریچه دهلیزی بطنی و فونکسیون بطن متوجه است.

بررسی از نظر عوارض مانند افیوژن پریکارد، ترومبوز و آمبولیزاسیون وسیله ضروری است.

نقایص دیواره دهلیزی (ASDS) از نوع سوراخ اول<sup>۱</sup> در حاشیه آپیکال سپتوم دهلیزی بلافضله مجاور دریچه های AVSD می باشد. این نوع از ASD در طیف قرار می گیرد و تقریباً در همه موارد با شکاف در دریچه میترال همراه است. بهترین نما برای دیدن ASD از نوع سوراخ اول ME 4-Ch می باشد. پس از ترمیم ASD نوع برایموم، باید دریچه میترال را ازنظر شکاف باقیمانده، تنگی LAX 2-Ch و ME 4-Ch ، میترال، TG Basal SAX و نارسایی در نماهای 2-Ch بررسی نمود. بررسی بیشتر شکاف دریچه میترال شامل نمای TG 5-Ch می شود. در نمای ارزیابی از نظر انسداد مجرای خروجی بطن چپ نیز باید انجام داد که در این نما داپلر طیفی می تواند انسداد باقیمانده را رد کند.

ASD از نوع سینوس وریدی ممکن است یکی از دونوع باشد: فوقانی یا تحتانی. نوع فوقانی بالاترین قسمت سپتوم دهلیزی را درگیر می کند و به سمت بالا گسترش می یابد. این نوع با سوارشدن SVC برروی هردو دهلیز<sup>۲</sup> همراه است و تقریباً در همه موارد همراه با اتصال غیر طبیعی بخشی یا تمام سیاهرگ های ششی راست به SVC نزدیک به محل اتصال آن به دهلیز می باشد. نوع تحتانی ASD از نوع سینوس وریدی همراه با سوارشدن IVC برروی هر دو دهلیز می باشد و کمتر با اتصال غیر طبیعی سیاهرگ های ششی همراه است. بهترین نماها برای دیدن ASD های سینوس

<sup>2</sup>-Overriding

<sup>1</sup> - Ostium primum ASDs

نقایص سپتوم بطنی. ما برروی ۵ نوع متمرکز خواهیم

شد: پری ممبرانو، عضلانی ، ورودی<sup>۵</sup> ، ناهمراستاء، و خروجی<sup>۶</sup> :

پری ممبرانو. نقایص این ناحیه شایع هستند و ممکن است ایزوله یا همراه باهیریک ازانواع بیماری های مادرزادی قلبی باشند. بهترین نماها برای دیدن VSD های پری ممبرانو AoV SAX ، 5-Ch ، ME 4-Ch و نمای ورودی –

خروجی بطن راست هستند.

عضلانی. نقایص متعدد و آنومالی های همراه قلبی نسبتا شایع هستند. در صورت ضرورت بالینی ، می توان این سوراخ ها را از طریق کاتتر با وسیله بست. بهترین نماها برای دیدن VSD های عضلانی TG 5-Ch ، ME 4-Ch و Basal SAX می باشند.

ورودی. VSD های ورودی به بهترین وجه در نمای ME 4-Ch مشاهده می شوندو همراه با بیماری های دریچه های دهلیزی بطنی که در همان سطح هستند و ضایعات نقص سپتوم دهلیزی بطنی (AVSD) می باشند. ناهمراسته. این نوع VSD در تترالوژی فالو (TOF) ، بطن راست با دومجرای خروجی (DORV) و کمپلکس قطع VSD کمان آئورت دیده می شود. بهترین نماها برای دیدن های ناهمراستا LAX ، 5-Ch ، ME 4-Ch ، دریچه آئورت و ورودی خروجی بطن راست، به علاوه DTG 5-Ch و RVOT می باشند.

**نقش TEE در تصویربرداری ASD** تصویربرداری نقایص

سپتوم دهلیزی با استفاده از 3D TEE در حین درمان اینترونشنال از طریق کاتتر و پیش از جراحی بسیار مفید است. برای تصویربرداری ASD ، نماهای با زاویه پهن<sup>۱</sup> رو<sup>۲</sup> دهلیز راست و دهلیز چپ از وسط مری ، همچنین زنده DTG Atr Sept نمای Rendering های تصاویرویژگی های ASD را به صورت دقیق و سریع نشان می دهند. دو سطحی با و بدون نقشه برداری داپلر رنگی جریان خون از نظر زمان مقرن به صرفه است زیرا دونما را به صورت هم زمان نشان می دهد. نماهای رو به رو نقص سپتوم دهلیزی سکوندوم با بستن ASD سکوندوم با وسیله با استفاده از هدایت 3D TEE نشان داده شده است ( [ویدئو](#) ).

**آناتومی سپتوم بطنی**. سپتوم بطنی بخش های ورودی، ترابکولر و خروجی دارد. سمت راست آن یک باند سپتال دارد که به آن باند moderator می چسبد. این باند از آپکس تا قاعده قلب گسترش دارد و به دو شاخه تقسیم می شود که شکل ۷ "U" یا "U" را می سازند. VSD می تواند درهایک از این محل ها باشد([شکل ۱۰](#)). به علاوه، یک بیمار ممکن است چند VSD داشته باشد، که نسبت به باند سپتال سپتوم عضلانی هم راستایی نداشته<sup>۳</sup> و با سایر آنومالی های قلبی مادرزادی همراه باشد.

<sup>5</sup> - Inlet

<sup>6</sup> - Malaligned

<sup>7</sup> - Outlet

<sup>1</sup> - Wide angle

<sup>2</sup> - En face

<sup>3</sup> - Narrow sector

<sup>4</sup> - Malalignment

بازگشت به bypass را تعیین نمود. اگر QP به بیش از ۱/۵ به ۱ یا VSD باقیمانده بیشتر یا مساوی ۴ میلی متر باشد، در اکثر موارد باید تلاش مجددی در جهت بستن آن انجام داد.<sup>۱۸۳، ۱۸۲</sup>

**VSD استفاده از 3D TEE در تصویربرداری** تصویربرداری VSD از نمای ME 4-Ch با استفاده از 3D زنده، اکودوستحی و تمام حجم با برش، مفید است. بهترین ناماها برای نشان دادن ویژگی های آناتومیک نماهای روبه رو از منظر بطن راست و بطن چپ، همراه با ME 4-Ch هستند. نقشه برداری داپلر جریان خون رنگی به صورت 3D زنده برای ارزیابی شنت های باقیمانده بکار می رود. تعداد تصویر<sup>۳</sup> در نقشه برداری داپلر رنگی جریان دوستحی به طور قابل ملاحظه ای بیش از خون در TEE 3D زنده است، بنابراین در برخی موارد داپلر جریان خون 3D زنده وجود دارد، که محدودیت وضوح زمانی<sup>۳</sup> در 3D زنده وجود دارد، می توان از آن استفاده نمود. نماهای روبه رو VSD پری ممبرانو در ویدئو<sup>۴</sup> نشان داده شده است. استفاده از هدایت TEE با 3D زنده برای بستن VSD با وسیله می تواند مفید باشد و در شکل ۱۱ (بستن VSD عضلانی) نشان داده شده است.

#### نقایص دیواره دهلیزی بطنی

آناتومی. نقص دیواره دهلیزی بطنی که نقص کانال دهلیزی بطنی نیز نامیده می شود، از تشکیل ناکامل بالشتک های آندوکاردی ناشی می شود و منجر به نقص در

خروجی.- این نوع VSD ، VSD سوپراکریستال نیز نامیده می شود و می تواند تنها یا همراه با بیماری هایی مانند تنہ شربانی<sup>۱</sup> به عنوان مثال دیده شود. می تواند با پرولاپس کاسپ آئورت همراه باشد. VSD های خروجی را می توان در نماهای 5-Ch، ME 4-Ch ، مقطع عرضی دریچه آئورت ، LAX و ورودی خروجی بطن راست ، DTG 5- Ch و مجرای خروجی بطن راست نشان داد.

**نقش TEE در ترمیم VSD** پیش از عمل تمرکز ببروی یافته های آناتومیک شامل نوع ، تعداد، اندازه ، جهت شنت و ارزیابی ساختمان های مجاور است. در بررسی پس از عمل نقایص یاقیمانده سپتوم یا تمامیت وصله، فشارهای سرخرگ ششی، فونکسیون بطن و طرز قرار گیری وسیله در موارد اینترونشنال مورد توجه قرار می دهد. همیشه باید ارزیابی برای VSD باقیمانده در بیش از یک نما صورت گیرد و برای تصمیم به بازگشت به bypass باید چندین عامل شامل نارسایی آئورت همراه ، انسداد مجرای خروجی، و اهمیت همودینامیک را در نظر گرفت. اکثر VSD های باقیمانده کمتریا مساوی ۲ میلی متر خودبخود با گذشت زمان خوب می شوند.<sup>۱۸۱</sup> VSD های باقیمانده با اندازه کمتریا مساوی ۳ میلی متر معمولاً از نظر همودینامیک قبل توجه نیستند و برخی از آنها خودبخود بهبدود می یابند. VSD های باقیمانده با اندازه ۳ تا ۴ میلی متر نیاز بررسی دقیق شامل اندازه گیری QP به QS با اکوکاردیوگرافی یا بررسی در صدای اکسیژن خون دارند تا بهتر بتوان نیاز به

<sup>۳</sup> - Temporal resolution

<sup>۱</sup> -Truncus arteriosus

<sup>۲</sup> - Frame rate

بین دریچه های میترال و تریکوسپید مانند یک گوه قرار گرفته باشد، به صورت غیر گوه ای<sup>۴</sup> و بیشتر در سمت قدامی فوقانی قرار دارد.

AVSD کامل می تواند به صورت ایزوله یا همراه با سایر بیماری های مادرزادی قلبی پیچیده مانند اختلالات AVSD (هتروتاکسی / ایزومریسم) باشد. در ناقص که در آن نقص در سپتوم پرایموم دهلیزی، ولی بدون جزء بطنی، وجود دارد، دریچه های دهلیزی بطنی offset<sup>۵</sup> دارند و یک شکاف در لت قدامی دریچه دهلیزی SAX TG Basal بطنی چپ وجود دارد، که در نمای ME LAX و می توان مشاهده نمود. از نماهای X و DTG 5-Ch برای نشان دادن مجرای خروجی بطن چپ و تایید جدایی بین ورودی دریچه دهلیزی بطنی چپ و خروجی آئورت استفاده می شود. بافت اضافی<sup>۶</sup> از لت پیونددهنده فوقانی<sup>۷</sup> می تواند موجب انسداد مجرای خروجی بطن چپ شود. چرخش پروب به سمت عقب از نمای ME LAX می تواند سپتوم عضلانی ورودی و وجود و گسترش جزء بطنی نقص دیواره را نشان دهد. با استفاده از نمای TG Basal SAX می توان دریچه های دهلیزی بطنی را مشاهده نمود و محل نارسایی دریچه دهلیزی بطنی را باداپلرنگی نشان داد.

**استفاده از TEE در ترمیم AVSD** اکوکاردیوگرافی ترنس توراسیک اکثر اطلاعات تشخیصی مرتبط پیش از عمل را در

منظور آن است که دریچه میترال و تریکوسپید هردو دریک سطح -<sup>۵</sup> قرار دارند و دریچه تریکوسپید مانند حالت طبیعی کمی پایین تر به سمت آپکس، قرار ندارد.

<sup>۶</sup> - Accessory tissue

<sup>۷</sup> - Superior bridging leaflet

دیواره های دهلیزی و بطنی، به علاوه دریچه های دهلیزی بطنی می گردد.<sup>۱۸۴</sup> تنوع مرفلولوژیک در سطوح مختلف می تواند وجود داشته باشد، بنابراین این بیماری شامل طیف آناتومیکی است که می تواند شامل انواع ناقص<sup>۱</sup> تا کامل باشد. تنوع شامل موارد زیر است: (الف) اندازه یا وسعت نقص در سپتوم اول ۶دلهیزی ، (ب) اندازه یا وسعت نقص در سپتوم بطنی ، که در اینجا جزء بطنی نامیده می شود ، (ج) میزان اشتراک یا جدایی آناتومیک دریچه های دهلیزی بطنی سمت چپ و راست ، (د) مرفلولوژی و فونکسیون دریچه دهلیزی بطنی و (ه) میزان تعلق<sup>۳</sup> دریچه های دهلیزی بطنی به بطن ها.

ASD پرایموم، که تقریبا در تمام موارد AVSD وجود دارد، هنگامی که سپتوم دهلیزی عمود برترنسدوسر است، به بهترین وجه دیده می شود و این را می توان در نمای ME 4-Ch با اندک چرخش پروب در جهت عقربه های ساعت انجام داد. در همین نما نقایص سپتوم سکوندوم را نیز می توان شناسایی نمود. بهترین نما برای مشاهده جزء بطنی نمای ME 4-Ch در هنگام سیستول است ، که در این زمان ارزیابی ارتباط دریچه به سپتوم رانیز می توان انجام داد(شکل ۱۲ و ویدئو ۴۲). علاوه براین، تعلق روزنه دریچه دهلیزی بطنی به بطن های زیر آنها را می توان تعیین نمود. با توجه به اینکه اتصال مشترک دهلیزی بطنی بین دو بطن به اشتراک گذاشته می شود، آئورت به جای آن که

<sup>۱</sup> - Partial

<sup>۲</sup> - Septum primum

<sup>۳</sup> - Commitment

<sup>۴</sup> - Unwedged

بطن انجام می شود انحتای ستیغ سپتوم بین بطنی و اندازه وشکل هر گونه نقص سپتوم را نشان خواهد داد (ویدئو ۴۳).

TEE 3D با داپلرنگی جریان خون اطلاعات فضایی<sup>۴</sup> بیشتر و محل یا محل های دقیق نارسایی دریچه دهلیزی بطنی را در اختیار قرار می دهد که موجب بهبود برنامه ریزی جراحی برای ترمیم می شود.

### نکات کلیدی

۱. انواع نقص سپتوم بین دهلیزی شامل سکوندوم، پرایموم ، سینوسوریدی و سینوس کرونر است(شکل ۹).
۲. انواع نقص سپتوم بین بطنی شامل پری ممبرانو، ورودی، عضلانی، خروجی و ناهمراستا (آخرین نوع با نقايس کونوترانکال دیده می شود) می باشد(شکل ۱۰).
۳. نقش مهمی در پایش بستن ASD و VSD در آزمایشگاه کاتریسم دارد.
۴. برای ارزیابی پس از عمل جراحی بستن VSD، به ویژه برای تعیین VSD های باقیمانده ، انسداد مجرای خروجی بطن ها، و نارسایی آنورت و همچنین اینکه آیا بازگشت به اندیکاسیون دارد، مهم است.
۵. اساساً TEE در تمام بیماران با AVSD پیش از عمل ، به ویژه در شیرخواربا سن بالاتر کودک که در آنها اتخاذ تصمیم جراحی ممکن است نیازبه مشخص نمودن میزان و مکانیسم نارسایی دریچه دهلیزی بطنی، مکانیسم انسداد مجرای خروجی بطن و یا مناسب بودن بیمار برای اصلاح دوبطنی داشته باشد، اندیکاسیون دارد.
۶. 3D TEE برای بررسی مرفنولوژی ASD و VSD و برای پایش بستن VSD/ASD در آزمایشگاه کاتریسم مفید است. 3D TEE می تواند ارزیابی پیش از عمل نقايس سپتوم دهلیزی بطنی را تسهیل نماید.

AVSD، به استثنای چند مورد را، نشان می دهد.<sup>۱۸۵</sup> TEE پیش از عمل در اساسا برای تمام بیماران با AVSD و به طور خاص در شیرخواربزرگتر یا کودک که تصمیم گیری جراحی ممکن است نیاز به مشخص نمودن میزان و مکانیسم نارسایی دریچه دهلیزی بطنی ، مکانیسم انسداد مجرای خروجی بطن چپ و یا مناسب بودن بیمار برای اصلاح دوبطنی داشته باشد، اندیکاسیون دارد. TEE می تواند ارزش افزوده در مشخص نمودن درناژ سیاهرگ های ششی و سیستمیک به ویژه در هتروتاکسی داشته باشد.

TEE حین عمل و بلافاصله پس از عمل می تواند نقايس باقیمانده که از نظر بالینی قابل توجه هستند را شناسایی نماید، بنابراین موجب تسريع و رفع تاخیردر بازگشت به عروقی هم در ترمیم دریچه طبیعی و هم در کودکان بزرگتر و بالغین برای مداخله مجدد برای بهبود فونکسیون دریچه دهلیزی بطنی یا بستن نقايس باقیمانده سپتوم بدنیال ترمیم قلبی AVSD می گردد.<sup>۱۸۷، ۱۸۶، ۱۱</sup>

**استفاده از 3D TEE در تصویربرداری AVSD.** کسب تصاویر سه بعدی به صورت چند سیکل قلبی و تمام حجم<sup>۱</sup> از نمای ME 4-Ch می تواند مشاهده کامل اتصال دهلیزی بطنی را از هردو سمت دهلیزی و بطنی امکان پذیر نماید و درک روش از ارتباط آناتومیک و جزئیات ظرفیت لث های پیوند دهنده<sup>۲</sup> و جداری<sup>۳</sup> را میسر سازد. نماهای جدید رویه رو از سپتوم دهلیزی و بطنی که با برش و حذف دیواره آزاد

<sup>3</sup> - Mural

<sup>4</sup> - Spatial

۱- Multi-beat full-volume 3D acquisition

۲ - Bridging

## آنومالی های کرونر

اصلی کرونر چپ را به سرخرگ های کرونر چپ قدامی نزولی<sup>۲</sup> و سرکامفلکس نشان می دهد.

**نقش TEE** در منشأ غیر طبیعی سرخرگ کرونر. منشأ غیر طبیعی سرخرگ کرونر از ریشه آئورت.<sup>-</sup> منشأ غیر طبیعی سرخرگ کرونر از سینوس والسالوا طرف مقابل با منشأ شکاف مانند<sup>۳</sup> غیر طبیعی، مسیر داخل جداری<sup>۴</sup> همراه است و ممکن است شامل مسیر بین سرخرگ های بزرگ باشد. TEE می تواند برای تشخیص منشأ غیر طبیعی از سینوس نامناسب بسیار مفید باشد.<sup>۱۸۹.</sup>

(شکل ۱۳ و ویدئو ۴۴) نشان دادن منشأ غیر طبیعی از آئورت نیاز به بررسی دقیق با تصویربرداری دوبعدی و داپلرنگی دارد. از آنجاکه سرخرگ غیر طبیعی غالبا سگمان داخل جداری دارد ، تصویربرداری دوبعدی می تواند نمایی منشأ طبیعی از سینوس مناسب را نشان دهد. در این موارد ، بررسی دقیق دیواره آئورت با داپلرنگی جریان خون باشان دادن جریان خون غیر طبیعی در سگمان داخل جداری اهمیت دارد.<sup>۱۹۳.</sup> داپلرنگی ناحیه باریک غیر طبیعی از جریان خون را نشان می دهد که در دیواره آئورت ظاهر می شود. هنگامی که سرخرگ کرونر از سینوس چپ منشأ می گیرد، نشان دادن مسیر نیاز به چرخاندن زاویه ترنسدوسر رویه جلواز نمای ME AoV SAX تا ۳۰ تا ۵۰ درجه دارد. علاوه بر این ، نمای ME LAX می تواند سطح مقطع سرخرگ کرونر راست رابه صورت گرد بلافصله در جلوی آئورت نشان دهد. برای تصویربرداری سرخرگ کرونر

آناتومی. بررسی کامل سرخرگ های کرونر برای تایید پیش از عمل آنومالی های مشکوک باید شامل سطوح مختلف برای مشاهده اتصالات کرونر به سرخرگ بزرگ و علاوه برآن مسیر و اندازه سرخرگ ها در شیاردهلیزی بطنی<sup>۱</sup> باشد.<sup>۱۸۰-۱۸۸.</sup> برای اثبات اتصالات باید با داپلرنگی جریان خون ارزیابی نمود زیرا گاهی اوقات تصویربرداری دوبعدی گول زننده می تواند باشد. تصویربرداری منشأ سرخرگ های کرونر را می توان اساسا با استفاده از نماهای RV In-Out و ME AoV SAX تصویربرداری عالی از تمام کاسپ های آئورت را امکان پذیر می نمایند و می توانند اتصال به آئورت را نشان دهند. ممکن است برای نشان دادن درست منشأ کرونرها لازم باشد پروب را به سمت جلو خم کرد تا سطح تصویربرداری اندکی بالاتر آید زیرا منشأ سرخرگ های کرونر ممکن است بالاتر از سینوس دریچه آئورت باشد. چرخش رویه جلو زاویه ترنسدوسر بین صفرتا ۲۰ درجه ، همراه با چرخش پروب به سمت راست بیمار مسیر سرخرگ کرونر راست را در شیار قدامی دهلیزی بطنی نشان می دهد. مسیر سرخرگ کرونر چپ به سمت پایین در شیار دهلیزی بطنی چپ قدامی است. با شروع از نمای ME AoV SAX ، با استفاده از زاویه ترنسدوسر ۳۰ تا ۴۰ درجه، پروب اندکی جلوتربرده می شود تا سطح آن پایین تر رود. چرخاندن پروب به سمت چپ بیمار شیار دهلیزی بطنی چپ و دوشاخه شدن سرخرگ

<sup>3</sup> - Slit-like

<sup>4</sup> - Intramural

<sup>1</sup> - AV groove

<sup>2</sup> - Left anterior descending

## نکات کلیدی

۱. تصویربرداری منشأ سرخرگ کرونر اساساً در نماهای ME SAX انجام می شود.
۲. نشان دادن منشأ غیر طبیعی سرخرگ کرونر از سینوس والسالوا سمت مقابل نیاز به بررسی دقیق با تصویربرداری دوبعدی و داپلرنگی دارد.
۳. در ARCAPA و ALCAPA، منشأ غیرطبیعی سرخرگ کرونر از سرخرگ ششی را می توان با استفاده از نماهای ME مشاهده نمود.
۴. باید ناهنجاری های سگمنتال حرکت دیواره، اختلال عملکرد بطن و نارسایی میترال را بررسی نمود.

## نقایص کونوتروانکال

**آناتومی** . نقایص کونوتروانکال گروهی از بیماری های مادرزادی قلبی هستند که از نظر آناتومیک با اتصال غیرطبیعی بطنی-سرخرگی مشخص می شوند و شامل تترالوژی فالو (TOF) ، بطن راست با دومجرای خروجی(DORV)، تنہ شریانی ، جابجاگی سرخرگ های بزرگ از نوع (d-TGA) و (l-TGA) می باشند. این نقایص می توانند به صورت ایزوله یا همراه با هتروتاکسی و قلب های ۱-loop باشند. تعیین مشخصه های آناتومیک به ویژه VSD هم راستایی بطنی - سرخرگی ، آناتومی کونوس و برای تشخیص دقیق ، برنامه ریزی پیش از عمل و ارزیابی پس از عمل اهمیت دارد. هم راستایی بطنی - سرخرگی می تواند طبیعی (TOF) یا مانند TGA، DORV و بطن چپ با دومجرای خروجی (نادر است و اینجا بحث نمی شود) غیرطبیعی باشد. سرخرگ های بزرگ ممکن است

چپ که از سینوس راست والسالوا منشأ می گیرد، زاویه ترنسدوسر را همان اندازه نگه داشته یا به سمت عقب تا صفر تا ۲۵ درجه چرخانده و ترنسدوسر به سمت چپ بیمار چرخانده می گردد.

تصویربرداری کروندر موارد منشأ گیری غیرطبیعی سرخرگ کرونر چپ یا راست از سرخرگ ششی (ARCAPA<sup>۱</sup> و ALCAPA<sup>۲</sup>). همانگونه که در منشأ غیرطبیعی کرونر از آئورت است، بررسی سیستماتیک و دقیق منشأ کرونرها با تصویربرداری دوبعدی ، به علاوه نشان دادن جریان خون با داپلرنگی، برای تشخیص دقیق سرخرگ کرونر غیر طبیعی با منشأ از سرخرگ ششی ضروری است. <sup>۱۹۵، ۱۹۶</sup> باشروع از نمای ME AoV SAX ضروری است. خم کردن پروب به جلو سطح تصویربرداری را بالاتر از سرخرگ ششی می آورد و می تواند بطور مستقیم اتصال غیرطبیعی را نشان دهد. در برخی موارد سرخرگ از لترال منشأ می گیرد و ممکن است نیاز به چرخاندن ترنسدوسر به سمت چپ بیمار برای مشاهده دیواره لترال باشد. علاوه بر این، باید سایر نشانه های مهم این نقایص (به ویژه ALCAPA)، شامل ناهنجاری های سگمنتال حرکت دیواره، اختلال عملکرد بطن، نارسایی میترال و ماهیچه های پاپیلری اکوژنیک و فیبروتیک، بررسی گردد.

<sup>2</sup> - Anomalous origin of the right coronary artery from the pulmonary artery

<sup>1</sup> - Anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery

هایک از انواع نقایص به تفصیل با تمرکز بر عوامل پس از عمل شرح داده خواهد شد.

تترالوژی فالو<sup>۱</sup>. در حال حاضر اکثر بیماران با تترالوژی فالو در دوران شیرخواری عمل می‌شوند و بنابراین ارزیابی پیش از عمل معمولاً با TTE صورت می‌گیرد. گرچه در صورتی که سؤالی مانند وجود های VSD های اضافه، باقی مانده باشد، TEE می‌تواند اطلاعات تکمیلی در اختیار قرار دهد و پس از عمل برای بررسی نقایص باقیمانده مفید است.<sup>۱۹۸</sup>

با شروع از نمای ME 4-Ch<sup>۱۹۹</sup> 5-Ch کشیده می‌شود تا مشخصات وصله و پس از آن بررسی با داپلرنگی از نظر شستن باقیمانده وجهت جریان خون مشاهده شود(شکل ۱۵). عقب کشیدن بیشتر پروب با چرخش آن به سمت راست سپتوم بین دهلیزی رادرزاویه صفر تا ۳۰ درجه برای ارزیابی ASD های باقیمانده نشان می‌دهد. نمای ME RV In-Out<sup>۲۰۰</sup> می‌تواند انسداد باقیمانده مجرای خروجی بطن راست را بررسی کند و نیز از آن می‌توان برای گرفتن حداکثر سرعت نارسایی تریکوسپید برای تخمین فشار سیستولی بطن راست استفاده نمود. انسداد باقیمانده مجرای خروجی بطن راست را در نمای DTG<sup>۲۰۱</sup> RVOT با زاویه ترنسدوسر ۵۰ تا ۹۰ نیز می‌توان ارزیابی نمود. به خاطر سپردن این نکته اهمیت دارد که ممکن است پس از عمل جراحی وضعیت افزایش قدرت انقباضی وجود

جلو-عقب<sup>۱</sup> یا داخلی - جانبی<sup>۲</sup> قرار گرفته باشند. پیوستگی فیبروز<sup>۳</sup> بین سرخرگ بزرگ و دریچه دهلیزی بطئی همراه با آناتومی سپتوم کونال اهمیت دارد. باید سپتوم کونال را در خصوص موارد زیر شرح داد: ۱) محل: زیر پولمونر (طبیعی)، مانند TOF، زیر آئورتی مانند TGA و کونوس دوطرفه مانند انواع DORV، ۲) موقعیت: سپتوم کونال می‌تواند به سمت قدام یا خلف ناهمراستایی<sup>۴</sup> داشته باشد و ۳) اندازه: کونوس می‌تواند هیپوپلاستیک باشد یا وجود نداشته باشد. های همراه می‌تواند زیر آئورتی DORV از نوع TET<sup>۲۰۲</sup> باشد. شکل ۱۴ و ویدئو<sup>۲۰۳</sup>، زیر پولمونر (مانند تترالوژی فالو، شکل ۱۴ و ویدئو<sup>۲۰۴</sup>)، دور<sup>۵</sup> (معمولاً از نوع Taussig-Bing) از نوع DORV کانال<sup>۶</sup> یا ورودی<sup>۷</sup>، ولی می‌تواند عضلانی باشد) یا زیر هردو سرخرگ<sup>۸</sup> (فقدان یا هیپوپلازی کونال سپتوم) باشد. امکان بررسی باز بودن/ انسداد مجرای خروجی، TEE<sup>۲۰۵</sup> های همراه، ارتباطات باقیمانده در سطح دهلیزها، نارسایی دریچه دهلیزی بطئی یا نیمه هلالی<sup>۹</sup> و فونکسیون بطن را می‌دهد. بطورکلی یک نکته مهم در نقایص کونوترانکال وجود باقیمانده اینترامورال (ارتباطی که در جلوی وصله بین سرخرگ بزرگ و ترابکولاسیون های بطن راست قرار دارد) است. این نقایص از نقایص اطراف وصله که شایع تر هستند، متفاوت است و تشخیص آنها اهمیت دارد. زیراتما میل دارند به مرور زمان بزرگ شوند و با بدترین پیش آگهی ها پس از عمل همراه هستند.<sup>۱۹۶</sup>

<sup>۶</sup> - Canal type

<sup>۷</sup> - Inlet

<sup>۸</sup> - Doubly committed

<sup>۹</sup> - Semilunar

<sup>۱</sup> - Anteroposterior

<sup>۲</sup> - Mediolateral

<sup>۳</sup> - Fibrous continuity

<sup>۴</sup> - Malalignment

<sup>۵</sup> - Remote

تنه مشترک شریانی ( که به آن تنه شریانی اطلاق می شود). ارزیابی پیش از عمل تنه شریانی عمدتاً با اکوکاردیوگرافی ترنس توراسیک انجام می شود، گرچه TEE می تواند اطلاعات بیشتر در رابطه با آناتومی و فونکسیون دریچه تنه شریانی VSD های اضافه، و منشاً شاخه های سرخرگ ششی به علاوه‌ی بررسی کامل نقایص باقیمانده پس از عمل را در اختیار قرار دهد. عقب کشیدن پروب از موقعیت نزدیک به ترنس گاستریک به موقعیت ME با ترنسدوسر درزاویه صفر درجه وصله VSD را نشان می دهد که باداپلرنگی از نظر شست باقیمانده و جهت ME RV جریان خون مورد بررسی قرار می گیرد. نمای In-Out ابرای نشان دادن نشت باقیمانده از اطراف وصله مفید است. به علاوه، این نما با چرخش پروب در خلاف جهت عقره های ساعت به سمت چپ بیمار بهترین نما برای دیدن کاندؤئی از بطن راست به سرخرگ ششی است (شکل ۱۶). چرخاندن پروب به نمای طولی آئورت سعودی در سطح وسط مری و عقب کشیدن آن تا سطح نمای مقطع عرضی کمان آئورت در قسمت فوقانی مری، دیستال ترین قسمت کاندؤئی در قسمت اتصال به شاخه های سرخرگ ششی را نشان خواهد داد. چرخش روبه عقب به صفرتا ۱۰ درجه، با استفاده از نمای UE PA مشاهده خوب سرخرگ ششی راست را امکان پذیر می نماید ولی دیدن سرخرگ ششی چپ در برخی از بیماران می تواند دشوار باشد و ممکن است نیاز به چرخش روبه جلو تازاویه ۹۰ درجه با چرخش ME AoV LAX پروب به سمت چپ داشته باشد. در نمای

داشته باشد بنابراین اگرانسداد دینامیک و نه انسداد ثابت باشد نیاز به اصلاح دوباره جراحی ندارد.<sup>۲۰</sup>

بطن راست با دومجرای خروجی-TEE پیش از عمل می تواند کمک به تعیین محل و اندازه VSD ها، ارتباط سرخرگ های بزرگ با یکدیگر و با VSD، کوچک شدن VSD ها، آناتومی دریچه های دهلیزی<sup>۱</sup> در سطح VSD ها، آناتومی دریچه های دهلیزی بطنی (به عنوان مثال سوارشدن دریچه ببروی هردوبطن<sup>۲</sup>) و آنومالی های کرونر درجهت کمک به تعیین استراتژی مطلوب جراحی بنماید. نمای ME 5-Ch با خم کردن پروب به سمت جلو سرخرگ های بزرگ را که از بطن راست ME AoV LAX مشاهده مجرای خروجی بطن چپ و مسیر بالقوه به آئورت را امکان پذیر می نماید. در یک ترمیم فیزیولوژیک دوبطنی، یک وصله VSD به گونه ای قرار می گیرد که مجرای خروجی بطن چپ را به آئورت ارتباط دهد و در بررسی این ناحیه باید دقیق زیرا انسداد قابل توجه ناشی از کونوس زیر آئورت یا وصله VSD امکان پذیر است. در بیماران با VSD و TGA ( آنومالی Taussig-Bing)، وصله DORV به گونه ای قرار می گیرد که مجرای خروجی بطن چپ را به سرخرگ ششی هدایت نماید و بدنبال آن عمل جابجایی سرخرگ های بزرگ انجام می شود. در تمام نقایص کونوترانکال نمای 5-Ch DTG و RVOT مشاهده سرخرگ های بزرگ و ارتباط آنها با VSD را میسر می نمایند.

<sup>2</sup> - Straddling

<sup>1</sup> - Restriction

از این نظر کمک کننده است که تعیین شود آیا جریان خون کافی یا باریک شدگی در تصویربرداری دو بعدی که اختلال عملکرد بطن را توجیه نماید وجود دارد. نواحی فوق دریچه ای (همچنین شاخه های سرخرگ ششی، که در قدام قرار دارند و بروی آئورت سعودی سوارشده اند<sup>۲</sup>) با عقب کشیدن پروب به نمای UE PA و چرخش آن در سطح ME به نمای ME AoV LAX مورد بررسی قرار می گیرند. از آنجا که در حین پروسیجر ممکن است آسیب دریچه رخداده، تعیین فونکسیون دریچه آئورتی جدید و پولمونرجدید اهمیت دارد. با کاهش مقیاس<sup>۳</sup> داپلرنگی جریان خون، می توان جریان خون کرونر را نیز در برخی موارد مشاهده نمود.

d-TGA<sup>۴</sup> - در مواردی از Rastelli d-TGA که با VSD ناهمراستا به سمت خلف<sup>۵</sup>، تنگی مجرای خروجی بطن چپ (زیر پولمونر/ تنگی دریچه ششی) همراه است، ممکن است سایر گزینه های جراحی شامل عمل راستلی (ایجاد توغل داخل قلبی از بطن چپ به آئورت که در سمت راست قرار دارد) همراه با گذاشتن کاندوئی از بطن راست به سرخرگ ششی را در نظرداشت. TEE پس از عمل باید شامل بررسی از نظر VSD باقیمانده، اطمینان از یک مسیر بدون انسداد از بطن چپ به آئورت، و ارزیابی فونکسیون کاندوئی بطن راست به سرخرگ ششی به گونه ای مشابه آنچه در تنه شریانی، DORV، و تترالوژی فالو شرح داده شد، باشد.

یا 5-Ch می توان مسیر بطن چپ به دریچه تنہ شریانی را مشاهده نمود که همراه با نمای ME AoV SAX ارزیابی تنگی و نارسایی دریچه تنہ شریانی را میسر می سازد.<sup>۶</sup> نماهای DTG (RVOT و 5-Ch)، هنگامی که قابل دسترسی باشند، می توانند مشاهده مجرای خروجی بطن چپ و قسمت پروکسیمال کاندوئی از بطن راست به سرخرگ ششی را، علاوه برزاویه عالی برای ارزیابی داپلر طیفی، امکان پذیر سازند. نماهای ME Asc Ao SAX و UE PA بهترین نماها برای نشان دادن سرخرگ های ششی هستند.

d-TGA با جابجایی سرخرگ ها بزرگ.- در d-TGA دیواره بین بطی سالم، اگر سرخرگ های کرونر با TTE خوب مشخص شده باشند، ممکن است TEE پیش از عمل نیازنباشد، ولی این بر حسب موسسه متفاوت است.<sup>۷</sup> در TEE پس از عمل باید از بازبودن مجرای خروجی بطن راست و چپ پس از قطع و جابجا نمودن سرخرگ های بزرگ اطمینان حاصل نمود، فونکسیون موضعی و گلوبال سیستولی بطن پس از انتقال سرخرگ های کرونر را تعیین کردو ارزیابی شنت های داخل قلبی باقیمانده را انجام داد. نمای ME 4-Ch ارزیابی گلوبال عملکرد بطن را میسر می سازد. نماهای Mid Pap SAX و TG Basal شناسایی ناهنجاری های حرکت دیواره حاکی از انسداد کرونر، که می تواند هنگام انتقال آن به آئورت جدید (ایجاد شده باشد، را میسر می سازد.<sup>۸</sup> کوشش در تصویربرداری کرونر غالبا

<sup>3</sup> - Scale

<sup>4</sup> -Posterior malalignment VSD

<sup>1</sup> - Neoaorta

<sup>2</sup> - Straddling

، ارزیابی از نظر ترومبوز داخل قلبی، غالباً پس از سکته مغزی

در موارد تاکی آریتمی قبل از کاردیوورژن اندیکاسیون دارد.

همانگونه که قبل از بحث در قلب طبیعی، معمولاً بررسی

از نظر ترومبوز در گوشک دهلیز چپ انجام می شود، گرچه،

در بیماری که عمل جابجایی دهلیز شده است گوشک دهلیز

چپ بخشی از مسیر سیاهه‌گی سیستمیک است. بنابراین

وجود ترومبوز در مسیر سیاهه‌گی ششی نیز باید رد شود.<sup>۳</sup>

*TGA* /صلاح شده مادرزادی (همچنین به عنوان *I-TGA*

نیز شناخته می شود).- ارزیابی پیش و پس از عمل نیاز به

بررسی مشابه آنچه برای سایر بیماریهای کونوترونکال

ذکر گردید، دارد. به ویژه، ارزیابی قبل از عمل شامل بررسی

دریچه دهلیزی بطنی سیستمیک می شود زیرا

مالفورماسیون شبیه ابشتین بطور شایع در دریچه

تریکوسپید که در سمت چپ قرار گرفته است، وجود دارد.

هنگامی که ترمیم شامل ترمیم آناتومیک یا جابجایی

دوتایی<sup>۴</sup> می شود، ارزیابی پس از عمل تمام جوانب

جابجایی دهلیزها و سرخرگ ها را که پیش از این بحث

شد، مورد بررسی قرار می دهد.

استفاده از *TEE 3D* در بیماری های کونوترونکال.

نمایی که *VSD*، مجراهای خروجی، و دریچه های نیمه

هلالی را نشان می دهند می توان به صورت جداگانه یا

بدنبال یکدیگر با استفاده از *3D* زنده با قطاع باریک متتمرکز

<sup>۵</sup> آنالیز نمود. به عنوان مثال، *ویدئو* سه بعدی<sup>۶</sup>، بیماری با

*d-TGA* با جابجایی دهلیزها (پروسیجر *Senning* یا

*Mustard*).- بررسی کامل جابجایی دهلیزها را می توان

از نمای سیاهه‌گ های اجوف تحتانی / کبدی با نشان دادن

شاخه تحتانی<sup>۱</sup> بافل سیاهه‌گ های سیستمیک که جریان

خون را به بطن چپ زیر پولمونر هدایت می کند، آغاز نمود

(*ویدئو*<sup>۲</sup>).<sup>۴۶</sup> همچنانکه پروب بتدریج تا نمای *ME 4-*

*Ch* عقب کشیده می شود مسیر سیاهه‌گ ششی که به بطن

راست سیستمیک متصل می شود، دیده می شود(*شکل ۱۷*)

*ویدئو*<sup>۴۷</sup> بیشتر عقب کشیدن پروب تا قسمت فوقانی

مری ( سطح ۳۰ تا ۴۵ درجه) شاخه فوقانی بافل سیاهه‌گ

*ME Bicaval* سیستمیک را آشکار می نماید. نمای

مشاهده هردو شاخه تحتانی و فوقانی بافل سیاهه‌گ

سیستمیک را امکان پذیر می سازد. با چرخش پروب در

جهت خلاف عقره های ساعت، می توان مسیر سیاهه‌گ

ششی را نیز در نمای *ME Bicaval* مشاهده نمود. بررسی

دابلر جریان خون طغیانی مداوم<sup>۲</sup> امکان تخمین گردانی

فشاری در مسیر مسدود را فراهم می نماید. نمای *DTG*

*Atr Sept* زاویه عالی برای بررسی دابلر بازگشت وریدی ،

به ویژه مسیر سیاهه‌گی ششی فوقانی را فراهم می سازد.

باید با استفاده از دابلر رنگی محل و اندازه نشت بافل راهنمراه

با بررسی با سالین *agitated* ارزیابی نمود. تصویربرداری

دو سطحی همزمان با در اختیار قرار دادن نمای عمودی

بررسی مسیرهای دهلیزی را بهبود می بخشد. علاوه بر این

<sup>۴</sup> - Double switch

<sup>۵</sup> - Focused narrow-sector live 3D

<sup>۱</sup> - Inferior limb

<sup>2</sup> - Continuous turbulent flow

<sup>3</sup> - Excluded

## نکات کلیدی

۱. نقایص کونوتروانکال شامل تترالوژی فالو (TOF)، بطن راست با دومجرای خروجی (DORV)، تنه شریانی، جابجایی سرخرگ های بزرگ از نوع d-TGA و جابجایی سرخرگ های بزرگ از نوع I-TGA است.
۲. ارزیابی آناتومیک باید شامل موقعیت سرخرگ های بزرگ (جلوعقب، داخلی جانبی) به علاوه محل سپتوم کونال (زیر پولمونر، زیر آئورت یا دوطرفه)، موقعیت (قادمی یا خلفی) و اندازه آن (هیپوپلاستیک یا فقدان) باشد. VSD را می توان به زیرآئورتی، زیر پولمونر، دور یا زیرهodo سرخرگ بزرگ تقسیم نمود.
۳. برای تمام بیماری های کونوتروانکال، TEE امکان بررسی پیش و پس از عمل بازبودن انسداد مجرای خروجی، VSD های باقیمانده (شامل VSD های داخل جداری)، ارتباط های باقیمانده درسطح دهلیزها، نارسایی دریچه دهلیزی بطی یا نیمه هلالی و فونکسیون دهلیزها، در مواد مناسب می توان انسدادها یا نشت بافل های دخل دهلیزی را با 3D زنده با قطاع باریک، اکو دو بعدی یا کسب تمام حجم (full volume acquisition) بررسی نمود.
۴. 3D TEE را می توان برای بهتر مشخص نمودن VSD / آناتومی مجرای خروجی و مرفو لوزی افونکسیون دریچه های نیمه هلالی بکاربرد. در موارد مناسب می توان انسدادها یا نشت بافل های دخل دهلیزی را با 3D زنده با قطاع باریک، اکو دو بعدی یا کسب تمام حجم

بطن راست با دومجرای خروجی از نوع Taussig- Bing رانشان می دهد که تحت عمل جراحی جابجایی سرخرگ ها و بستن VSD قرار گرفته است. علاوه براین، بدست آوردن حجم کامل سه بعدی از نمای ME 4- DTG 5-Ch Ch یا 6-Ch و بدن بال بریدن تصاویر روی دستگاه یا به صورت آفلاین بسیار مفید است. تصویربرداری متمنکر از انسداد یا نشت بافل داخل دهلیزی را می توان به صورت مؤثر با 3D زنده با قطاع باریک و اکو کاردیوگرافی دوسطحی با نقشه برداری داپلرنگی جریان خون انجام داد. تصویربرداری تمام بافل نیاز به کسب تمام حجم سه بعدی و برش دارد.<sup>۲۰۷-۲۰۸</sup>

## ٢- تک بطن پیچیده

آناتومی. تک بطن شامل تعدادی از مرفو لوزی های قلبی متفاوت می شود که بطن زیر پولمونر یا بطن زیر آئورت درست تشکیل نشده است، ورودی بطن ناقص است یا تشکیل نشده یا خروجی آن تنگ است یا وجود ندارد. صرف نظر از مرفو لوزی زمینه ای، هدف از مداخله جراحی و یا مداخله از طریق کاتتر اتصال بطن باقیمانده فونکسیونال با یک خروجی به گردش خون سیستمیک و دریافت خون

<sup>۱</sup> - 3D full-volume acquisition

<sup>2</sup> - Complex single ventricle

که این پروسیجر با بازسازی کمان آئورت همراه می شود به آن پروسیجر Norwood می گویند. بهترین نماها برای دیدن آناستوموز DKS، درست در بالای دریچه های نیمه هلالی از طریق نماهای ME Asc Ao و ME Aov LAX و هلالی از طریق (شکل ۱۸ و ویدئو ۵۰). بهترین نما برای دیدن آئورت جدید، نمای ME AoV LAX می باشد. نماهای ME Asc Ao اضافی کمان آئورت و آئورت نزولی شامل UE Ao arch LAX ، با چرخش پروب در جهت یا در خلاف جهت عقربه های ساعت برای مشاهده کمان آئورت و نمای مقطع عرضی و طولی آئورت نزولی هستند.

**نقش TEE در ارزیابی Glenn.** مرحله ۲ بازسازی ، آناستوموز کاوبولمونری<sup>۴</sup> فوکانی یا پروسیجر گلن، آناستوموز بین SVC و سرخرگ ششی راست، سرخرگ ششی چپ یا هردو است. غالبا مشاهده آناستوموز گلن با TEE دشوار است اما این امکان ارزیابی هرگونه باریک شدگی یا جریان خون طغیانی در محل آناستوموز به سرخرگ ششی را فراهم می نماید. بهترین نماها برای اتصال گلن در قسمت میانی تا فوکانی مری (نمای مقطع Asc Ao ) با چرخش در جهت یا خلاف جهت عقربه های ساعت ، بر حسب اینکه گلن در سمت راست یا چپ است، می باشند. به علاوه، در مواردی که درصد اشباع اکسیژن خون به صورت مداوم کمتر از

توسط سرخرگ ششی از سرو بدن به صورت پاسیو از طریق اتصال سیاهرگ های اجوف به سرخرگ ششی است (SVC و IVC) بطور مستقیم به سرخرگ های ششی درناز می شوند).

**نقش TEE در تسکین نخستین<sup>۱</sup> برای تک بطن ها.** نقش TEE به صورت روتین در تک بطن های پیچیده در درجه اول بستگی به وضعیت پیش از عمل و مرحله جراحی دارد. عمل تسکینی نخستین (مرحله ۱) نیاز به ایجاد منبع جدیدی برای جریان خون ششی از طریق شانت مدیفیه Blalock-Taussig ، شانت مرکزی یا شانت سانو یا محدود کردن جریان خون ششی بوسیله باند سرخرگ ششی<sup>۳</sup> دارد. مشاهده و ارزیابی شانت و شاخه های سرخرگ ششی غالبا دشوار است، ولی می توان با استفاده از نماهای Ao arch SAX ، UE Ao arch LAX و سرخرگ ششی انجام داد. بهترین نماها برای ارزیابی داپلر طیفی باند سرخرگ ششی نمای UE PA DTG RVOT یا با توجه به هم راستای آنها (با پرتو اولتراسوند) می باشند. در بیماران با انسداد در آئورت طبیعی (مانند سندرم قلب چپ هیپوپلاستیک ، ویدئو ۴۹)، مرحله ۱ نیاز به ساختن آئورت جدید با پروسیجر Damus-Kaye-Stansel(DKS) دارد.

**پروسیجر DKS آناستوموز بین سرخرگ ششی اصلی طبیعی و آئورت سعودی است، که عبور خون را از مجرای خروجی سیستمیک از طریق آئورت طبیعی یا سرخرگ ششی اصلی طبیعی برای تحويل به مغز و بدن میسر می نماید. هنگامی**

<sup>3</sup> - PA band

<sup>4</sup> - Cavopulmonary

<sup>1</sup> - Initial palliation

<sup>2</sup> - Sano shunt

تاختزیادی یا بطور کامل با TEE دو بعدی و سه بعدی انجام داد. در نهایت، تمام نماها که ساختمان های داخل قلب را نشان می دهند شامل، ولی نه محدود به، ME 4-Ch، RV In-Out و LAA را برای ارزیابی از نظر وجود ترومبوز می توان بکار برد.<sup>۲۱۰-۲۱۲</sup>

**فونکسیون** تک بطن. سنجش فونکسیون بطن تک هنوز دشوار است. فونکسیون ممکن است بین قلب های تک بطنی با مرفو لوزی بطن چپ و راست متفاوت باشد.<sup>۲۱۳</sup> تغییرات مهمی از نظر شرایط حجمی پیش و پس از عمل تسکینی گلن و فانتن وجود دارد که بر روی فونکسیون سیستولی اثر می گذارد. آن استوموز کاووپولمونر فوقانی منجر به کاهش چشمگیر پیش بار در قلب تک بطنی می شود. فونکسیون بطنی ممکن است به صورت حد کاهش یابد و سپس در عرض چند ماه، با remodeling بطنی، طبیعی گردد.<sup>۲۱۴</sup> عمل فانتن موجب کاهش پیش بار و متعاقب آن کاهش فونکسیون قلب می گردد، با این حال remodeling بطن متعاقب آن و طبیعی شدن اندازه و فونکسیون بطن در فانتن بر حسب سن و میزان اضافه بار حجمی پیش از فانتن متفاوت است.<sup>۲۱۵</sup> بررسی کیفی در چندین سطح عمود برهم در نماهای TG ، ME 4-Ch ، TG LAX Mid Pap SAX یا مخصوصاً EF بدست آمده در MRI اکوکاردیوگرافی و کسر جهشی (Simpson) در ضعیفی بین ارزیابی ژئومتریک فونکسیون تک بطن ( با روش مدیفیه شده دوسطحی ) در

طبیعی است، می توان ترومبوز در اتصال کاووپولمونر را با TEE (زو درس یا دیر) رد نمود.

نقش در ارزیابی فانتن. مرحله ۳ بازسازی، عمل فانتن، خون IV C را به گردش خون ششی با استفاده از ایجاد توعل جانبی داخل قلبی یا کاندؤی خارج قلبی هدایت می کند، گرچه هنوز تعدادی اتصال بین دهلیزی ششی در بیماران با ACHD وجود دارد.<sup>۲۰۸-۲۰۹</sup> نخستین ارزیابی اتصال کاووپولمونر فانتن با استفاده از نمای ME 4-Ch است. از این موقعیت پروب به جلو به موقعیت TG برده می شود تا IV C در درون کبد دیده شود. سپس پروب را عقب کشیده تا فانتن در مقطع عرضی مشاهده گردد. تغییر زاویه ترنسدوسور به ۹۰ درجه در این وضعیت (ترنس گاستریک سیاهرگ اجوف تحتانی / سیاهرگ های کبدی) امکان مشاهده بافل را به صورت طولی فراهم می کند و چنانکه پروب به عقب به نمای ME Bicaval کشیده می شود، قسمت بیشتری از مسیر فانتن دیده می شود (). اضافه نمودن داپلرنگی و طیفی می تواند منفذ فانتن<sup>۱</sup> یا شانت با قیمانده راست به چپ را بررسی نماید و در صورت نیاز، تزریق سالین agitated از پایین دیافراگم به درون گردش خون سیاهرگی سیستمیک می تواند کمک کننده باشد. این نکته مهم است که تهویه مکانیکی با فشار مثبت برای TEE زیر بیهوشی عمومی ممکن است مانع از بازگشت وریدی به قلب شود و باید در این گروه از بیماران احتیاط کرد. می توان هدایت بستن مداخله ای<sup>۲</sup> با وسیله یا ایجاد منفذ فانتن را

## نکات کلیدی

۱. نقش در تک بطن پیچیده بستگی به آناتومی زمینه ای و مرحله عمل تسکینی جراحی دارد: (۱) Damus-Kaye-Stansel (DKS) یا پروسیجر Norwood با شانت ، Sano یا شانت Blalock-Taussig مدیفیه پروسیجر کاپوپولومونزوفوکانی (گلن) ، (۳) عمل کاپوپولومونز کامل (فانتن)
۲. در آناستوموز DKS بهترین نماها ME AoV LAX و ME Asc Ao LAX است و درست بالای دریچه های نیمه هلالی قرار دارد. غالبا مشاهده و ارزیابی شانت و شاخه های سرخرگ ششی دشوار است ولی می توان با استفاده از نماهای Ao arch SAX، UE Ao arch LAX و سرخرگ ششی (PA) انجام داد.
۳. مشاهده آناستوموز گلن با TEE غالبا دشوار است ولی امکان بررسی هرگونه باریک شدگی یا توربولانس در محل آناستوموز به سرخرگ ششی را می دهد. بهترین نماها UE Ao arch SAX و Asc Ao LAX
۴. TEE در بیمار فانتن امکان بررسی ترومبوز، منفذ باقیمانده فانتن، فونکسیون دریچه دهلیزی بطنی و فونکسیون بطن را می دهد. بررسی مسیر فانتن در دو نمای ME Bicaval و ME 4-Ch کاندوئی را از IVC اتا سرخرگ ششی مشاهده نمود.
۵. بستن مداخله ای با وسیله یا ایجاد منفذ فانتن با TEE دو بعدی و سه بعدی هدایت می شود. TEE را می توان برای ارزیابی از نظر ترومبوز در دهلیز و کاندوئی فانتن و فونکسیون دریچه دهلیزی بطنی بکاربرد.

وجود دارد.<sup>۲۱۶</sup> ممکن است اندکس های غیر ژئومتری

بهترین روش برای اندازه گیری فونکسیون بطن به صورت

عینی و قابل تکرار باشد.

**استفاده از 3D TEE در تک بطن.** در بیمار تک بطن ، در صورتی که اندازه بدن بیمار بیش از ۳۰ کیلوگرم باشد تا امکان فروبردن پروب را بدهد، استفاده از 3D TEE تقریباً بطور کامل پس از پروسیجر فانتن انجام می شود. غالبا نیاز به هدایت کردن پروسیجر کاتتریسم مداخله ای، آنالیز از نظر ترومبوز در دهلیز و درمسیر فانتن ، بررسی فونکسیون دریچه دهلیزی بطنی وجود دارد. فانتن ، اگر خیلی بزرگ نباشد، را می توان با استفاده از نمای طولی 3D زنده با اتصال قطاع باریک که امکان آنالیز سریع و بدون آرتیفیکت بخیه ای را می دهد، تصویربرداری نمود. در بیمارانی که اتصال دهلیز به سرخرگ ششی دارند، کسب تمام حجم با برش بهترین گزینه است. اخیرا، تصویربرداری ترکیبی<sup>۲</sup> 3D TEE و آنژیوگرافی امکان استفاده از هر دو روش را با میزان کمتر دوز کل اشعه می دهد.<sup>۲۱۷</sup>

<sup>۱</sup> - Stitch artifact

<sup>۲</sup> - Fusion imaging

## پیشرفت های آینده

پیشرفت های قابل توجه در چند سال اخیر در تکنولوژی TEE از نظر سخت افزاری و نرم افزاری بطور مستقیم کودکان را تحت تاثیر قرار داده است. ایجاد ترنسدوسرهای سه بعدی TEE توسط اکثر فروشندهای بزرگ بررسی کودکان بزرگتر و بیماران ACHD را تسهیل نموده است. به همین ترتیب، امکان ارزیابی اتوماتیک یا نیمه اتوماتیک فونکسیون به صورت سه بعدی، حرکت دیواره و strain بطن نه تنها توانایی مراقبت از بیماران را افزایش داده است، بلکه در کمتر از مکانیک قلب در شرایط سلامت و بیماری افزایش داده است. با این وجود، محدودیت ها باقی میمانند و شامل آنالیز کمتر از حد مطلوب داپلرنگی 3D نبودن پرور 3D برای بیماران کودک، و نبودن پرور TEE با کیفیت بالا برای کوچکترین نوزادان در تمام دستگاهها هستند.

ایجاد پرور. محدودیت های بالاچالش های طراحی را که مانع تکامل پرور اولتراسوند از نظر فیزیک اولتراسوند می شود را نشان می دهد. پرور کنونی چند سطحی میکرو، برخلاف پرور استاندارد TEE کودکان که ۶۴ المان دارد، دارای ۳۲ المان است.<sup>۱۹</sup> این موجب محدودیت در کیفیت تصویر پرور می شود. دریک پرور بسیار کوچک چند سطحی قابل عبور از مری نوزاد کوچک تر نیاز به حفظ تعادل بین اندازه ترنسدوسر و نیاز به کیفیت عالی تصویر است. گرچه پیشرفت های تکنولوژی کامپیوتر موجب کوچک شدن اندازه لوازم الکترونیک و کامپیوتراها شده است، برخی از این کوچک کردن ها را نمی توان بطور مستقیم درمورد تصویربرداری انجام داد. وضوح تصویر نه تنها به تعداد المان ها و فرکانس ترنسدوسر، بلکه به اندازه روزنه ۱ پرور که متناسب با اندازه المان است دارد.<sup>۲۱۸</sup> بنابراین

کوچک کردن اندازه پرور در نهایت منجر به محدود کردن تعداد یا اندازه المان ها می گردد که این موجب محدودیت دروضوح تصویریا سایر جنبه ها مانند توانایی کنترل<sup>۲</sup> سطح آرایه ها<sup>۳</sup> با دست<sup>۴</sup> می گردد. از سوی دیگر، ممکن است پرور 3D برای بیماران کودک امکان پذیر باشد. آرایه های سه بعدی<sup>۵</sup> درست شده اند که در درون کاتر اکوکاردیوگرافی داخل قلبی جا می شوند، هر چند تعداد آنها محدود است.

<sup>۲۲۰-۲۱۹</sup> واضح است که حرکات این آرایه را نمی توان با دست کنترل نمود و تنها در سطح طولی (۹۰ درجه) وجود دارد، با این وجود، احتمال اینکه بتوان یک آرایه سه بعدی را در درون آندوسکوپی با اندازه مناسب برای شیرخوار، اگر نه بیمارنوزاد، قرار داد، افزایش می دهد.

چاپ سه بعدی/ حقیقت مجازی. این امید وجود دارد که ایجاد پرینترهای سه بعدی تاثیر قابل توجه بررسی جامعه TEE<sup>۶</sup> بگذارد. نشان داده است که آلگوریتم های مبتنی بر MRI و CT در برنامه ریزی جراحی دسته ای از بیماری های مادرزادی قلبی مفید است.<sup>۲۲۳-۲۲۱</sup> نشان داده شده است با اکوکاردیوگرافی سه بعدی، پرینت مدل های دقیق امکان پذیر است ولی با بهبود وضوح فضایی و زمانی<sup>۷</sup> اکوکاردیوگرافی سه بعدی ازراه مری و افزایش سرعت پرینت و کاهش هزینه، این امکان وجود دارد که پرینت جزء استاندارد بررسی پیش از عمل گردد.<sup>۲۲۶-۲۲۴</sup>

کاربردهای حقیقت مجازی (VR) در پژوهشکی به سرعت روبه گسترش به سوی حوزه بیماری های مادرزادی قلبی است. از VR برای ایجاد مدل های سه بعدی مجازی برای آموزش و برنامه ریزی برای جراحی استفاده می شود.<sup>۲۲۷</sup> <sup>۲۲۹</sup> توانایی ایجاد مجموعه داده های سه بعدی دقیق این احتمال را ایجاد می کند که ساختن مجموعه داده های VR نه تنها برای آموزش، بلکه بالقوه برای ساختن سریع مدل

<sup>۵</sup> - Three-dimensional arrays

<sup>۶</sup> - TEE community

<sup>۷</sup> - Spatial and temporal resolution

<sup>۱</sup> - Aperture size

<sup>۲</sup> - Manipulate

<sup>۳</sup> - Array plane

<sup>۴</sup> - Manipulate the array plane

است، بود. با توجه به تنوع آناتومیک بسیاری که در بیماری های مادرزادی قلبی وجود دارد، این دستورالعمل ها به عنوان نقطه آغازی هستند که پس از آن ممکن است اقدامات اضافه برای بدست آوردن اطلاعات اساسی برای اتخاذ تصمیم بالینی در هر بیمار ضروری باشد.

ما کوشش کردیم تا بخش زیادی از بیماری های مادرزادی قلبی را به صورت خلاصه در جدول ۷ برای سهولت استفاده به اختصار رائه نماییم. با تداوم بکارگیری تکنولوژی های جدید و پیشرفته با هدف کوتاه نمودن زمان اکتساب<sup>۴</sup>، بهبود دقق و صحت و ارتقا آنالیز موجب فواید بیشتر این روش تصویربرداری درجهت مراقبت از بیمار و تقویت نقش حیاتی آن در موارد بالینی مختلف گردد.

### داده های تكميلي

داده های تكميلي مربوط به اين مقاله را می توان در

<https://doi.org/10.1016/j.echo.2018.0.016>.

يافت.

های سه بعدی در اتاق عمل برای برنامه ریزی و تشخیص صورت گیرد.

آنالیز تصویر. آنالیز خودکار تصویر این پتانسیل را دارد که نه تنها زمان اسکن را کوتاه نماید بلکه دقق و آنالیز اکوکاردیوگرام را بهبود بخشد. نشان داده شده است که کسرجهشی سه بعدی<sup>۱</sup> با اکوکاردیوگرافی به روش های استاندارد برتری دارد ولی براساس تعریف نیاز به پروب سه بعدی دارد.<sup>۲۳۰</sup> فروشنده‌گان شروع به فراهم کردن قابلیت strain و EF و خودکار کرده اند. با این وجود، مجموعه داده های سه بعدی حاوی اطلاعات زیادی درباره جریان خون است که مورد استفاده قرار نگرفته و می توان آن را به مناطق خاص قلب لوکالیزه کرد. این اطلاعات این پتانسیل را دارد که به اکوکاردیوگرافی امکان رائه اطلاعات جریان خون، مانند حجم های حفرات به صورت همزمان، جریان خون دریچه ای و کسر نارسایی<sup>۲</sup>، اندازه گیری جریان خون موضعی و کسر شانت<sup>۳</sup> را که در حال حاضر فقط با MRI امکان پذیر است را بدهد. علاوه براین، این مجموعه داده ها این قابلیت را دارد که strain موضعی و گلوبال اتوماتیک، به علاوه اطلاعات پیشرفته درباره torsion بطن چپ را فراهم نماید. چنانچه فروشنده‌گان موارد مصرف مجموعه داده ها را افزایش می دهند، سیستم های اولتراسوند می توانند کارهایی مانند اندازه گیری و ارزیابی جریان خون را انجام دهند و به کلینیسین ها این امکان را بدهند تا برروی آناتومی و فیزیولوژی تمرکز نمایند تا اطلاعات تشخیصی پیشرفته بدست آورند.

### نتیجه

اکوکاردیوگرافی از راه مری در کودکان و بیماران با بیماری مادرزادی قلبی یک رشته بی نظیر و متمایز است. هدف از این سند رائه مرور عمیق آنچه برای انجام این پروسیجر لازم

<sup>3</sup> - Shunt fraction

<sup>4</sup> - Acquisition time

<sup>1</sup> - Three-dimensional EF

<sup>2</sup> - Regurgitant fraction

### جدول ۳ دستورالعمل های آموزش و حفظ توانمندی

جزء	هدف	مدت	تعداد موارد
اکوکاردیوگرافی	تجربه پیشین در انجام / تفسیر TTE	۶ ماه یا معادل آن	حداقل ۴۵۰ مورد در تمام گروه های سنی
اینتوباسیون مری (اگر بخشی از کاراست)	قرار دادن پروب TEE	متغیر	۲۵ مورد (۵۰٪ زیر سن ۲ سال)
انجام TEE	هدف	متغیر	۵۰ مورد
تجربه TEE مداوم	حفظ توانمندی	سالیانه	۲۵ تا ۵۰ مورد در سال یا بدست آوردن متغیرهای پیامدی تایید شده توسط آزمایشگاه

تغییر داده شده از Ayres و همکاران<sup>۱۱</sup>

#### جدول ۴ مراحل مراقبت از پروب TEE

	پاک کردن با دستمال نرم <sup>۱</sup> در همان محل انجام
سپس پروب باید در درون یک محفظه که از تمامیت نوک انتهایی شکننده آن محافظت می نماید و بعلاوه مانع آلوده کردن با ترشحات روی پروب می گردد، قرار داده شود. این اقدام انتقال ایمن به محل پاک سازی و ضدغونی را امکان پذیر می سازد.	حمل در محفظه
یک سیکل شستن اولیه با مواد پاک کننده آنزیم دار از روی پروب، باید با باردیگری از تمیز کردن آنزیماتیک و شستن طولانی دنبال شود.	پاک کردن
برای پیشگیری از رقیق شدن ماده ضدغونی کننده از دستمال خشک کننده عاری از کتان استفاده کنید.	خشک کردن با دست
موجب ارتقا ایمنی بیمارمی شود و اکنون برای اعتباربخشی IAC لازم است.	آزمایش نشت الکتریسیته
ضدغونی کردن سطح بالا با دست یا اتوماتیک با مستندات. فرآیند دستی نیاز به رعایت اکید زمان خیساندن پروب و شستشو برای پیشگیری از آسیب به پروب و سوختگی های شیمیایی دارد.	ضدغونی کردن
دستورالعمل های شرکت تولیدکننده ماده ضدغونی کننده و توصیه های کمیسیون مشترک <sup>۲</sup> برای کیفیت آب را انجام دهید.	شستشو
پروب ها را باید دریک کابینت به صورت عمودی آویزان نمود تا خشک شوند، پروب نباید در تماس با چیزی قرار گیرد.	خشک کردن پروب
پروب ها را در حالی که محافظ نوک پروب کریستال پیزوالکتریک آن را بپوشاند دریک کابینت که تهویه خوب ، بدون گردخاک، دارد نگاهداری کنید. یک کابینت فیلتردار-HEPA با فشارمثبت بهترین است.	نگاهداری
پروب را به محل مورد نیاز در داخل یک محفظه تمیز حفاظت کننده حمل کنید.	حمل

<sup>1</sup> - Wipe

<sup>2</sup> - Joint commission

**جدول ۵** بررسی کامل اکوکاردیوگرافی از راه مری. جدول ۲۸ نمای پیشنهادی در یک بررسی کامل TEE را فهرست می‌نماید. هر نمای در سطح تصویربرداری آن، بروموی یک مدل سه بعدی مربوطه، اب تصویر دوبعدی TEE نشان داده شده است. پروتکل بدست آوردن تصویر و ساختمان هایی که در هر نمای مشاهده می‌شود در ستون های بعدی ذکر شده‌اند.

نمای از وسط مری <sup>۱</sup>	سطح تصویربرداری	مدل سه بعدی	تصویر دوبعدی TEE	بدست آوردن	پروتکل برای ساختمان هایی که تصویربرداری می‌شود.
۱. چهار حفره ای از وسط مری (ME 4-Ch)					
AoV	زاویه ترانسدوسر:				
LV/RV/IVS	$\sim 90^\circ - 100^\circ$				
MV(A3A2-P2P1)					
TV	سطح: وسط مری				
CS					
AoV	زاویه ترانسدوسر:				
LVOT	$\sim 90^\circ - 100^\circ$				
LA/RA					
LV/RV/IVS	سطح: وسط مری				
MV(A2A1-PA)					
TV					
LA	زاویه ترانسدوسر:				
CS	$\sim 70^\circ - 80^\circ$				
LV	سطح: وسط مری				
MV(P3-A3A2A1-P1)					
ماهیچه های پاپیلری					
رشته های تاندونی					
LA	زاویه ترانسدوسر:				
CS	$\sim 80^\circ - 100^\circ$				
LAA					
LV	سطح: وسط مری				
MV(P3-A3-A2A1)					
سرخرگ کرونر سرکامفلکس					
LA	زاویه ترانسدوسر:				
LV	$\sim 100^\circ - 120^\circ$				
LVOT					
RVOT	سطح: وسط مری				
MV(P2-A2)					
AoV					
پروکسیمال آئورت صعودی (ادامه دارد)					
۴. دوحفره ای از وسط مری (ME 2-Ch)					
۵. مقطع طولی از وسط مری (ME LAX)					

<sup>۱</sup> - Midesophageal

**جدول ۵ (ادامه دارد)**

ساختمان هایی که تصویربرداری می شود.	پروتکل برای تصویر	مدل سه بعدی	تصویر دوبعدی TEE	سطح تصویربرداری
LA LVOT MV(P2-A2) AoV پروکسیمال آئورت سعودی LCA	زاویه ترنسدوسر: $\sim 120^\circ - 140^\circ$ سطح: وسط مری	بدست آوردن	تصویر دوبعدی	۶. مقطع طولی دریچه آئورت از وسط مری (ME Aov LAX)
وسط آئورت سعودی RPA	زاویه ترنسدوسر: $\sim 90^\circ - 110^\circ$ سطح: وسط مری			۷. مقطع طولی آئورت سعودی وسط مری (ME Asc Ao LAX)
وسط آئورت سعودی سرخرگ ششی اصلی / شاخه های سرخرگ ششی SVC	زاویه ترنسدوسر: $\sim 0^\circ - 30^\circ$ سطح: وسط مری			۸. مقطع عرضی آئورت سعودی از وسط مری (ME Asc Ao SAX)
وسط آئورت سعودی SVC RUPV RLPV	زاویه ترنسدوسر: $\sim 0^\circ$ سطح: وسط مری			۹. سیاهرگ های ششی راست از وسط مری (ME Rt Pulm veins)
LUPV LLPV سرخرگ ششی چپ	زاویه ترنسدوسر: $\sim 90^\circ - 110^\circ$ سطح: وسط مری			۱۰. سیاهرگ های ششی چپ از وسط مری (ME Lt Pulm veins)

(ادامه دارد)

### جدول ۵ (ادامه دارد)

ساختمان هایی که تصویربرداری می شود.	پروتکل برای تصویر	بدست آوردن	TEE	تصویر دو بعدی	مدل سه بعدی	سطح تصویربرداری
LAA	زاویه ترنسدوسر:	$\sim 90^\circ - 110^\circ$				۱۱. مقطع طولی دریچه آورت از وسط مری (ME Aov LAX)
LUPV	سطح: وسط مری					
AoV	زاویه ترنسدوسر:					۱۲. مقطع طولی آورت صعودی وسط مری (ME Asc Ao LAX)
PV	$\sim 25^\circ - 45^\circ$					
LA/RA	سطح: وسط مری					
IAS						
بخش فوقانی RVOT						
LCA/RCA						
AoV	زاویه ترنسدوسر:					۱۳. مقطع عرضی آورت صعودی از وسط مری (ME Asc Ao SAX)
PV	$\sim 50^\circ - 70^\circ$					
LA/RA	سطح: وسط مری					
IAS						
TV						
بخش فوقانی TV						
RVOT						
IVS	: ممبرانو، خروجی					
LA/RA	زاویه ترنسدوسر:					۱۴. سیاهرگ های ششی راست از وسط مری (ME Rt Pulm veins)
IAS	$\sim 50^\circ - 70^\circ$					
TV	سطح: وسط مری					
SVC						
IVC						
CS						
LA	زاویه ترنسدوسر:					۱۵. سیاهرگ های ششی چپ از وسط مری (ME Lt Pulm veins)
RA/RAA	$\sim 90^\circ - 110^\circ$					
IAS	سطح: وسط مری					
SVC						
IVC						

## جدول ۵ (ادامه دارد)

ساختمان هایی که تصویربرداری می شود.	پروتکل برای تصویر	بدهست آوردن	TEE	تصویر دو بعدی	مدل سه بعدی	سطح تصویربرداری
نماهای از طریق معده						
IVC سیاه رگ های کبدی	زاویه ترنسدوسر: $\sim 80^\circ - 100^\circ$					۱۶. سیاه رگ اجوف تحتانی / سیاه رگ های کبدی از طریق معده (TG IVC/Hep veins)
LV (پایه <sup>۱</sup> ) RV (پایه) MV TV IVS : عضلانی	زاویه ترنسدوسر: $\sim 80^\circ - 100^\circ$	زاویه ترنسدوسر: $\sim 80^\circ - 100^\circ$	سطح: از طریق معده			۱۷. مقطع عرضی بازالت از طریق معده (TG Basal SAX)
LV (وسط) ماهیچه های پاپیلری RV (وسط) IVS : عضلانی	زاویه ترنسدوسر: $\sim 80^\circ - 100^\circ$	زاویه ترنسدوسر: $\sim 80^\circ - 100^\circ$	سطح: از طریق معده			۱۸. مقطع عرضی وسط ماهیچه های پاپیلری از طریق معده (TG Mid Pap SAX)
LV (آپکس) RV (آپکس) IVS : آپیکال عضلانی	زاویه ترنسدوسر: $\sim 80^\circ - 100^\circ$	زاویه ترنسدوسر: $\sim 80^\circ - 100^\circ$	سطح: از طریق معده			۱۹. مقطع عرضی آپیکال از طریق معده (TG Apical SAX)
LV LVOT AoV ریشه آورت MV	زاویه ترنسدوسر: $\sim 120^\circ - 140^\circ$	زاویه ترنسدوسر: $\sim 120^\circ - 140^\circ$	سطح: از طریق معده			۲۰. مقطع طولی از طریق معده (TG LAX)
(ادامه دارد)						

<sup>1</sup> - Base

جدول ۵ (ادامه دارد)

نماهای از طریق قسمت عمیق معده		سطح تصویربرداری	مدل سه بعدی	تصویر دوبعدی TEE	پروتکل برای بدست آوردن	ساختمان هایی که تصویربرداری می شود.
LV/RV	زاویه ترنسدوسر:	۵.۲۱	حفره ای از طریق قسمت عمیق معده	(DTG 5-Ch)		
LVOT	$\sim 20^\circ$					
AoV	$\sim 20^\circ - 30^\circ$					
ریشه آئورت	سطح: از طریق قسمت	۵.۲۲	مجرای خروجی بطن راست از طریق قسمت	(DTG RVOT)		
MV	عمیق معده					
IVS						
LV/RV	زاویه ترنسدوسر:	۵.۲۳	سیپتوم دهلیزی از طریق قسمت عمیق معده	(DTG Atr Sept)		
RVOT	$\sim 50^\circ - 90^\circ$					
PV						
LVOT	سطح: از طریق قسمت					
AoV	عمیق معده					
MV						
IVS						
RA/RAA	زاویه ترنسدوسر:	۵.۲۴	. مقطع طولی کمان آئورت از قسمت فوقانی مری	(UE Ao Arch LAX)		
LA	$\sim 80^\circ - 90^\circ$					
RPA	سطح: از طریق قسمت					
IAS	عمیق معده					
SVC						
IVC						
نماهای قسمت فوقانی مری		۵.۲۵	. مقطع عرضی کمان آئورت از قسمت فوقانی مری	(UE Ao Arch SAX)		
کمان آئورت	زاویه ترنسدوسر:					
کمان آئورت	$\sim 10^\circ - 20^\circ$					
سیاهرگ بینام	سطح: قسمت فوقانی					
سیاهرگ بینام	مری					
کمان آئورت	زاویه ترنسدوسر:	۵.۲۶	. مقطع عرضی کمان آئورت از قسمت فوقانی مری	(UE Ao Arch SAX)		
سیاهرگ بینام	$\sim 70^\circ - 90^\circ$					
سرخرگ ششی اصلی	سطح: قسمت فوقانی					
ساخه های سرخرگ ششی	مری					
PV						

### جدول ۵ (ادامه دارد)

ساختمان هایی که تصویربرداری می شود.	پروتکل برای تصویر	بسیار آوردن	TEE	مدل سه بعدی	تصویر دوبعدی	سطح تصویربرداری	
MPA	زاویه ترنسدوسر:	۲۶. سرخرگ ششی از قسمت فوقانی مری (UE PA)					
LPA	$\sim ۲۰^{\circ}$						
RPA	سطح: قسمت فوقانی مری						
وسط آئورت صعودی		نماهای آئورت					
زاویه ترنسدوسر:						۲۷. مقطع عرضی آئورت نزولی (Desc Ao SAX)	
$\sim ۱۰^{\circ}$							
سطح: قسمت فوقانی آئورت نزولی							
مری تا ترنس گاستریک							
زاویه ترنسدوسر:						۲۸. مقطع طولی آئورت نزولی (Desc Ao LAX)	
$\sim ۹۰^{\circ} - ۱۰۰^{\circ}$							
سطح: قسمت فوقانی آئورت نزولی							
مری تا ترنس گاستریک							

CS ، سینوس کرونر؛ IAS ، سپتم بین دهلیزی؛ IVS ، سپتم بین بطی؛ LAA، گوشک دهلیز چپ؛ LCA، سرخرگ کرونر چپ؛ LLPV، سیاهرگ ششی چپ تحتانی؛ LUPV، سیاهرگ ششی چپ فوقانی؛ RAA، گوشک دهلیز راست؛ RCA، سرخرگ کرونر راست؛ RLPV، سیاهرگ ششی راست تحتانی؛ RUPV، سیاهرگ ششی راست فوقانی.

## جدول ۶ استفاده های بالینی گزارش شده TEE سه

بعدی در بیماری های مادرزادی قلبی

TEE سه بعدی برای موارد زیر توصیه شده است:

هدایت در بستن ASD با وسیله<sup>۱</sup>

هدایت در بستن VSD با وسیله

دیدن کاترها، سیستم های دلیوری<sup>۲</sup> و وسائل

اندازه گیری سوراخ ها<sup>۳</sup> در نمای رو به رو از جلو<sup>۴</sup>

بررسی آناتومی و عملکرد دریچه های دهلیزی  
بطنی

مشاهده دریچه آئورت و مجرای خروجی بطن  
چپ

TEE سه بعدی به صورت موثر در حین پروسیجرهای

زیر استفاده شده است:

بستن منفذهای فانتن<sup>۵</sup>

بستن پارگی آنوریسم سینوس والسالوا با وسیله

بستن فیستول سرخرگ کرونربا با وسیله

بستن نشت کنارد دریچه ای<sup>۶</sup> دریچه های مصنوعی  
با وسیله

بستن نشت بافل<sup>۷</sup> در جابجایی دهلیزها با وسیله  
و استنت کردن تنگی بافل

پونکسیون دیوراه دهلیزی در همگام پروسیجر  
های مختلف

ارزیابی همزمانی ضربان ساز های دوبطنی و  
هدایت برای قرار دادن لید

<sup>1</sup> - Device

<sup>2</sup> - Delivery systems

<sup>3</sup> - Defects

<sup>4</sup> - En face view

<sup>5</sup> - Fontan fenestartions

<sup>6</sup>- Paravalvular leaks

<sup>7</sup> - Baffle

## جدول ۷ نماهای تصویربرداری TEE پیشنهاد شده برای گزیده ای از ستاربوهای تشخیصی بیماری های قلبی مادرزادی

بیماری های شایع همراه و نماهای مرتبط (مواردی که مناسب باشد)	بیماری اصلی و نماهای مرتبط
• بازگشت غیرطبیعی بخشی ازسیاهرگ های ششی: نماهای سیاهرگ های ششی راست و چپ از وسط مری (نماهای ۹ و ۱۰)، نمای دوسیاهرگ اجوف از وسط مری (نمای ۱۵)، نمای سپتوم دهلیزی از قسمت عمیق معده (نمای ۲۳)	• محل، اندازه، تعداد، مرفلوژی و مناسب بودن برای بستن با وسیله: ME 4-Ch (نمای اول)، ME AoV SAX (نمای ۱۲)، نمای دوسیاهرگ اجوف از قسمت فوقانی و تحتانی مری باشد.
• ممکن است برای بررسی نقص سینوس وریدی فوقانی و تحتانی نیاز به تصویربرداری از قسمت فوقانی و تحتانی مری باشد.	• محل، اندازه، تعداد، مرفلوژی و مناسب بودن برای بستن با وسیله: ME 4-Ch (نمای ۱۳)، نمای دوسیاهرگ اجوف از وسط مری (نمای ۱۵)، نمای سپتوم دهلیزی از قسمت عمیق معده (نمای ۲۳)
• سیاهرگ اجوف تحتانی چپ به سینوس کرونر: ME 4-Ch با فلکسیون به سمت عقب (نمای ۱)، ME 2-Ch (نمای ۴)، نمای دوسیاهرگ اجوف از وسط مری (نمای ۱۵) و نمای مقطع عرضی کمان آئورت از قسمت فوقانی مری (نمای ۲۵)، هردو با چرخش پرورب TEE به سمت چپ	• نقص سپتوم دهلیزی
• پرولاپس آئورت: ME AoV LAX (نمای ۶)، ME AoV SAX (نمای ۱۲)، بطن راست دوحفره ای <sup>۱</sup> : ME AoV SAX (نمای ۱۲)، DTG RVOT (نمای ۱۳)، ME RV In-Out (نمای ۲۲) (ادامه دارد)	• محل ، اندازه ، تعداد: ME 4-Ch (نمای ۱)، (نمای ۲)، ME AoV LAX (نمای ۵)، ME AoV SAX (نمای ۶) (نمای ۱۲)، DTG 5-Ch (نمای ۱۳)، ME RV In-Out، (نمای ۲۱)، DTG RVOT (نمای ۲۲)، TG Basal SAX (نمای ۱۷)، TG Apical SAX (نمای ۱۸)، TG Mid Pap SAX (نمای ۱۹)

<sup>1</sup> - Double chamber right ventricle

## جدول ۷ (ادامه)

بیماری های شایع همراه و نماهای مرتبط (مواردی که مناسب باشد)	بیماری اصلی و نماهای مرتبط
<ul style="list-style-type: none"> <li>• دریچه میترال شکاف دار<sup>۱</sup>: ME 4-Ch (نما ۱)، میترال از وسط مری (نما ۳)، ۲-Ch (نما ۴)، ME LAX (نما ۵)، TG Basal SAX (نما ۱۷)</li> <li>• انسداد زیرآئورت: (نما ۲)، ME LAX (نما ۵)، DTG RVOT (نما ۲۱)، DTG 5-Ch (نما ۶)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• پرایموم و VSD ورودی: ME 4-Ch (نما ۱)، TG Basal SAX (نما ۱۷)، TG Mid Pap SAX (نما ۱۸)</li> <li>• دریچه دهلیزی بطئی مشترک: ME 4-Ch (نما ۱)، ME LAX (نما ۵)، TG Basal SAX (نما ۱۷)، TG LAX (نما ۲۰)</li> <li>• DTG 5-Ch (نما ۲۱)، DTG RVOT (نما ۲۲)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ASD : بالا را بینید.</li> <li>• عدم فشرده شدن بطئ چپ<sup>۲</sup>: ME 4-Ch (نما ۱)</li> </ul>	<p style="text-align: right;">نقص سپتوم دهلیزی بطئی</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• مرفلوژی لت ها و مناسب بودن برای ترمیم (تحرک لت قدامی ، اتصال کوردا به مجرای خروجی بطئ راست، تعداد جت های نارسایی): ME 4-Ch (نما ۱)، ME RV In-Out (نما ۱۳)، ME Mod Bicaval TV (نما ۱۴)، TG Basal SAX (نما ۱۷) با چرخش پروب به سمت راست (نما ۲۲) DTG RVOT .</li> </ul>
(ادامه دارد)	

<sup>۱</sup> - Cleft mitral valve<sup>۲</sup> - Noncompaction of LV

## جدول ۷ (ادامه)

بیماری های شایع همراه و نماهای مرتبط (مواردی که مناسب باشد)	بیماری اصلی و نماهای مرتبط
ME Aov SAX (نما ۱)، ME 4-Ch (نما ۱۲)، TG Mid Pap (نما ۱۳)، RV In-Out (نما ۱۴)، TG Basal SAX (نما ۱۵)، SAX TG Apical (نما ۱۶)، SAX (نما ۱۷)، DTG RVOT (نما ۱۸)، DTG 5-Ch (نما ۱۹)، straddling/overriding (نما ۲۰)، ME 4-Ch (نما ۲۱)، ME 5-Ch (نما ۲۲)، ME LAX (نما ۲۳)، ME 2-Ch (نما ۲۴)، ME mitral (نما ۲۵)، ME Modified Bicaval TV (نما ۲۶)، RV In-Out (نما ۲۷)، TG (نما ۲۸)، DTG 5-Ch (نما ۲۹)، TG Mid Pap SAX (نما ۳۰)، Basal SAX (نما ۳۱)، DTG RVOT (نما ۳۲)	<ul style="list-style-type: none"> <li>موقعیت سرخرگ ششی شامل محل سپتوم کونال (زیرپلومونر، زیرآورت یا دوطرفه)، موقعیت آن (قدامی یا خلفی) و اندازه آن (هیپوپلاستیک یا فقدان): ME RV In-, ME AoV LAX (نما ۲)، ME 5-Ch (نما ۶)، DTG 5-Ch (نما ۲۱)، DTG RVOT (نما ۲۲)</li> <li>محل و اندازه VSD (زیرآورتی، زیرپلومونر، زیرآورت و پولمونر هردو، دور): ME Aov SAX (نما ۲)، ME 5-Ch (نما ۶)، ME RV In-Out (نما ۱۲)، DTG 5-Ch (نما ۱۳)، ME RV In-Out (نما ۲۱)، TG Mid Pap SAX (نما ۱۷)، TG Basal SAX (نما ۱۸)، RVOT (نما ۱۹)</li> </ul>
• باقیمانده: ME 5-Ch (نما ۲)، VSD (نما ۶)	نقایص کونوترانکال (d-TGA، تنہ شریانی، DORV، TOF)
• DTG 5-Ch (نما ۱۳)، ME AoV SAX (نما ۱۲)	
• DTG RVOT (نما ۲۱)، ME RV In-Out (نما ۱۲)	
• انسداد مجرای خروجی بطن راست: ME RV In-Out (نما ۱۳)، UE Ao Arch SAX (نما ۲۲)، UE (نما ۲۵) با چرخش پروب به سمت چپ TEE (پس از عمل) TOF	
• نارسایی پلومونر: ME Ao SAX (نما ۱۲)، ME RV In-Out (نما ۱۲)، UE (نما ۲۵) با چرخش پروب به سمت چپ، PA (نما ۲۶)	

**جدول ۷ (ادامه)**

بیماری های شایع همراه و نماهای مرتبط ( مواردی که مناسب باشد)	بیماری اصلی و نماهای مرتبط
DORV (پس از عمل)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• باقیمانده: بالا را بینید</li> <li>• مسیر بطن چپ به آئورت: ME 5-Ch (نما ۲)، ME AoV LAX (نما ۶)، DTG RVOT (نما ۲۱)، DTG 5-Ch (نما ۲۲)</li> </ul>
(ادامه دارد)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• باقیمانده: بالا را بینید</li> <li>• آناتومی و فونکسیون دریچه تنه ۱: ME AoV LAX (نما ۶)، DTG 5-Ch (نما ۱۲)، AoV SAX (نما ۲۱)</li> <li>• محل، اندازه و فونکسیون کاندومی از بطن راست به سرخرگ ششی: DTG RVOT (نما ۲۱)، DTG 5-Ch (نما ۱۳)</li> <li>• تنہ شریانی ( پس از عمل) (نما ۲۲)</li> <li>• اندازه سرخرگ ششی و تنگی سرخرگ ششی باقیمانده: ME Asc Ao (نما ۲)، UE Ao Arch SAX (نما ۷) و SAX (نما ۸)، LAX (نما ۲۵)</li> <li>• مسیر از بطن چپ به آئورت: ME 5-Ch (نما ۲)، ME AoV LAX (نما ۶)، DTG 5-Ch (نما ۲۱)</li> </ul>

<sup>۱</sup> Truncal valve

## جدول ۷ (ادامه)

بیماری های شایع همراه و نماهای مرتبط (مواردی که مناسب باشد)	بیماری اصلی و نماهای مرتبط
<p>• اندازه و فونکسیون بطن چپ: ME 4-Ch (نما ۱)، TG Basal SAX (نما ۴)، TG 2-Ch (نما ۵)، TG Mid Pap SAX (نما ۱۸)، DTG Apical SAX (نما ۲۰)، TG LAX (نما ۱۹)، ۵-Ch (نما ۲۱)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• مجرای خروجی بطن راست و چپ: ME 5-Ch (نما ۲)، ME LAX (نما ۵)، DTG RVOT (نما ۶)، DTG 5-Ch (نما ۱۳)، ME RV In-Out (نما ۲۱)، LAX (نما ۲۲)</li> <li>• ناحیه بالای دریچه: UE Ao Arch LAX (نما ۲۴) و UE Ao Arch SAX (نما ۲۵)، PA (نما ۲۶) /d-TGA</li> <li>• آناتومی و فونکسیون دریچه آورت جدید<sup>۱</sup>: ME AoV SAX (نما ۶)، DTG 5-Ch (نما ۱۲)، Ch (نما ۲۱)</li> <li>• دوباره کاشتن<sup>۲</sup> کرونر ها: ME AoV SAX (نما ۱۲)</li> <li>• باقیمانده: بالا را بینند VSD</li> <li>• محل، اندازه و فونکسیون کاندوزی از بطن راست به سرخرگ ششی: ME LAX (نما ۵)، DTG RVOT (نما ۱۳)، RVIn-Out (نما ۲۲) Rastelli /d-TGA</li> <li>• مسیر از بطن چپ به آورت: ME 5-Ch (نما ۲)، ME LAX (نما ۶)، DTG 5-Ch (نما ۲۱)، DTG RVOT (نما ۲۲)</li> </ul>

<sup>۱</sup> - Neoaortic valve

<sup>۲</sup> - Reimplantation

## جدول ۷ (ادامه)

بیماری های شایع همراه و نماهای مرتبط (مواردی که مناسب باشد)	بیماری اصلی و نماهای مرتبط
• اندازه و فونکسیون بطن راست سیستمیک: ME 4-Ch (نمای ۱)، ME AoV SAX، ME RV In-Out (نمای ۱۲)، TG Mid Pap SAX (نمای ۱۷)، TG Basal SAX (نمای ۱۸)، TG Apical SAX (نمای ۱۹)، DTG RVOT (نمای ۲۰)، ME 4-Ch (نمای ۲۲)	• بافل سیاهرگی ششی: ME 4-Ch (نمای ۱)
• نارسایی دریچه دهلیزی بطئی سیستمیک: ME Modified (نمای ۱۳)، ME RV In-Out (نمای ۱)، TG IVC/Hep veins (نمای ۱۶)، Bicaval TV (نمای ۲۳)، DTG Atr Sept (نمای ۲۴)، UE PA (نمای ۲۵)	• شاخه فوقانی و تحتانی بافل سیاهرگی سیستمیک: ME Bicaval (نمای ۱۵)، Bicaval TV (نمای ۲۶)
• اندازه و فونکسیون بطن چپ زیرپولمونر: ME 4-Ch (نمای ۱)، ME 2-Ch (نمای ۴)، ME Mitral (نمای ۳)، TG Mid Pap (نمای ۵)، TG Basal SAX (نمای ۱۷)، TG Apical SAX (نمای ۱۸)، DTG 5-Ch (نمای ۲۰)، LAX (نمای ۲۱)	• برای تصویربرداری سریع <sup>۱</sup> از شاخه های فوقانی و تحتانی بافل سیاهرگی سیستمیک ممکن است نیاز به حرکات جارویی تدریجی <sup>۲</sup> پروب شامل چرخش درجهت عقربه های ساعت یا در خلاف جهت عقربه های ساعت باشد
• ترمیم فیزیولوژیک (بستن VSD و/یا کاندؤی از بطن چپ به سرخرگ ششی) : نماهای VSD و کاندؤی در بالا را بینند	• اندازه و فونکسیون بطن راست سیستمیک: ME 4-Ch (نمای ۱)، ME 2-Ch (نمای ۴)، TG Mid Pap SAX (نمای ۱۷)، TG Basal SAX (نمای ۵)
• ترمیم آناتومیک (ترمیم جابجایی دهلیزها و ترمیم جابجایی سرخرگ ها یا Rastelli برای D-TGA) : نماهای ترمیم جابجایی سرخرگ ها	• ترمیم آناتومیک (ترمیم جابجایی دهلیزها و ترمیم جابجایی سرخرگ ها یا Rastelli برای D-TGA) : TG Apical SAX (نمای ۱۹)، DTG 5-Ch (نمای ۲۰)، TG LAX (نمای ۱۹)، ME 4-Ch (نمای ۱)، ME Mitral (نمای ۳)، LAX (نمای ۵)
• اندازه و فونکسیون بطن چپ زیر پولمونر: ME 4-Ch (نمای ۱۲)، ME AoV SAX (نمای ۱)، ME RV In-Out (نمای ۱۳)، TG Basal SAX (نمای ۱۷)، DTG RVOT (نمای ۱۹)، TG Apical SAX (نمای ۲۲)	• اندازه و فونکسیون بطن چپ زیر پولمونر: ME 4-Ch (نمای ۱۲)، ME AoV SAX (نمای ۱)، TG Mid Pap SAX (نمای ۱۷)، DTG RVOT (نمای ۱۹)، TG Apical SAX (نمای ۱۸)

(ادامه ادامه)

<sup>1</sup> - Scan<sup>2</sup> - Gradual sweepd-TGA / پروسیجر جابجایی  
دهلیزها

I-TGA

## جدول ۷ (داده)

بیماری های شایع همراه و نماهای مرتبط (مواردی که مناسب باشد)	بیماری اصلی و نماهای مرتبط	تک بطن
--	----------------------------	--------

<ul style="list-style-type: none"> <li>• ارزیابی اندازه و فونکسیون شانت بلیلاک-تاسیگ مدیفیه ، شانت مرکزی یا شانت سانو: UE Ao Arch LAX (نمای ۲۴) و UE Ao Arch SAX (نمای ۲۵) (نمای ۲۶)</li> <li>• ارزیابی باند سرخرگ ششی: DTG RVOT (نمای ۲۲) ، UE PA (نمای ۲۶)</li> <li>• ارزیابی پروسیجر دامس-کی-ستانسل (DKS): ME Asc ME AoV Lax (نمای ۶)، Damus-Kaye- Stansel (نمای ۷) و ME Asc Ao SAX (نمای ۸)، Ao LAX (نمای ۲۵) (نمای ۲۶)</li> <li>• ارزیابی Norwood و کمان آورت: ME Asc Ao LAX (نمای ۶)، ME Asc Ao SAX (نمای ۷) و Desc Ao LAX (نمای ۲۷) و Desc Ao SAX (نمای ۲۸)</li> </ul>	<p>مرحله ۱</p> <p>UE Ao arch SAX (نمای ۷) و ME Asc Ao SAX (نمای ۸) (نمای ۲۵)</p> <p>• ممکن است نیاز به چرخش پروب در جهت یا خلاف جهت عقربه های ساعت باشد</p>	<p>مرحله ۲(گلن)</p> <p>ME Asc Ao LAX (نمای ۶)، ME RV In-Out (نمای ۱۳)، TG IVC/Hep Veins (نمای ۱۶)</p> <p>• اتصال دهلیزی ششی: ME 4-Ch (نمای ۱)، ME Asc Ao SAX (نمای ۲۳)</p>
---	---	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>• فشاربرروی سیاه رگ ششی راست توسط دهلیز راست گشاد شده</li> <li>• اتصال دهلیزی ششی: ME Rt Pulm Veins (نمای ۹)</li> <li>• لخته در دهلیز راست در اتصال دهلیزی ششی: ME 4-Ch (نمای ۱)، ME Bicaval TV (نمای ۱)، ME 2-Ch (نمای ۴)، TG Atr Sept (نمای ۱۴) (نمای ۳۳)</li> <li>• باز بودن تونل جانبی و خارج قلبی، لخته، منفذ: ME 4-Ch (نمای ۱)، ME Bicaval TV (نمای ۴)، ME 2-Ch (نمای ۱)، TG Atr Sept (نمای ۱۶)، IVC/Hep Veins (نمای ۲۳)</li> </ul>	<p>مرحله ۳(فانتن)</p> <p>ME 4-Ch (نمای ۱)، ME Asc Ao SAX (نمای ۲۳)</p> <p>• تونل جانبی/ اتصال خارج قلبی: ME 4-Ch (نمای ۱)، ME Asc Ao SAX (نمای ۸)، TG IVC/Hep Veins (نمای ۱۶)</p> <p>• جریان خون ششی: ME Asc Ao SAX (نمای ۸)، UE Ao arch SAX (نمای ۲۵)</p>
--	--

نقص سپتوم دهلیزی؛ *ALCAPA* ، منشأ غیر طبیعی سرخرگ کرونر اصلی چپ از سرخرگ ششی؛ *AV* ، دهلیزی بطنی؛ *CS* ، سینوس کرونر؛ *d-TGA* ، جابجایی کامل سرخرگ های بزرگ؛ *DORV* ، بطن راست با دومجرای خروجی؛ *DTG* ، *I-TGA* ، از قسمت عمیق معده؛ *LSVC* ، سیاهرگ اجوف فوقانی چپ؛ *LV* ، بطن چپ؛ *RV* ، بطن راست؛ *TG* ، از طریق معده؛ *TOF* ، تترالوزی فالو؛ *VSD* ، نقص سپتوم بطنی.

<sup>۱۶</sup> تغییر یافته از Hahn و همکاران.

**شکل ۱** ترمینولوژی بکاربرده شده برای تنظیم و کنترل پروب اکوکاردیوگرافی ازراه مری با دست<sup>۱</sup> در هنگام اکتساب تصویر.<sup>۲</sup>

**شکل ۲** قراردادهای نمایش تصویر در اکوکاردیوگرافی ازراه مری دو بعدی. محل ترنسودوسر و میدان نزدیک (راس) در قطاع تصویر در بالای صفحه نمایش و میدان دور در پایین آن است. (A) جهت تصویر در زاویه صفر درجه . (B) جهت تصویر در زاویه ترنسودوسر ۹۰ درجه . (C). جهت تصویر در زاویه ترنسودوسر ۱۸۰ درجه. لازم به ذکر است که ما نماهای DTG را به صورت وارونه، با آپکس قلب در پایین صفحه نمایش در وضعیت درست از نظر آناتومی، نشان می دهیم. LA، دهلیز چپ؛ LV بطن چپ؛ RV بطن راست . دوباره چاپ شده با کسب اجازه از Hahn و همکارانش.<sup>۱۶</sup>

**شکل ۳** تصویر شماتیک دریچه میترال با مشخص نمودن اسکالوپ ها ( یا سگمان ها) لت ها. تصاویر مرتبط از نماهای تصویربرداری استاندارد متفاوت با اسکالوپ ها و سگمان های مربوطه. گرچه این اسم گذاری اسکالوپ هادر اکثر موارد صادق است، ناحیه دقیق لت های دریچه میترال بر روی تصویر براساس موقعیت قلب نسبت به مری و نیز موقعیت پروب اکوکاردیوگرافی ازراه مری در درون مری متفاوت است. A0 ، آورت؛ LAA، گوشک دهلیز چپ؛ LAX، محور طولی؛ Mitral، کمیسور میترال؛ 2Ch، دو حفره؛ 4 Ch چهار حفره. اقتباس شده از Hahn و همکارانش.<sup>۱۶</sup>

**شکل ۴** نمای روبه رو<sup>۳</sup> از شکاف دریچه دهلیزی بطنی چپ ( میترال) از منظر دهلیز چپ با اکوکاردیوگرافی ازراه مری سه بعدی با زاویه پهن<sup>۴</sup> همراه با نقش سپتوم دهلیزی از نوع سوراخ پرایmom.<sup>۵</sup> A، جزء قدامی / فوقانی لت قدامی در یک دریچه دهلیزی بطنی چپ با شکاف؛ A0V ، دریچه آورت؛ ML، لت جداری<sup>۶</sup>؛ MV، دریچه میترال؛ P جزء خلفی / تحتانی لت قدامی در دریچه دهلیزی بطنی چپ با شکاف.

**شکل ۵** نمای مقطع طولی از وسط مری حدود زاویه ۱۲۵ درجه یک برآمدگی فیبروموسکولر را در زیر آورت همراه با تنگی زیر دریچه نشان می دهد. AO، آورت؛ LV بطن چپ؛ RV بطن راست.

**شکل ۶** نمای چهار حفره یا زا وسط مری در آنومالی ابستین شامل جابجا شدن لت سپتال دریچه تریکوسپید به سمت آپکس، افزونگی<sup>۷</sup> لت قدامی، و دهلیزی شدن بطن راست. در سمت راست، داپلر رنگی نارسایی دریچه سه لتی را نشان می دهد که به دلیل جابجایی به سمت آپکس، در بدنه بطن راست آغاز می شود. RA، دهلیز راست؛ aRV، بطن راست دهلیزی شده؛ fRV، راست فونکسیونل؛ LA، دهلیز چپ؛ LV، بطن چپ.

**شکل ۷** نمای چهار حفره ای از وسط مری با زاویه ترنسودوسر چرخیده به جلو تا ۳۶ درجه، متوجه کرده برد دهلیز چپ و ممبران قلب سه دهلیزی. توجه کنید که محل ممبران در بالای گوشک دهلیز چپ قرار دارد (LAA). ممبران دهلیز چپ را به بخش های پروکسیمال و دیستال تقسیم می نماید. در سمت راست، داپلر رنگی جریان خون توربولانس را در عبور از ممبران (پیکان) نشان می دهد که نشانه انسداد است. LV، بطن چپ.

<sup>1</sup> - Manipulation

<sup>2</sup> -Image acquisition

<sup>3</sup> - En face

<sup>4</sup> - Wide angle

<sup>5</sup> - Ostium primum

<sup>6</sup> -Mural

<sup>7</sup> - Redundancy

**شکل ۸** نمای مدیفیه گوشک دهلیز چپ از وسط مری : (A) روزنه باریک شده سیاه‌رگ ششی فوقانی چپ با نقشه برداری داپلرنگی مربوطه توربولانس جریان خون را نشان می دهد. نارسایی خفیف دریچه میترال نیز دیده می شود (پیکان). (B) از دست دادن جریان خون فازیک در سیاه‌رگ ششی فوقانی چپ با میانگین گرادیان ۴ میلی متر جیوه مطابق با تنگی خفیف، LA، دهلیز چپ؛ LV، بطن چپ؛ LUPV، سیاه‌رگ ششی فوقانی چپ.

**شکل ۹** انواع سوراخ های سپتوم دهلیزی هنگامی که از دهلیز راست (RA) مشاهده می شود. سوراخ بیضی باز (PFO) نشان داده نشده است. SVC، سیاه‌رگ اجوف فوقانی؛ IVC سیاه‌رگ اجوف تحتانی. دوباره چاپ شده با کسب اجازه از Silverst<sup>۲۲</sup> همکاران.

**شکل ۱۰** انواع نقایص سپتوم بطنی (VSD) هنگامی که از بطن راست (RV) مشاهده می شود. نقص سپتوم بطنی از نوع ناهمراستا نشان داده نشده است اما با انحراف سپتوم انفاندیبولر یا کونال به جلو یا عقب ایجاد می شود و به صورت مشخص در تترالوژی فالو، بطن راست با دومجرای خروجی، یا کمپلکس قطع کمان آورت وجود دارد.

**شکل ۱۱** نماهای اکوکاردیوگرافی ازراه مری سه بعدی (3D) با قطاع باریک زنده در هنگام بستن یک نقص دیواره بطنی (VSD) از نوع عضلانی با وسیله از طریق کاتتر. (A) نمای روبه رو VSD عضلانی آپیکال (پیکان) از سمت چپ. (B) نمای فرونال وسیله (پیکان) با کارگذاری سمت چپ وسیله در بطن چپ و وسیله هنوز به کاتتر (C) سیستم تحويل متصل است سیستم تحويل.<sup>۱</sup> وسیله در موقعیت نهایی با دیسک های آن (پیکان ها) در دوطرف سپتوم بطنی. چپ LA؛ دهلیز چپ؛ P، خلفی؛ RV؛ راست؛ LV، بطن راست؛ گ فوقانی؛ VS، سپتوم بطنی.

**شکل ۱۲** نمای چهارحفره ای از وسط مری از نقص کامل سپتوم دهلیزی بطنی شامل نقص سپتوم دهلیزی پرایموم (پیکان سفید)، نقص سپتوم بطنی از نوع ورودی (پیکان سیاه)، و دریچه دهلیزی بطنی مشترک. RA، دهلیز راست؛ LA، دهلیز چپ؛ RV، بطن راست؛ LV، بطن چپ.

**شکل ۱۳** نمای مقطع عرضی دریچه آورت از وسط مری دربیماری با منشاء غیر طبیعی سرخرگ کرونر چپ از سینوس راست والسالوا، به روزنه شکاف مانند در جایی که سرخرگ کرونر چپ از سینوس راست منشاء می گیرد توجه کنید. کلیپ داپلرنگی مسیربین سرخرگی بین آورت و سرخرگ ششی را نشان می دهد. AO، آورت؛ PA، سرخرگ ششی.

**شکل ۱۴** نمای ۵ حفره ای ترنس گاستریک عمیق بطن راست با دومجرای خروجی<sup>۲</sup> با VSD زیر آورتی (DORV) از نوع تترالوژی فالو. آورت سوار ببروی VSD برای دریافت خون از بطن راست و چپ است (پیکان). AO، آورت؛ RV، بطن راست؛ LV، بطن چپ.

**شکل ۱۵** نمای ۵ حفره ای از وسط مری با داپلرنگی در بیمار با تترالوژی فالو یک VSD بزرگ باقیمانده با شنت چپ به راست به درون بطن راست (RV) نشان می دهد (پیکان). Asc AO، آورت سعودی؛ LV، بطن چپ.

**شکل ۱۶** نمای مدیفیه ورودی-خروجی بطن راست از وسط مری با زاویه حدود ۹۰ درجه در بیمار پس از ترمیم تنہ

<sup>۱</sup>- Delivery system

<sup>۲</sup>- DORV

شرياني وصله نقص سپتوم بطني (پيكان) به علاوه کاندوئي بطن راست (RV) به سرخرگ ششي ديده می شود. **RVOT** مجرای خروجي بطن راست.

**شكل ۱۷** نمای چهار حفره اي از وسط مری از جابجايی سرخرگ های بزرگ ازنوع d پس از ترمیم جابجایی دھلیزها (عمل Mustard) یا Senning یا مسیر (پيكان) به دھلیز سیاهراگ ششی (PVA) به بطن راست سیستمیک نشان داده شده است (RV). LV، بطن چپ.

**شكل ۱۸** نمای مقطع طولي دريچه آئورت از وسط مری با چرخش زاويه ترنسدوسير به سمت عقب تا ۹۰ درجه و اندازه عقب کشیدن پروب آناستوموز Damus-Kaye-Stansel (پيكان) را بين آئورت صعودي (AO) و سرخرگ ششی اصلی (MPA) نشان می دهد.

**شكل ۱۹** نمای Bicaval از وسط مری (زاویه ترنسدوسير حدود ۹۰ درجه) در بيمار پس از فانتن با تونل لترال يا خارج قلبی. طول تونل فانتن در اينجا نشان داده شده است.

## GUIDELINES AND STANDARDS

# Guidelines for Performing a Comprehensive Transesophageal Echocardiographic Examination in Children and All Patients with Congenital Heart Disease: Recommendations from the American Society of Echocardiography



Michael D. Puchalski, (Chair), MD, FASE, George K. Lui, MD, FASE, Wanda C. Miller-Hance, MD, FASE, Michael M. Brook, MD, FASE, Luciana T. Young, MD, FASE, Aarti Bhat, MD, FASE, David A. Roberson, MD, FASE, Laura Mercer-Rosa, MD, MSCE, Owen I. Miller, BMed (Hons), FRACP, David A. Parra, MD, FASE, Thomas Burch, MD, Hollie D. Carron, AAS, RDCS, ACS, FASE, and Pierre C. Wong, MD, Salt Lake City, Utah; Stanford, San Francisco and Los Angeles, California; Houston, Texas; Seattle, Washington; Chicago, Illinois; Philadelphia, Pennsylvania; London, United Kingdom; Nashville, Tennessee; Boston, Massachusetts; and Kansas City, Missouri

This document is endorsed by the following American Society of Echocardiography International Alliance Partners: Argentina Society of Cardiology, Asian-Pacific Association of Echocardiography, British Society of Echocardiography, Department of Cardiovascular Imaging of the Brazilian Society of Cardiology, Echocardiography Section of the Cuban Society of Cardiology, Indian Academy of Echocardiography, Indian Association of Cardiovascular Thoracic Anaesthesiologists, Indonesian Society of Echocardiography, Italian Association of Cardiothoracic Anesthesiologists, Japanese Society of Echocardiography, Korean Society of Echocardiography, National Society of Echocardiography of Mexico, Saudi Arabian Society of Echocardiography.

**Keywords:** Transesophageal echocardiography, TEE, Congenital heart disease, CHD, Echocardiography

From the University of Utah, Primary Children's Hospital, Salt Lake City, Utah (M.D.P.); Stanford University School of Medicine, Stanford, California (G.K.L.); Baylor College of Medicine and Texas Children's Hospital, Houston, Texas (W.C.M-H.); University of California, San Francisco, California (M.M.B.); Seattle Children's Hospital and University of Washington, Seattle, Washington (L.T.Y. and A.B.); Advocate Children's Hospital, Chicago, Illinois (D.A.R.); University of Pennsylvania Perelman School of Medicine, The Children's Hospital of Philadelphia, Philadelphia, Pennsylvania (L.M.-R.); Evelina London Children's Hospital, London, United Kingdom (O.I.M.); Vanderbilt Medical Center, Nashville, Tennessee (D.A.P.); Tufts Medical Center, Boston, Massachusetts (T.B.); Children's Mercy Hospital, Kansas City, Missouri (H.D.C.); Children's Hospital, Los Angeles, California (P.C.W.).

The following authors reported no actual or potential conflicts of interest in relation to this document: Michael D. Puchalski, MD, FASE, George K. Lui, MD, FASE, Hollie D. Carron, AAS, RDCS, ACS, FASE, Laura Mercer-Rosa, MD, MSCE, Owen I. Miller, BMed (Hons), FRACP, Wanda C. Miller-Hance, MD, FASE, David Parra, MD, FASE, Luciana T. Young, MD, FASE.

The following authors reported relationships with one or more commercial interests: Michael Brook, MD, FASE receives research funding from Siemens. Thomas Burch, MD is owner and manager of PTEmasters, LLC, a board review website for the PTEeXAM. David A. Roberson, MD, FASE serves on the speakers bureau for Philips Ultrasound. Pierre C. Wong, MD, serves on the speakers bureau for Astra Zeneca.

**NOTICE AND DISCLAIMER:** This report is made available by ASE as a courtesy reference source for members. This report contains recommendations only and should not be used as the sole basis to make medical practice decisions or for disciplinary action against any employee. The statements and recommendations contained in this report are primarily based on the opinions of experts, rather than on scientifically-verified data. ASE makes no express or implied warranties regarding the completeness or accuracy of the information in this report, including

the warranty of merchantability or fitness for a particular purpose. In no event shall ASE be liable to you, your patients, or any other third parties for any decision made or action taken by you or such other parties in reliance on this information. Nor does your use of this information constitute the offering of medical advice by ASE or create any physician-patient relationship between ASE and your patients or anyone else.

**Reviewers:** This document was reviewed by members of the 2017–2018 ASE Guidelines and Standards Committee, ASE Board of Directors, and ASE Executive Committee. Reviewers included Alicia Armour, BS, MA, RDCS, FASE, Federico M. Asch, MD, FASE, Scott D. Choyce, RDCS, RVT, RDMS, FASE, Frederick C. Cobey, MD, FASE, Gregory J. Ensing, MD, FASE, Craig Fleishman, MD, FASE, Mark K. Friedberg, MD, FASE, Neal Gerstein, MD, FASE, Yvonne E. Gilliland, MD, FASE, Robi Goswami, MD, FASE, Lanqi Hua, RDCS (AE/PE/FE), FASE, Pei-Ni Jone, MD, FASE, James N. Kirkpatrick, MD, FASE, Stephen H. Little, MD, FASE, Rick Meese, ACS, RDCS, RCS, RCIS, FASE, Andy Pellett, PhD, RCS, RDCS, FASE, Dermot Phelan, MD, PhD, FASE, and David H. Wiener, MD, FASE.

### **Attention ASE Members:**

Visit [www.aseuniversity.org](http://www.aseuniversity.org) to earn free continuing medical education credit through an online activity related to this article. Certificates are available for immediate access upon successful completion of the activity. Nonmembers will need to join the ASE to access this great member benefit!

Reprint requests: American Society of Echocardiography, Meridian Corporate Center, 2530 Meridian Parkway, Suite 450, Durham, NC 27713 (E-mail: [ase@asecho.org](mailto:ase@asecho.org)).

0894-7317/\$36.00

Copyright 2018 by the American Society of Echocardiography.

<https://doi.org/10.1016/j.echo.2018.08.016>

Abbreviations
<b>2D</b> = Two-Dimensional
<b>3D</b> = Three-Dimensional
<b>ACHD</b> = Adult Congenital Heart Disease
<b>ASE/SCA</b> = American Society of Echocardiography/Society of Cardiovascular Anesthesiologists
<b>AoV</b> = Aortic Valve
<b>Asc Ao</b> = Ascending Aorta
<b>CA</b> = Coronary Artery
<b>CHD</b> = Congenital Heart Disease
<b>DTG</b> = Deep Transgastric
<b>IVC</b> = Inferior Vena Cava
<b>LA</b> = Left Atrium
<b>LAX</b> = Long Axis
<b>LV</b> = Left Ventricle
<b>LVOT</b> = Left Ventricular Outflow Tract
<b>ME</b> = Midesophageal
<b>MV</b> = Mitral Valve
<b>PA</b> = Pulmonary Artery
<b>PV</b> = Pulmonary Valve
<b>RA</b> = Right Atrium
<b>RV</b> = Right Ventricle
<b>RVOT</b> = Right Ventricular Outflow Tract
<b>SAX</b> = Short Axis
<b>SVC</b> = Superior Vena Cava
<b>TG</b> = Transgastric
<b>TTE</b> = Transthoracic Echocardiography
<b>TEE</b> = Transesophageal Echocardiography
<b>TV</b> = Tricuspid Valve
<b>UE</b> = Upper Esophageal

## INTRODUCTION

Since its introduction nearly four decades ago, transesophageal echocardiography (TEE) has witnessed a remarkable evolution. The important strides made in improving TEE technology – including development of multiplane phased array transducers, matrix array transducers for three-dimensional (3D) imaging, and extensive improvements in echocardiographic imaging platform technology – have catalyzed the establishment of TEE as a critically important cardiovascular imaging modality.<sup>1–15</sup> The esophageal position of the ultrasonic transducer provides superior cardiac imaging and allows monitoring of the heart before, during, and after cardiac or non-cardiac procedures without interruption.

TEE in the pediatric population became widespread after the introduction of commercially available miniaturized probes in the late 1980s.<sup>1–3</sup> Since then, the safety and invaluable clinical utility of this technique for many types of pediatric and adult congenital cardiac surgery and cardiac interventional procedures has become well established.<sup>4–15</sup> The increasing applications of TEE coupled with newer technology led the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists (ASE/SCA) to publish the most recent recommendations for a comprehensive TEE evaluation in 2013 geared primarily to adult patients with structurally normal hearts.<sup>16</sup>

Similarly, pediatric TEE has incorporated the use of 3D technology and exploited the advances in probe and software technology, leading to the need for a position document to update the current state-of-the-art for pediatric and congenital cardiology.<sup>12,17–32</sup> The current document was written to provide guidelines for the use of TEE, and recommendations for standardized TEE views and techniques that can be used in the assessment of children or any patient with congenital heart disease (CHD).

**Table 1** Indications for TEE in the patient with CHD

### Diagnostic Indications

- Patient with suspected CHD and non-diagnostic TTE
- Presence of patent foramen ovale (PFO) with and without agitated saline contrast and direction of shunting as possible etiology for stroke
- Evaluation for cardiovascular source of embolus with no identified non-cardiac source
- Evaluation of intra- or extra-cardiac baffles following the Fontan, Senning, or Mustard procedure
- Suspected acute aortic pathology including but not limited to dissection/transsection (e.g., Marfan syndrome, bicuspid aortic valve, coarctation of the aorta)
- Intra-cardiac evaluation for vegetation or suspected abscess
- Evaluation for intra-cardiac thrombus prior to cardioversion for atrial flutter/fibrillation and/or radiofrequency ablation
- Pericardial effusion or cardiac function evaluation and monitoring postoperative patient with open sternum or poor acoustic windows
- Evaluating status of prosthetic valve in the setting of inadequate TTE images
- Re-evaluation of prior TEE finding for interval change (e.g., resolution of thrombus after anticoagulation, resolution of vegetation after antibiotic therapy)

### Perioperative Indications

- Immediate preoperative definition of cardiac anatomy and function
- Postoperative surgical results and function
- Intraoperative monitoring of ventricular volume and function
- Monitoring of intra-cardiac/intravascular air and adequacy of cardiac de-airing

### TEE-guided Interventions

- Guidance for placement of occlusion device (e.g., septal defect, Fontan or intra-atrial baffle fenestration)
- Guidance for blade or balloon atrial septostomy
- Guidance for creation/stenting of interventricular communication
- Guidance during percutaneous valve interventions
- Guidance during radiofrequency ablation procedure
- Assessment of results of minimally invasive surgical incision or video-assisted cardiac procedure
- Guidance during placement of catheter-based cardiac assist device (e.g., Impella® heart pump)

Modified from Ayres et al.<sup>31</sup>

## GENERAL GUIDELINES

### Indications and Contraindications for TEE

**Indications in the Pediatric Patient.** TEE in children is commonly used for the assessment of anatomy and function during cardiac surgery, typically for CHD (Table 1).<sup>11,31</sup> However, due to certain inherent limitations in the imaging of key cardiac structures (discussed below), it should not serve as the sole or primary diagnostic modality for assessment of pediatric heart disease. Instead, the task force recommends preoperative transthoracic echocardiography (TTE) for all children undergoing cardiac surgery as it may provide information unobtainable with intraoperative TEE alone. Intraoperative TEE performed immediately prior to the surgical intervention allows the operative team to review the preoperative diagnostic findings, identify any new findings, and assist in the assessment of hemodynamics and myocardial function prior to onset of the operative procedure. TEE may facilitate catheter placement, real-time monitoring of volume status and myocardial

function in order to inform selection of anesthetic agents, inotropic support, and management decisions.<sup>33-36</sup> In the intraoperative setting, TEE can be used to assess cannula position and venous drainage during cardiopulmonary bypass, facilitate intra-cardiac de-airing, and characterize rhythm disturbances. An important role of the post-intervention TEE is to evaluate the adequacy of the surgical repair and assess ventricular function. However, it should be recognized that the postoperative TEE findings could be influenced by a number of factors such as anesthetic depth, hemodynamic state, and vasoactive drug administration. Decisions to return to bypass, therefore, should consider not only the TEE findings, but also clinical information, hemodynamics, and the risk versus benefit of a re-intervention.

TEE serves an important role in the cardiac catheterization laboratory.<sup>37-39</sup> During placement of septal closure devices, TEE provides precise identification of the location, geometry, and number of defects, allowing the interventionalist to develop clear strategies for closure.<sup>40-42</sup> TEE use during catheter-based procedures limits fluoroscopy time, decreases contrast load, and improves the overall safety of the interventions.<sup>38,39,43,44</sup>

Outside of the procedural setting, TEE is used to provide diagnostic images when the patient has poor acoustic windows, if TTE is non-diagnostic, or in cases where TEE imaging has proven superior, such as evaluation for atrial thrombi prior to cardioversion, assessment for intra-cardiac shunting in patients with a cerebrovascular accident, visualization of the Fontan pathway, assessment of prosthetic valve function and associated pathology, and evaluation of endocarditis on both native and prosthetic valves.<sup>33-35,45-48</sup>

Intraoperative TEE use is increasing for monitoring myocardial function and ventricular loading conditions in patients with CHD and other acquired pathologies undergoing high-risk non-cardiac procedures, as well as for the visualization of landmark structures during minimally invasive surgery.<sup>36,49-54</sup> In the intensive care unit, TEE provides diagnostic information in the postoperative patient with suboptimal transthoracic windows or an open sternum, and in the management of patients undergoing mechanical circulatory support.<sup>46,55-57</sup>

### Indications in the Adult with Congenital Heart Disease (ACHD)

TEE is indicated in the ACHD patient for many of the same reasons as noted above: inadequate TTE images, guidance of cardiac interventions in the operating room or catheterization laboratory, assessment of intra-cardiac thrombus (particularly prior to elective cardioversion or radiofrequency ablation), and for diagnosis of infective endocarditis with moderate to high pretest probability.<sup>16</sup> TEE is often superior to TTE for assessment of interatrial shunts, anomalous pulmonary venous return, atrioventricular valves (AV), complex atrial baffle procedures, the Fontan pathway, prosthetic heart valves and conduits, and coronary artery anomalies.

TEE may be very useful in the assessment of all ACHD patients who are undergoing cardiac surgery for the first time and during reoperations for management of residual hemodynamic lesions as well as in the setting of non-cardiac surgery.<sup>58</sup> In these settings, TEE can provide complete morphologic and functional assessment of simple to complex CHD.<sup>9</sup>

### Contraindications in the Pediatric Patient

Probe placement and esophageal instrumentation are semi-invasive and carry potential risks. The patient's history should be reviewed for relative and absolute contraindications (Table 2). If the contraindication is relative, potential benefits should outweigh the associated risks. For example, special consideration must be given to the patient

**Table 2** Contraindications to TEE

Absolute	Relative
Unrepaired tracheoesophageal fistula	History of esophageal or gastric surgery
Esophageal obstruction or stricture	History of esophageal cancer
Perforated hollow viscus	Esophageal varices or diverticulum
Active gastric or esophageal bleeding	Recent gastrointestinal bleed
Poor airway control	Active esophagitis or peptic ulcer disease
Severe respiratory depression	Vascular ring, aortic arch anomaly with or without airway compromise
Uncooperative, unsedated patient	Oropharyngeal pathology
	Severe coagulopathy
	Significant thrombocytopenia
	Cervical spine injury or anomaly
	Post-gastrostomy or fundoplication limit imaging to esophageal windows

Modified from Ayres et al.<sup>31</sup>

who has undergone esophageal surgery since it is unclear whether/when probe placement is safe. The risk/benefit ratio of TEE after gastrostomy tube/button placement (with or without associated Nissen fundoplication) might require limiting or avoiding imaging from the stomach (transgastric or deep transgastric imaging). Care must be taken in children with Down syndrome secondary to a relatively large tongue, narrow hypopharyngeal structures, and/or cervical spine instability.<sup>59</sup> In the pediatric patient with a vascular ring, TEE is relatively contraindicated because the esophagus and trachea are confined to a restricted space and a rigid TEE probe in the esophagus can produce significant airway compromise.

### Contraindications in the ACHD Patient

Absolute and relative contraindications to TEE in the adult are outlined in the 2013 ASE/SCA Comprehensive TEE Guidelines.<sup>16</sup> The same considerations described above for the child with Down syndrome or with a vascular ring apply to the ACHD population.

### Key Points

1. Indications for TEE in children and all patients with CHD include pre and postoperative evaluation of cardiac anatomy and function, guidance of transcatheter interventions, non-diagnostic TTE, intra-cardiac thrombus, prosthetic valve function, and diagnosis of infective endocarditis.<sup>1</sup>
2. The benefits of the procedure should outweigh the risks when patients with relative contraindications are evaluated for TEE. Relative contraindications primarily relate to the potential of esophageal trauma or airway compromise (Table 2).

### Training and Certification

**Cognitive Skills, Technical Skills, and Training Guidelines.** TEE imaging is considered an advanced skill, thus, it is expected that the pediatric or ACHD echocardiographer performing the study should have expertise in the TTE diagnosis of structural and acquired heart disease. Core pediatric echocardiography skills that include medical knowledge

**Table 3** Guidelines for training and maintenance of competence

Component	Objective	Duration	Number of cases
Echocardiography	Prior experience in performing/interpreting TTE	6 mo or equivalent	Minimum of 450 cases across all age groups
Esophageal intubation (if part of practice)	TEE probe insertion	Variable	25 cases (50% under 2 years of age)
TEE exam	Perform and interpret with supervision	Variable	50 cases
Ongoing TEE experience	Maintenance and competency	Annual	25–50 cases per year or achievement of laboratory-established outcome variables

Modified from Ayres et al.<sup>31</sup>

and patient care or procedural skills as outlined in the Task Force addressing Pediatric Cardiology Fellowship Training in Noninvasive Cardiac Imaging are recommended for pediatric cardiologists planning to perform TEE independently (Table 3).<sup>31,60</sup> This does not preclude a categorical fellow from starting to learn TEE skills during his/her fellowship, including but not limited to time on a simulator which can optimize the ability to rapidly and fluidly obtain images. Evaluation of the anatomic and hemodynamic complexity of pediatric and ACHD patients demands an in-depth knowledge of all congenital and acquired pediatric cardiovascular pathologies, along with associated palliative and corrective surgical and transcatheter procedures. In addition, a rich experience in two-dimensional (2D) ± 3D echocardiography, as well as pulsed-wave, continuous-wave, and color flow Doppler imaging techniques, is necessary.<sup>9</sup>

Performance of TEE requires understanding of oropharyngeal anatomy, endoscopic techniques, and the indications, contraindications, and risks involved in the procedure, particularly if one is responsible for probe insertion. In small children, proper probe selection and supervision of intubation for the novice echocardiographer can mitigate risk.<sup>61,62</sup> The individual responsible for probe placement should be skilled in esophageal intubation. Suggested training guidelines for those expected to be involved in probe insertion in children include the performance of at least 25 esophageal intubations with direct supervision by an experienced pediatric echocardiographer, gastrointestinal endoscopist, or anesthesiologist, optimally in an active, accredited, and high-volume pediatric heart center, before unsupervised probe placement in this population is considered. This supervised experience should also include children and adults in a variety of clinical settings, including but not limited to operating rooms, catheterization laboratories, hybrid rooms, intensive care units, and sedation suites. The echocardiographer must develop skills in image acquisition and optimization, probe manipulation, and interpretation of the data. The findings should be rapidly and effectively communicated to the surgical and/or interventional team(s) as appropriate.<sup>63</sup>

Supervised performance and interpretation of at least 50 TEE examinations in pediatric and ACHD patients prior to independent TEE imaging is recommended.<sup>64</sup> For ACHD imaging by practitioners involved primarily in adult TEE, the minimum requirements for training and maintenance of competence are outlined in the 2013 ASE/SCA Comprehensive TEE Guidelines but ideally this imaging should be performed by physicians with experience and/or training in ACHD.<sup>16</sup> In addition to cardiologists, some cardiac anesthesiologists who care for children have received appropriate training and experience in pediatric TEE and provide interpretation in the operating room. In these cases, a second provider trained in TEE or congenital cardiovascular anesthesiology should be available to mitigate distraction from performing peri-procedural TEE monitoring. While some international societies support non-physician led TEE in adult patients, in the setting of congenital heart disease it is

appropriate that the procedure is performed under direct medical supervision.

**Recommendations for Physicians Not Formally Trained in TEE Performance in Pediatric and ACHD Patients.** Physicians interested in performing TEE without a formal pediatric cardiology fellowship will benefit from intensive training in an accredited congenital/pediatric echocardiography laboratory with emphasis on TEE imaging.<sup>31</sup> These guidelines aim to promote safety and quality by clarifying the necessary skills and the extent of supervised training and experience needed to perform TEE. There is no intent to exclude physicians from performing TEE, but rather to promote a standard of safety and effective performance of the exam in complex and often frail pediatric and ACHD populations.

**Maintenance of Skills.** Maintenance of skills should be achievable with 25–50 annual TEE examinations in pediatric and/or ACHD patients. In large programs where duties are shared among many TEE-competent physicians, it is conceivable that this metric may not be met for each trained physician. In these cases, alternative evaluations of maintenance of proficiency are often based on outcomes variables established by the laboratory director. Ongoing quality improvement is recommended, focusing upon updating laboratory guidelines and assessing outcomes as well as an annual review of the physician's TEE performance and accuracy of interpretation. The Intersocietal Accreditation Commission (IAC) – an independent body that provides accreditation to pediatric echocardiography laboratories based upon published, accepted standards – regularly updates its guidelines for accreditation in pediatric echocardiography, including pediatric TEE (<http://www.intersocietal.org/>).

**Certification.** There is currently no certification pathway specifically designed for the physician performing TEE for the pediatric or ACHD patient.

## Key Points

1. Physicians wishing to perform TEE in children and all patients with CHD should:
  - a. Receive supervised training and interpretation by a practitioner with significant TEE experience. That person can be a pediatric echocardiographer, congenital cardiovascular anesthesiologist, or echocardiographer with experience and/or training in ACHD.
  - b. Undergo supervised performance and interpretation of at least 50 TEE examinations in pediatric and/or ACHD patients prior to independent TEE imaging.
2. There is currently no certification pathway specifically designed for the physician performing TEE for the pediatric or ACHD patient.

## Patient Selection and Complications

The overall clinical experience with TEE demonstrates a favorable safety profile, with a 1-3% complication rate in the pediatric age group.<sup>11,61,65-69</sup> Most problems are seen in neonates and small infants and are associated with respiratory compromise or vascular compression.<sup>70-75</sup> Mild sinus slowing and even bradycardia for age have been reported from vagal stimulation during probe insertion as well as alterations of cardiac rhythm.<sup>61,76</sup> When intraoperative TEE imaging is performed, the imaging probe ideally should be inserted before placement of sterile drapes. The preoperative study should be completed prior to skin incision in order to minimize electrocautery artifacts. At most centers, the tip of the probe is maintained in the stomach during the bypass phase in an effort to limit esophageal morbidity given that the widest diameter of the probe is at its tip. Hardware availability or other reasons may preclude leaving the probe in situ throughout the bypass period. The probe might be removed after the preoperative study and reinserted prior to separation from bypass or used only for postoperative assessment. In these settings, potential additional risks should be recognized such as those associated with oropharyngeal/esophageal instrumentation in the fully anticoagulated patient, potential tracheal extubation or tube malposition, or bypass cannula dislodgement. Serious complications such as esophageal perforation, inadvertent gastric laceration during sternotomy, and subglottic stenosis have been rarely described.<sup>77,78</sup> The risks associated with bleeding related to TEE imaging in anticoagulated patients are largely unknown and the risk/benefit of TEE in this setting should be considered.

The incidence of oropharyngeal dysphagia after TEE has been estimated at 18% in children undergoing open heart procedures.<sup>79-81</sup> Risk factors included age < 3 years, preoperative endotracheal intubation, longer duration of endotracheal intubation, and interventions for left-sided obstructive lesions. The presence of dysphagia can affect postoperative recovery and contribute to major morbidity. Given the relatively large probe size in the neonate and small infant and the complexity and duration of many interventions, every effort should be made to modify these risk factors. Another clinical concern in children is that of upper airway obstruction requiring the need for tracheal reintubation in certain high-risk patients.<sup>82</sup> A significant increase in endotracheal tube cuff pressure is reported during TEE probe insertion; however, this increase is transient and returns to baseline values upon probe advancement into the stomach.<sup>83</sup> Although a high incidence (64%) of abnormal findings (erythema, edema, and hematoma; less frequently, mucosal erosion and petechiae) were found by flexible endoscopy after TEE for pediatric cardiac surgery, no long-term feeding or swallowing difficulties were identified.<sup>84</sup>

Special consideration should be given to critically ill infants with total anomalous pulmonary venous anomalies who might develop hypotension and hypoxemia from compression of the pulmonary venous confluence by the imaging probe.<sup>85,86</sup> Placement of the transducer after sternotomy is often uneventful, however, suggesting that if TEE is used in this setting, the probe should be inserted after the chest is open and close observation for hemodynamic compromise is warranted.

## Sedation and Anesthesia

**The Pediatric Patient.** Sedation and anesthesia for TEE in patients with CHD and children should be performed by experienced providers who understand the anatomy and pathophysiology of the specific lesions.<sup>87</sup> Esophageal intubation can be quite stimulating, therefore most children require deep sedation or general anesthesia, and an anesthesiologist or equivalent provider with expertise in caring for pediatric

patients is usually involved in selecting, administering, and monitoring these agents. Close communication between the anesthesiologist and the echocardiographer prior to and during the procedure is essential.

**The ACHD Patient.** TEE in the ACHD patient is routinely performed with conscious sedation as described in the 2013 ASE/SCA Comprehensive TEE Guidelines.<sup>16</sup> Serious complications are rare in this patient population; however, additional considerations may apply if there are associated hemodynamic disturbances, severe pulmonary hypertension, residual cyanosis, or single ventricle physiology.<sup>9</sup> In the adult with Fontan circulation, it is important to minimize changes in systemic venous volume since venodilation or dehydration can reduce the central venous pressure and decrease flow through the pulmonary circuit.<sup>88</sup> Intravenous hydration may be needed to offset the detrimental effects of fasting combined with the vasodilatory and/or myocardial depressant effects of sedatives. Hypoventilation with consequent hypoxia can increase pulmonary vascular resistance, resulting in an overall reduction in cardiac output in the Fontan patient, therefore supplemental oxygen and capnography for monitoring are strongly recommended.<sup>88</sup> Since any patient with a Fontan fenestration or residual shunt is at high risk for paradoxical embolism, meticulous care, including the use of IV filters, should be considered. Changes in afterload can exacerbate right-to-left shunts, increasing the risk of paradoxical emboli and decreasing arterial oxygen saturation.<sup>9</sup> Therefore, it may be prudent to ask for the assistance of the anesthesia team when performing TEE in the ACHD patient with Fontan physiology, unrepaired or palliated cyanotic cardiac lesions, pulmonary hypertension, or a history suggestive of moderate to severe obstructive sleep apnea.

## Key Points

1. TEE demonstrates a favorable safety profile and low complication rate in children and all patients with CHD.
2. Most complications are related to respiratory compromise or vascular compression. Rare serious complications include esophageal perforation, gastric laceration, and subglottic stenosis.
3. While general anesthesia is typically employed for the performance of TEE in children, TEE in the adult with CHD is routinely performed with conscious sedation. Anesthesia assistance should be considered in the adult with Fontan physiology, unrepaired or palliated cyanotic cardiac lesions or severe pulmonary hypertension.

## Probe Selection, Insertion Techniques, and Care

**Probe Selection.** Transducer technology for TEE imaging has evolved significantly and probes now have higher resolution, more options for image plane acquisition, and enhanced modes to better assess the cardiovascular system even in very small infants. Initial *monoplane* (single plane) TEE devices allowed only transverse or horizontal imaging planes.<sup>89</sup> The incorporation of a second scanning plane in *biplane* probes enabled the longitudinal or vertical imaging plane (90°), thereby providing for interrogation of structures with orthogonal views.<sup>90-94</sup> The development of *multiplane* (omniplane) probes permitted imaging in planes anywhere between 0°-180°.<sup>95-98</sup> Advances in 3D technology for TEE devices has evolved from off-line reconstruction of sequentially acquired 2D image planes, to real-time imaging using a specialized matrix-array probe. The probe renders a selected volume of the heart as a real-time 3D dataset able to display anatomy from any perspective, including the surgeon's view.<sup>99,100</sup>

TEE probe selection for infants and children relies primarily on two factors: the weight of the patient and the size of the probe. The *pediatric mini-multiplane* probe was the initial miniaturized device with multiplane capabilities available for use in neonates, infants and small children. Subsequently the *pediatric micro-multiplane probe* was developed for use in the tiniest babies, representing the smallest multiplane device available today.<sup>18,21,64</sup> Equipment manufacturers have suggested a patient weight limit for the use of these devices (over 3.0–3.5 kg for the mini-multiplane and over 2.5 kg for the micro-multiplane), however, in clinical practice both probes have been safely used quite extensively in patients well below these weight recommendations.<sup>19,101</sup> Both the micro- and the mini-multiplane probes have 2D and Doppler capabilities. The adult 2D multiplane TEE probe should be considered for a patient weight >25 kg, however, this device has also been applied to smaller children. The advantage of using an adult sized probe when possible is better image quality due to having a greater density of piezoelectric crystals, and the larger size may allow for improved contact with the esophagus. The risk/benefit ratio of oversizing the TEE probe should be considered on a case-by-case basis but may be safe when placed with minimal resistance. Current 3D TEE imaging probes have slightly larger dimensions than 2D multiplane adult TEE probes and should be considered for a patient weight >30 kg rendering them unsuitable for use in most young children.

Intra-cardiac echocardiography catheters (8–10 F) have been used for TEE in neonates and small infants and may provide clinically useful information in some cases.<sup>102–104</sup> Imaging is limited to a single longitudinal (90°) plane, and lack of formal regulatory approval for this specific application, coupled with the stiffness of the catheter, have prevented widespread use.

Intraoperative epicardial echocardiography may be used in patients in whom TEE imaging is not feasible due to patient size constraints, contraindications to esophageal instrumentation, or when TEE is not available. Epicardial imaging may also be indicated when the patient is not able to tolerate TEE imaging or when there are concerns for probe-related hemodynamic or respiratory compromise. In some instances, epicardial imaging can overcome limitations of TEE, such as interrogation of the branch PAs (in particular the left PA), and in patients undergoing interventions addressing muscular ventricular septal defects either by direct surgical closure or percutaneous transcatheter interventions. While there is potential for hemodynamic alterations and rhythm abnormalities, infection risks, and a need for operator expertise while directly touching the heart, most experienced centers have used this approach safely.

**Probe Insertion Techniques.** The TEE probe should be inserted after adequate sedation/anesthesia and following an appropriate period of fasting. The technique for probe insertion may vary among institutions but can be facilitated by maintaining the patient's head, as well as the probe within the oropharyngeal cavity, in the neutral, midline position. In most cases, the unlocked, well-lubricated transducer is blindly but gently advanced into the esophagus. Slight anteflexion of the probe tip, subluxation of the mandible, reverse cricoid maneuver, and/or device guidance with a gloved finger can facilitate probe insertion. Lifting the head may also help in older children. In some cases, direct laryngoscopy by an anesthesiologist may aid visualization and esophageal intubation if there is difficulty during blind probe-placement. Transducer insertion is an important skill in the practice of TEE. Although some effort might be expected, distinguishing normal from excessive resistance requires expertise and ongoing experience with the technique.

In children, positioning the head to the side has been reported to facilitate passage of the probe, as this maneuver reportedly results in closure of the ipsilateral pyriform sinus, a site where the probe may encounter obstruction.<sup>105</sup> In the intraoperative setting, once the TEE probe has been inserted, the patient's head can be repositioned to avoid interference with the surgical field during device manipulation. Factors that may render probe insertion difficult in infants weighing 4 kg or less include lower weight, abnormal craniofacial anatomy, prematurity, and a diagnosis of 22q11 deletion.<sup>106</sup> Occasionally an appropriate sized probe may experience difficulty in insertion if a cuffed endotracheal tube is used which can reduce the esophageal lumen. Communication with the anesthesiologist to temporarily deflate the cuff for insertion and confirmation of adequate ventilation should be considered. If there are respiratory or hemodynamic changes resulting in compromise, a smaller probe can be attempted or the exam should be aborted.

Preoperative evidence by TTE or other modality of an aberrant subclavian artery or unusual arch laterality should be communicated to the anesthesia team allowing for intraoperative arterial pressure monitoring to be established on the contralateral upper extremity before TEE probe insertion given that the arterial tracing may be lost or severely damped from compression of the aberrant artery.

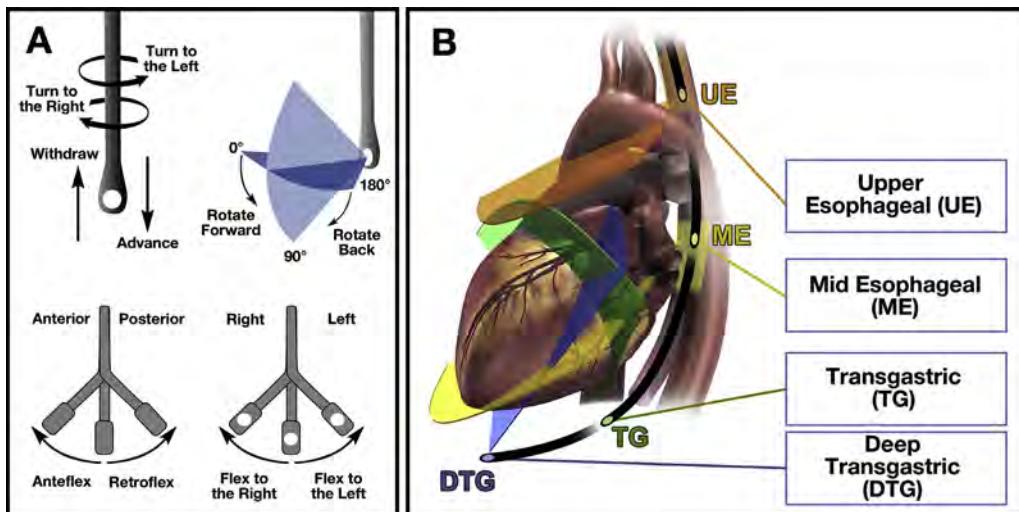
**Probe Care.** The Centers for Disease Control and Prevention (CDC) categorizes all medical devices according to their potential for patient infection.<sup>107</sup> Because TEE probes contact mucous membranes, they require high-level disinfection after each use. Current recommended practices have evolved to cover the handling, cleaning, disinfection, and storage of all TEE probes. Each institution should develop a standard practice and protocol for TEE probe care that incorporates regulatory guidelines and manufacturer's recommendations (Table 4). Care should be taken to protect the piezoelectric crystals from rough handling or physical trauma. The probe tip and shaft should be inspected for damage or cracks as part of routine maintenance, before probe insertion, and after probe withdrawal. Only the probe shaft and tip can be immersed. The handle, connector, and cable should be cleaned separately by wiping them down with the recommended disinfectant. Adequate rinsing is crucial for patient safety. Probes should be labeled with a disinfection date and reprocessed according to the institution's laboratory policy. As the recommendations evolve, the high-level disinfection process should be updated accordingly.

## Key Points

1. TEE probe selection is primarily based upon patient weight and probe size.
  - a. Pediatric 2D TEE probes are available as a micro-multiplane probe for patients > 2.5 kg, and a mini-multiplane probe for patients > 3.0–3.5 kg.
  - b. The adult 2D and 3D TEE probes are available for use in patients > 25 kg and >30 kg, respectively.
  - c. In clinical practice, each probe has been used safely below these weight recommendations
2. TEE probe insertion should be performed with adequate sedation/anesthesia, and after an appropriate period of fasting. Careful monitoring for complications is essential.
3. TEE probe rinsing and high-level disinfection should be performed after each use, according to manufacturer's instructions and institutional laboratory policy.

**Table 4** Steps involved in TEE probe care

Point of care wipe down	When the probe is removed from the patient, it should be immediately wiped down to remove all superficial material with an enzymatic product before it dries and adheres to the probe.
Transported in container	The probe should then be placed in a container that protects the integrity of the fragile terminal tip of the probe as well as preventing the contamination from secretions on the probe. This will allow for safe transportation to the location of cleaning and disinfection.
Cleaning	A cycle of rinsing the initial enzymatic cleaner off the probe should be followed by another enzymatic cleaning and prolonged rinse.
Manual drying	Use lint-free drying cloth to prevent dilution of disinfectant.
Electrical leakage testing	Promotes patient safety and now required for IAC accreditation
Disinfection	Manual or automated high-level disinfection with documentation. Manual processing requires strict adherence to soaking and rinsing times to prevent probe damage and chemical burns.
Rinsing	Follow instructions of the disinfectant manufacturer and Joint Commission recommendations for water quality.
Probe drying	Probes should hang in a vertical cabinet to dry, with probe not touching anything.
Storage	Store probes in a well-ventilated dust-free cabinet with probe tip protectors covering the piezoelectric crystal. (A positive-pressure HEPA-filtered cabinet is optimal.)
Transport	Transport the probe to needed location in a clean, protective container.



**Figure 1** Terminology used to describe manipulation of the transesophageal echocardiographic probe during image acquisition. **(A)** Terminology used for the manipulation of the transesophageal echocardiographic probe. **(B)** Four standard transducer positions within the esophagus and stomach and the associated imaging planes. Reprinted with permission from Hahn et al.<sup>16</sup>

### Instrument Manipulation and Probe Controls

The TEE probe can be manipulated in several directions for image acquisition of cardiovascular structures (Figure 1). The terminology used to describe TEE probe manipulation assumes the patient is lying in the supine position and the imaging plane is directed anteriorly through the heart from the esophagus. The established nomenclature in reference to the heart considers the following positions: superior (toward the head), inferior (toward the feet), posterior (toward the spine), and anterior (toward the sternum). The terms right and left in reference to the patient denote his/her right and left sides, respectively.

The probe shaft can be advanced (pushed in) or withdrawn (pulled out), and rotated to the right (clockwise) or to the left (counterclockwise). The controls on the probe handle allow for movement (flexion) of the probe tip. In the adult multiplane probe, one control (the larger wheel) allows for anteflexion (flexion anteriorly) or retroflexion (flexion posteriorly) and the other control (smaller wheel) provides for right or left flexion. Pediatric TEE probes can be anteflexed and retroflexed but generally lack the right-left flexion control, limiting the available imaging planes. In small infants, minimal adjustments in probe

position allow navigation across multiple cross-sections. The multi-plane probe tip allows the imaging plane angle to rotate between 0°–180° (forward rotation) and from 180° toward 0° (backward rotation).

### Role of the Sonographer

ASE recognizes that sonographers are an integral part of the cardiac imaging team and support their active role during the performance of a TEE. However, that role should be limited to their scope of practice. Specifically, ASE supports sonographers using their expertise and skills to optimize images (i.e., adjust gain, contrast, and other machine settings) as well as crop and display 3D data sets during the TEE exam. ASE does not advocate for sonographers to perform TEE intubation or manipulation of the probe.<sup>108</sup>

### Comprehensive Imaging Examination

The 2013 ASE/SCA Comprehensive TEE Guidelines provided a series of key 2D tomographic views written and oriented toward adults with structurally normal hearts. Proper performance of a pediatric or CHD

TEE examination was outside the scope of that document, requiring modifications to address several important and unique considerations, but whenever possible this document uses the same views and follows the same nomenclature for the sake of consistency, including the assumption that patients have levocardia with normal situs.

TEE imaging is performed from *four* primary positions within the gastrointestinal tract (Figure 1): midesophageal (ME), transgastric (TG), deep transgastric (DTG), and upper esophageal (UE). Images in the ME, TG, and UE positions will be displayed in the same manner as the 2103 guidelines with near field and far field referring to structures closer and further from the probe, respectively (Figure 2). In contrast however, we will present the DTG views inverted, with the apex of the heart at the bottom of the screen in an “anatomically correct” position.

The echocardiographic evaluation of children and all patients with CHD is based on structures rather than views. Given the wide diversity of CHD with innumerable anatomic variations, some TEE views need to be modified to discern the precise cardiac anatomy for any given patient. The 28 tomographic views described herein do not have to occur in order and should serve as a starting point, with the understanding that improvisation and nonstandard views (using various probe maneuvers such as left-right rotation, slow advancement/withdrawal, or slow rotation of the transducer angle) may be necessary for optimal visualization of the structure in question (Table 5). Similarly, single-beat loops of a tomographic view might be inadequate for imaging the anatomy, and longer video clips (sweeps) may be needed to capture essential information. For any valve or structural abnormality, 2D, color flow, and spectral Doppler imaging in SAX and multiple LAX views, as well as 3D structural and color Doppler imaging should be utilized when appropriate. Image resolution should be optimized by minimizing sector angle and increasing magnification to maximize frame rate. Likewise, Nyquist color scale, sector angle, and color depth should be adjusted to limit the amount of color speckle in the far field.

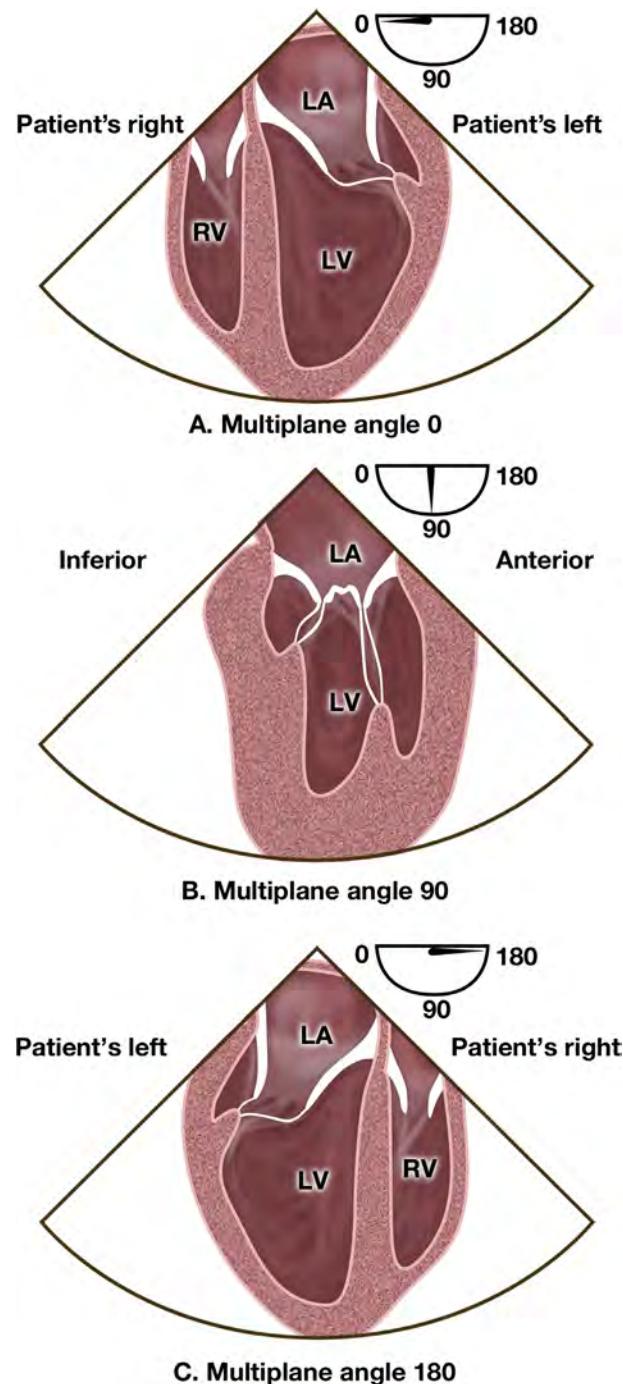
By utilizing the 28 views outlined in this document, a comprehensive TEE examination can be performed in virtually any pediatric patient with or without CHD, and in most ACHD patients. For each view, accompanying videos are available online at [www.onlinejase.com](http://www.onlinejase.com).

### 1. ME 4-Ch (Video 1)

The **ME Four-Chamber View** is obtained after initial probe insertion in the esophagus when all cardiac chambers—right atrium (RA), left atrium (LA), right ventricle (RV), and left ventricle (LV) – the interatrial (IAS) and interventricular (IVS) septa, and the mitral (MV) and tricuspid valves (TV) are visualized. All ME views obtained below start from this “home base.” This view simulates a transthoracic apical 4-Ch view and is one of the most useful for evaluating intracardiac anatomy and function. It is typically obtained with some degree of probe retroflexion and transducer angle rotation between 0–10°. With further probe retroflexion, the coronary sinus (CS) and entrance of the inferior vena cava (IVC) to the RA can be visualized. The ME 4-Ch view provides information regarding regional and global biventricular function, and atrioventricular (AV) valve stenosis and regurgitation.

### 2. ME 5-Ch (Video 2)

The **ME Five-Chamber View** is obtained by applying slight anteflexion from the ME 4-Ch view to allow better visualization of the aortic valve (AoV) and left ventricular outflow tract (LVOT). Color flow and spectral Doppler can be utilized to evaluate MV, TV, and AoV stenosis and regurgitation.

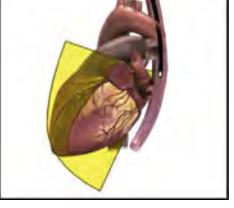
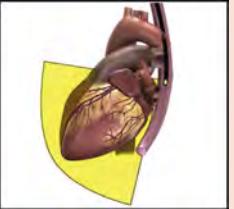
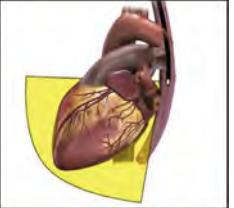


**Figure 2** Conventions of 2D transesophageal echocardiographic image display. The transducer location and the near field (vertex) of the image sector are at the top of the display screen and far field at the bottom. **(A)** Image orientation at transducer angle 0°. **(B)** Image orientation at transducer angle 90°. **(C)** Image orientation at transducer angle 180°. Of note, we present the DTG views inverted, with the apex of the heart at the bottom of the screen in an anatomically correct position. LA, Left atrium; LV, left ventricle; RV, right ventricle. Reprinted with permission from Hahn et al.<sup>16</sup>

### 3. ME Mitral (Video 3)

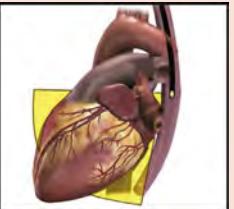
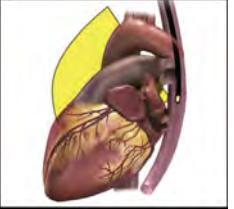
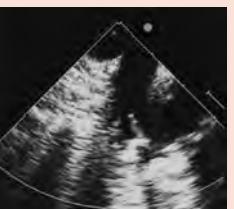
The **ME Mitral Commissural View** is obtained by starting from the ME 4-Ch view and rotating the transducer angle to

**Table 5** Comprehensive transesophageal echocardiographic examination. The table lists the suggested 28 views included in a comprehensive TEE exam. Each view is shown in its imaging plane, on a corresponding 3D model, with the 2D TEE image. The acquisition protocol and the structures imaged in each view are listed in the subsequent columns.

Imaging plane	3D model	2D TEE image	Acquisition protocol	Structures imaged
Midesophageal views				
1. ME 4-Ch			Transducer angle: ~0°–10° Level: ME	LA/RA IAS LV/RV/IVS MV (A <sub>3</sub> A <sub>2</sub> -P <sub>2</sub> P <sub>1</sub> ) TV CS
2. ME 5-Ch			Transducer angle: ~0°–10° Level: ME	AoV LVOT LA/RA LV/RV/IVS MV (A <sub>2</sub> A <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> ) TV
3. ME Mitral			Transducer angle: ~50°–70° Level: ME	LA CS LV MV (P <sub>3</sub> -A <sub>3</sub> A <sub>2</sub> A <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> ) Papillary muscles Chordae tendineae
4. ME 2-Ch			Transducer angle: ~80°–100° Level: ME	LA CS LAA LV MV (P <sub>3</sub> -A <sub>3</sub> A <sub>2</sub> A <sub>1</sub> ) Circumflex CA
5. ME LAX			Transducer angle: ~120°–140° Level: ME	LA LV LVOT RVOT MV (P <sub>2</sub> -A <sub>2</sub> ) AoV Proximal Asc Ao

(Continued)

**Table 5 (Continued)**

Imaging plane	3D model	2D TEE image	Acquisition protocol	Structures imaged
6. ME AoV LAX			Transducer angle: ~120°–140° Level: ME	LA LVOT MV (P <sub>2</sub> -A <sub>2</sub> ) AoV Proximal Asc Ao LCA
7. ME Asc Ao LAX			Transducer angle: ~90°–110° Level: ME	Mid Asc Ao RPA
8. ME Asc Ao SAX			Transducer angle: ~0°–30° Level: ME	Mid Asc Ao MPA/Br PAs SVC
9. ME Rt Pulm veins			Transducer angle: ~0° Level: ME	Mid Asc Ao SVC RUPV RLPV
10. ME Lt Pulm veins			Transducer angle: ~90°–110° Level: ME	LUPV LLPV LPA

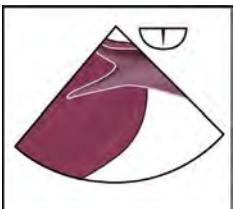
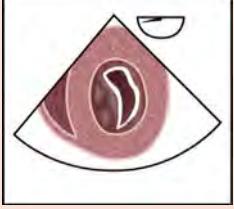
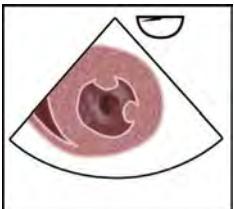
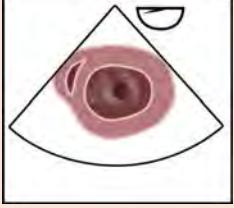
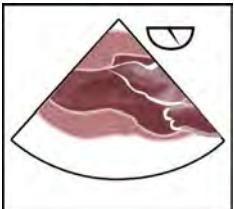
(Continued)

**Table 5 (Continued)**

Imaging plane	3D model	2D TEE image	Acquisition protocol	Structures imaged
11. ME LAA			Transducer Angle: ~90°–110° Level: ME	LAA LUPV
12. ME AoV SAX			Transducer angle: ~25°–45° Level: ME	AoV PV LA/RA Superior IAS RVOT LCA/RCA
13. ME RV In-Out			Transducer angle: ~50°–70° Level: ME	AoV PV LA/RA Superior IAS TV RVOT IVS: membranous, outlet
14. ME Mod Bicaval TV			Transducer angle: ~50°–70° Level: ME	LA/RA Mid IAS TV SVC IVC CS
15. ME Bicaval			Transducer angle: ~90°–110° Level: ME	LA RA/RAA IAS SVC IVC

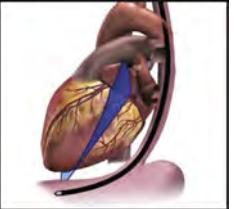
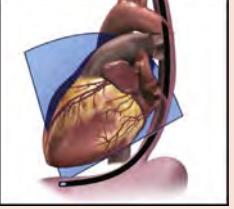
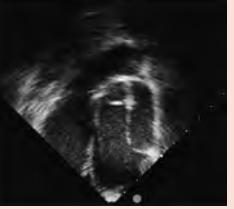
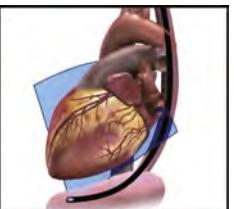
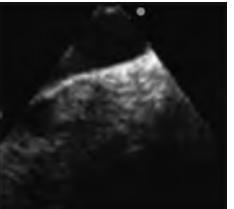
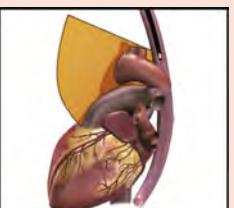
(Continued)

**Table 5 (Continued)**

Imaging plane	3D model	2D TEE image	Acquisition protocol	Structures imaged
Transgastric views				
16. TG IVC/Hep veins			Transducer angle: ~80°–100° Level: TG	IVC Hepatic veins
17. TG Basal SAX			Transducer angle: ~0°–20° Level: TG	LV (base) RV (base) MV TV IVS: muscular
18. TG Mid Pap SAX			Transducer angle: ~0°–20° Level: TG	LV (mid) Papillary muscles RV (mid) IVS: muscular
19. TG Apical SAX			Transducer angle: ~0°–20° Level: TG	LV (apex) RV (apex) IVS: apical muscular
20. TG LAX			Transducer angle: ~120°–140° Level: TG	LV LVOT AoV Ao root MV

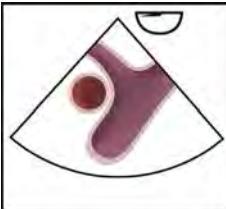
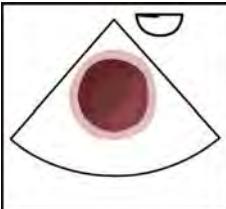
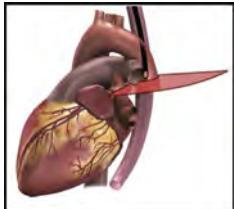
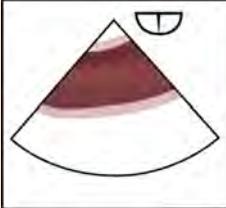
(Continued)

**Table 5 (Continued)**

Imaging plane	3D model	2D TEE image	Acquisition protocol	Structures imaged
<b>Deep transgastric views</b>				
21. DTG 5-Ch			Transducer angle: ~0°–20° Level: DTG	LV/RV LVOT AoV Ao root MV IVS
22. DTG RVOT				
			Transducer angle: ~50°–90° Level: DTG	LV/RV RVOT PV LVOT AoV MV IVS
23. DTG Atr Sept				
			Transducer angle: ~80°–90° Level: DTG	RA/RAA LA RPA IAS SVC IVC
<b>Upper esophageal views</b>				
24. UE Ao Arch LAX			Transducer angle: ~0°–10° Level: UE	Ao arch Innominate vein
25. UE Ao Arch SAX				
			Transducer angle: ~70°–90° Level: UE	Ao arch Innominate vein MPA Br PAs PV

(Continued)

**Table 5 (Continued)**

Imaging plane	3D model	2D TEE image	Acquisition protocol	Structures imaged
26. UE PA				Transducer angle: ~0°–20° Level: UE MPA LPA RPA Mid Asc Ao
<b>Aortic views</b>				
27. Desc Ao SAX				Transducer angle: ~0°–10° Level: UE to TG Desc Ao
28. Desc Ao LAX				Transducer angle: ~90°–100° Level: UE to TG Desc Ao

CS, Coronary sinus; IAS, interatrial septum; IVS, interventricular septum; LAA, left atrial appendage; LCA, left coronary artery; LLPV, left lower pulmonary vein; LUPV, left upper pulmonary vein; RAA, right atrial appendage; RCA, right coronary artery; RLPV, right lower pulmonary vein; RUPV, right upper pulmonary vein.

50–70°. As the name implies, the ME Mitral view is used primarily to evaluate the MV. This imaging plane crosses both the anterolateral and posteromedial commissures. The sections of MV on the image display (from left to right) are P<sub>3</sub>-A<sub>3</sub>A<sub>2</sub>A<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>. Turning the probe leftward (counterclockwise) allows imaging of the posterior leaflet scallops (P<sub>3</sub>P<sub>2</sub>P<sub>1</sub>) and rightward (clockwise) allows imaging of the anterior leaflet segments (A<sub>3</sub>A<sub>2</sub>A<sub>1</sub>). This view is also useful for evaluating the anterolateral and posteromedial papillary muscles and their corresponding tensor apparatus as well as regional LV function and MV stenosis or regurgitation.

#### 4. ME 2-Ch (Video 4)

The **ME Two-Chamber View** (orthogonal to ME 4-Ch view) is obtained by maintaining the same neutral position and rotating the transducer angle to 80–100° to allow visualization of the LA, left atrial appendage (LAA), MV (P<sub>3</sub>-A<sub>3</sub>A<sub>2</sub>A<sub>1</sub>), and LV. The CS is seen in cross section just above the posterior MV annulus and basal inferior LV segment. From this view, clockwise rotation of the probe demonstrates the ME Bicaval view (View #15 below); rotation counterclockwise visualizes the LAA and also the left circumflex coronary artery (CA)

can be seen coursing along the AV groove. Color flow Doppler as well as spectral Doppler of the MV can aid in identification of valvular stenosis or regurgitation.

#### 5. ME LAX (Video 5)

The **ME Long Axis View** can be obtained from the ME 4-Ch or 2-Ch views by continuing forward rotation of the transducer angle to approximately 120–140° to visualize the LA, MV (P<sub>2</sub>-A<sub>2</sub>), LV, LVOT, AoV, and proximal ascending aorta. A portion of the right ventricular outflow tract (RVOT) can also be noted anterior to the LVOT. This view allows assessment of the MV and AoV as well as subvalvular and supravalvular aortic anatomy. The size and function of the mitral and aortic valves and assessment of the LV inferolateral and anteroseptal walls can be evaluated with 2D, color flow, and spectral Doppler imaging.

#### 6. ME AoV LAX (Video 6)

The **ME Aortic Valve LAX View** is obtained from the ME LAX view by slight withdrawal of the probe, while maintaining a transducer angle of 120–140°. Transducer image depth is also reduced to focus primarily on the LVOT, AoV, and proximal aorta, including the sinuses of Valsalva, to allow accurate measurements with 2D, color, and spectral Doppler imaging.

especially when used in conjunction with the orthogonal ME AoV SAX view (see View #12 below). Color flow Doppler can provide a significant amount of information on LVOT and AoV pathology. The anterior (far field) AoV cusp is the right coronary cusp, and the right coronary ostium can often be seen arising from the sinus. The posterior (near field cusp) is either the left or noncoronary cusp, depending upon transducer rotation. When the probe is rotated counterclockwise, the origin of the left main CA can often be seen, and with further leftward rotation, sometimes the bifurcation into left anterior descending and circumflex CAs can be visualized.

#### 7. ME Asc Ao LAX ([Video 7](#))

The **ME ascending aorta LAX View** is obtained from the ME AoV LAX view (View #6 above) by withdrawal of the TEE probe, and rotation of the transducer angle to between 90° and 110°. The right pulmonary artery (PA) is seen in cross-section posterior to the ascending aorta (in the near field). Pathology involving the ascending aorta, such as supravalvular aortic stenosis and hypoplasia or aneurysmal dilation, can be identified. Aortic flow is typically perpendicular to the angle of insonation, hence spectral Doppler evaluation of the aorta will be limited but color Doppler can be useful. When the image plane is centered on the right PA, turning the probe counterclockwise can provide LAX imaging of the pulmonic valve (PV) and main PA. Probe anteflexion enables optimal color and spectral Doppler interrogation (pulsed- and continuous-wave) of the RVOT, PV, and main PA.

#### 8. ME Asc Ao SAX ([Video 8](#))

From the ME ascending aorta LAX view (View #7 above), backward rotation of the transducer angle to 0°-30° results in the **ME Ascending Aorta SAX View**. Structures imaged from this view include the ascending aorta and superior vena cava (SVC) in cross section, main PA, and proximal branch PAs. Color flow and spectral Doppler evaluation of the PA may be useful.

#### 9. ME Rt Pulm Veins ([Video 9](#))

The **ME Right Pulmonary Veins View** can be obtained from the ME 4-Ch view, using a transducer angle of 0° and rotating clockwise. The right upper (superior) and lower (inferior) pulmonary veins take slightly different angles: the right upper pulmonary vein (RUPV) is more parallel to the angle of insonation, and with slight probe advancement, the right lower pulmonary vein (RLPV) can be visualized in a more perpendicular orientation. In addition, a transducer angle of 30-50° may allow visualization of the veins simultaneously. Color flow Doppler (sometimes with decreasing the Nyquist limit) can display flow in both pulmonary veins, but a more favorable angle of insonation of the RUPV makes spectral Doppler of this pulmonary vein preferable. In addition to the right pulmonary veins, the superior vena cava (SVC) and ascending aorta can be visualized in cross-section.

#### 10. ME Lt Pulm Veins ([Video 10](#))

The **ME Left Pulmonary Veins View** displays the left pulmonary veins from a sagittal plane, orthogonal to that described for the ME Rt Pulm Veins view (View #9 above). From the ME neutral position behind the LA, forward rotation of the transducer angle to 90°-110° and turning counterclockwise, one can visualize separately the left upper (LUPV) and left lower (LLPV) pulmonary veins as they converge and enter the LA. The left PA can also be seen just superior to the LUPV. If the

probe is turned clockwise, the IAS, SVC, IVC (View #15 below), and finally the right pulmonary veins become visible. Of note, the left pulmonary veins can also be imaged using a transducer angle of about 0° with rotation of the probe counterclockwise to visualize the LAA and veins adjacent and lateral to it by advancing and withdrawing the probe.

#### 11. ME LAA ([Video 11](#))

The **ME Left Atrial Appendage View** can be obtained from the ME Lt Pulm Veins view (View #10 above) using the same transducer angle of 90°-110° and turning the probe slightly clockwise with some probe advancement and/or anteflexion as necessary. Given the highly variable anatomy of the LAA, a complete assessment of this structure typically requires using multiple views, including backward rotation of the transducer from 90° to 0° (while imaging the appendage) and/or simultaneous multiplane imaging. Color flow and spectral Doppler can also be used to assess flow in the LUPV as well as into and out of the LAA.

#### 12. ME AoV SAX ([Video 12](#))

From the ME 5-Ch view, the AoV is located in the center of the display and the probe is withdrawn slightly and anteflexed while maintaining a transducer angle between 25°-45° to obtain the **ME Aortic Valve SAX View**. For a trileaflet valve, the left coronary cusp will be posterior (near field) and to the patient's left, the right coronary cusp anterior (far field) and adjacent to the RVOT, and the noncoronary cusp rightward and adjacent to the IAS. The morphology and function of the AoV can be displayed both by 2D imaging and color flow Doppler, allowing for precise localization of stenotic and/or regurgitant jets. Slight withdrawal of the probe can reveal the anterior origin of the right CA and posterior origin of the left CA from their respective sinuses. A change in transducer angle to between 0°-40° can often be useful to see the origins (0°-20° for right CA, 30°-40° for left CA). The superior portions of the left and right atria and the anterior portion (aortic rim) of the IAS, as well as the RVOT and PV in the far field can be seen. Color flow and spectral Doppler can aid in evaluation of these areas. Of note, the orthogonal view obtained during simultaneous biplane imaging is the ME AoV LAX view (View #6 above).

#### 13. ME RV In-Out ([Video 13](#))

The **ME RV Inflow-Outflow View** can be obtained from the ME AoV SAX view or ME 5-Ch view by rotating to 50°-70° and applying some anteflexion until the TV, RV, RVOT, PV, and proximal main PA are displayed simultaneously. This view is the equivalent of an inverted transthoracic parasternal SAX view, so the LA, RA, and IAS can also be seen. RV size and function, TV and PV morphology and function, distinguishing membranous from outlet IVS (and visualizing VSDs in these areas), and RVOT stenosis can be evaluated, especially in conotruncal abnormalities (see below). Color flow and spectral Doppler should be utilized to evaluate flow across the TV and PV, and identify any possible VSDs.

#### 14. ME Mod Bicaval TV ([Video 14](#))

From the ME RV In-Out View, the **ME Modified Bicaval TV View** can be obtained by maintaining a transducer angle of 50°-70° and turning the probe clockwise until the TV is centered in the view. The LA, RA, IAS, IVC, SVC, and sometimes the right atrial appendage (RAA) can be seen. Detailed evaluation of the TV by both 2D and Doppler imaging should be performed.

**15. ME Bicaval (Video 15)**

The **ME Bicaval View** is obtained by rotating the transducer angle forward to 90°-110° from the neutral ME position and turning the probe clockwise until both SVC and IVC are visualized along with the LA, RA, RAA (far field), and IAS (which is positioned perpendicular to the insonation beam). Atrial septal defects (ASD) and aneurysms can be seen with 2D, color, and spectral Doppler imaging of the atrial septum. Color flow Doppler is also useful to visualize IVC and SVC inflow. The orthogonal view (seen by simultaneous biplane imaging) is the ME 4-Ch view and further turning the probe clockwise can visualize the right pulmonary veins (orthogonal to View # 9, ME Rt Pulm Veins).

**16. TG IVC/Hep Veins (Video 16)**

The **TG IVC/Hepatic Veins View** is obtained by straightening and advancing the TEE probe from the ME views into the stomach and adjusting the transducer angle to 80°-110°. The probe is then turned clockwise and anteflexed slightly to maintain contact with the stomach wall. The IVC is seen in LAX and, with a small amount of probe withdrawal and left/right probe rotation, the hepatic veins can be visualized entering the IVC. With slow probe withdrawal to the ME position, the IVC/RA junction is visualized. Color flow Doppler can be used to evaluate flow patterns in the veins; spectral Doppler can be performed to evaluate hepatic venous flow for assessment of right-sided diastolic function, as well as any higher-velocity flow such as anomalous pulmonary venous drainage. The orthogonal view, using a transducer angle of 0°-20° and slight right/left probe rotation, demonstrates the IVC in SAX as it courses through the liver, receives hepatic veins, and returns to the RA.

**17. TG Basal SAX (Video 17)**

The **TG Basal SAX View** is obtained by adjusting the transducer angle to 0°-20° from the TG IVC/Hep Veins view to allow the left and right ventricles to be seen in SAX with the typical "fish mouth" appearance of the MV. The anterior leaflet is on the left of the display and the posterior leaflet is on the right. MV morphology and function can be assessed by 2D imaging and color flow Doppler as well as a global assessment of right and left ventricular function and wall motion, and presence of mid muscular VSDs. Advancing and turning the probe clockwise, while applying slight anteflexion, can display the TV in a SAX view to allow similar interrogation as the MV.

**18. TG Mid Pap SAX (Video 18)**

From the TG Basal SAX position, the anteflexed TEE probe can be advanced further into the stomach with the same transducer angle (0°-20°) to obtain the **TG Mid Papillary SAX View**. The LV papillary musculature, the muscular IVS, and the RV papillary musculature (by turning the probe clockwise) can be evaluated. This view is principally utilized to evaluate LV size and function (global and segmental).

**19. TG Apical SAX (Video 19)**

From the TG Mid Pap SAX View (View #18), the TEE probe continues to be advanced while maintaining contact with the gastric wall to obtain the **TG Apical SAX View**. Evaluation of the apical segments of both ventricles and also visualization of apical muscular VSDs is possible by rotating clockwise.

**20. TG LAX (Video 20)**

The **TG LAX View** is obtained by rotating the transducer angle to 120°-140° from the neutral position. This view allows visualization of the subvalvular MV apparatus (including the chordae tendineae), MV, LVOT, AoV, LV inferolateral and anteroseptal walls, and proximal aortic root. Color flow Doppler should be used to evaluate flow across the MV and LVOT/AoV.

**21. DTG 5-Ch (Video 21)**

The DTG views require advancement of the TEE probe further into the stomach, often with significant anteflexion to direct the ultrasound plane posteriorly. The **DTG Five-Chamber View** is obtained using a transducer angle of 0°-20° to visualize the MV, RV, LV, IVS, LVOT, AoV, and aortic root. The inlet, membranous, and trabecular portions of the IVS can be evaluated by color flow Doppler to search for possible VSDs. The MV and LVOT should be interrogated with color and spectral Doppler. When DTG views are not available, the TG LAX view (View #20) serves as a suitable alternative for spectral Doppler evaluation of the LVOT and AoV.

**22. DTG RVOT (Video 22)**

From the DTG 5-Ch View, the probe is withdrawn slightly and the transducer angle rotated forward to 50°-90° to obtain the **DTG RV Outflow Tract View**. Some probe rotation clockwise might also be needed to display the RVOT and PV. The MV inflow and AoV outflow can be visualized, as well as the trabecular and outflow portions of the IVS for any shunting suggestive of a VSD. Color and spectral Doppler can be used to evaluate the RVOT, MV, and LVOT with forward rotation to 80°-90° and the TEE probe rotated slightly counterclockwise. This view is very useful for evaluation of conotruncal malformations (see below).

**23. DTG Atr Sept (Video 23)**

From the DTG RVOT View, the transducer angle is rotated forward to 80°-90° and the TEE probe rotated clockwise until the SVC, RA, RAA, LA, and IAS are seen, producing the **DTG Atrial Septal View**. This view simulates a transthoracic subcostal bicaval image, providing excellent visualization of the atrial septal morphology and length. Color Doppler is useful for evaluation of interatrial shunting, and SVC flow can be visualized and evaluated by color and spectral Doppler. To visualize the IVC entrance to the RA, the probe is advanced slightly and the transducer angle rotated forward to 100°-120°. If the transducer angle is instead rotated back to 0°-10°, the IAS can be seen in an orthogonal plane, as can the RA, entrance of the right and left pulmonary veins into the LA, and both ventriles and atrioventricular valves.

**24. UE Ao Arch LAX (Video 24)**

Withdrawal of the probe to the UE position (transducer angle 0°-10°) can be used to obtain the **UE Aortic Arch LAX View**. Color and spectral Doppler will demonstrate pulsatile antegrade flow in the Ao and with further slight withdrawal, the innominate vein can be seen crossing anterior to the Ao arch. Because the left mainstem bronchus typically crosses between the esophagus and the Ao, a portion of proximal Ao arch and distal ascending Ao might not be visualized. If no innominate vein is seen, the probe should be rotated counterclockwise to determine whether a left SVC is present in SAX.

**25. UE Ao Arch SAX (Video 25)**

From the UE Ao Arch LAX view, the transducer angle is rotated forward to 70°-90° to obtain the **UE Aortic Arch SAX View**. The Ao arch is seen in SAX, and the main PA and PV can frequently be seen in LAX in the far field. The innominate vein is also seen in cross section just superior and anterior to the Ao arch. Color and spectral Doppler of the PV and main PA is very effective here, and a patent ductus arteriosus can also be seen in this view, entering the PA. With the main PA centered in the image, counterclockwise and clockwise rotation of the probe provides visualization of the left and right

pulmonary arteries, respectively. The head and neck arteries (right brachiocephalic, left common carotid, left subclavian) can sometimes be seen arising from the Ao arch.

26. UE PA ([Video 26](#))

From the UE Ao Arch LAX View (View #24), the probe is advanced slowly (transducer angle 0°-10°) and rotated slightly clockwise to obtain the **UE Pulmonary Artery View** that demonstrates the junction between main PA and right and left pulmonary arteries. From this position, clockwise probe rotation displays the right PA behind the ascending Ao and right SVC (both seen in SAX). Counterclockwise rotation along with slight probe advancement can visualize the proximal to mid left PA. Color and spectral Doppler should be used to determine the presence of stenosis across both branch PAs. A patent ductus arteriosus can be seen by color flow Doppler with counterclockwise probe rotation and advancing/withdrawing the probe. Spectral Doppler can also be performed to assess the gradient between Ao and main PA through the patent ductus arteriosus.

27 and 28. Desc Ao SAX ([Video 27](#)) and Desc Ao LAX ([Video 28](#))

From the UE Ao Arch LAX view (transducer angle 0°-10°), the probe is rotated counterclockwise and slowly advanced to follow the Ao arch as it becomes the **Descending Aorta SAX View**. Rotating the transducer angle to 90°-100° produces the **Descending Aorta LAX View**. While keeping the Ao in the center of the image, the probe can be advanced slowly with either view in order to evaluate the entirety of the descending thoracic Ao. The lack of internal anatomic landmarks can make it difficult to describe the precise location of the probe and any detected pathology, so one solution is to rotate the probe clockwise to identify the cardiac anatomy at that level, thereby providing a point of reference. Color and spectral Doppler can be used to evaluate the pulsatility of aortic flow. Intercostal arteries can sometimes be seen arising posteriorly from the descending Ao, with pulsatile flow directed away.

### Transepophageal 3D Examination Protocol

Since the publication of the last pediatric and congenital TEE guidelines document in this journal,<sup>31</sup> there have been major advancements in 3D echocardiography, including a) high quality real-time imaging, b) adult-size 3D TEE transducers, c) efficient cropping tools, and d) quantitative 3D software programs.<sup>16,109-115</sup> In pediatric and congenital cardiology, the most useful applications of 3D TEE are during catheter-based therapies and CHD surgeries. In the recent 3D echocardiography in CHD guidelines document,<sup>116</sup> specific recommendations for the particular anomalies and procedures in which 3D TEE is recommended (and also some in which 3D TEE has been used effectively) are presented in [Table 6](#).

Three-dimensional echocardiography generally requires increased technical training and expertise as compared to conventional 2D imaging regarding specific optimization and acquisition protocols for various displays that best highlight CHD. These most commonly include options of “live” narrow angle, wide angle or zoom imaging, full volume, and live multiplane.<sup>16,110-113</sup> These methods must be mastered in order to effectively perform 3D TEE in the time-constrained settings of the cardiac catheterization laboratory and operating room. 3D TEE imaging protocols should be routinely utilized in conjunction with other echocardiographic modalities as part of the regular workflow of either a detailed segmental study or a more focused TEE examination. It is important that image orientation for viewing the 3D dataset be practical and foster clear communica-

**Table 6** Reported clinical use of 3D TEE in congenital heart disease

3D TEE has been recommended for:

- ASD device closure guidance
  - VSD device closure guidance
  - Visualization of catheters, delivery systems, and devices
  - Measurement of defects visualized in *en face* views
  - Analysis of the anatomy and function of atrioventricular valves
  - Visualization of the aortic valve and left ventricular outflow tract
- 3D TEE has been used effectively during:
- Fontan fenestration closure
  - Ruptured sinus of Valsalva aneurysm device closure
  - Coronary artery fistula device closure
  - Prosthetic valve paravalvular leak device closure
  - Atrial switch baffle leak device closure and baffle obstruction stenting
  - Atrial septum trans-septal puncture during various procedures
  - Biventricular pacemaker synchrony assessment and lead placement guidance

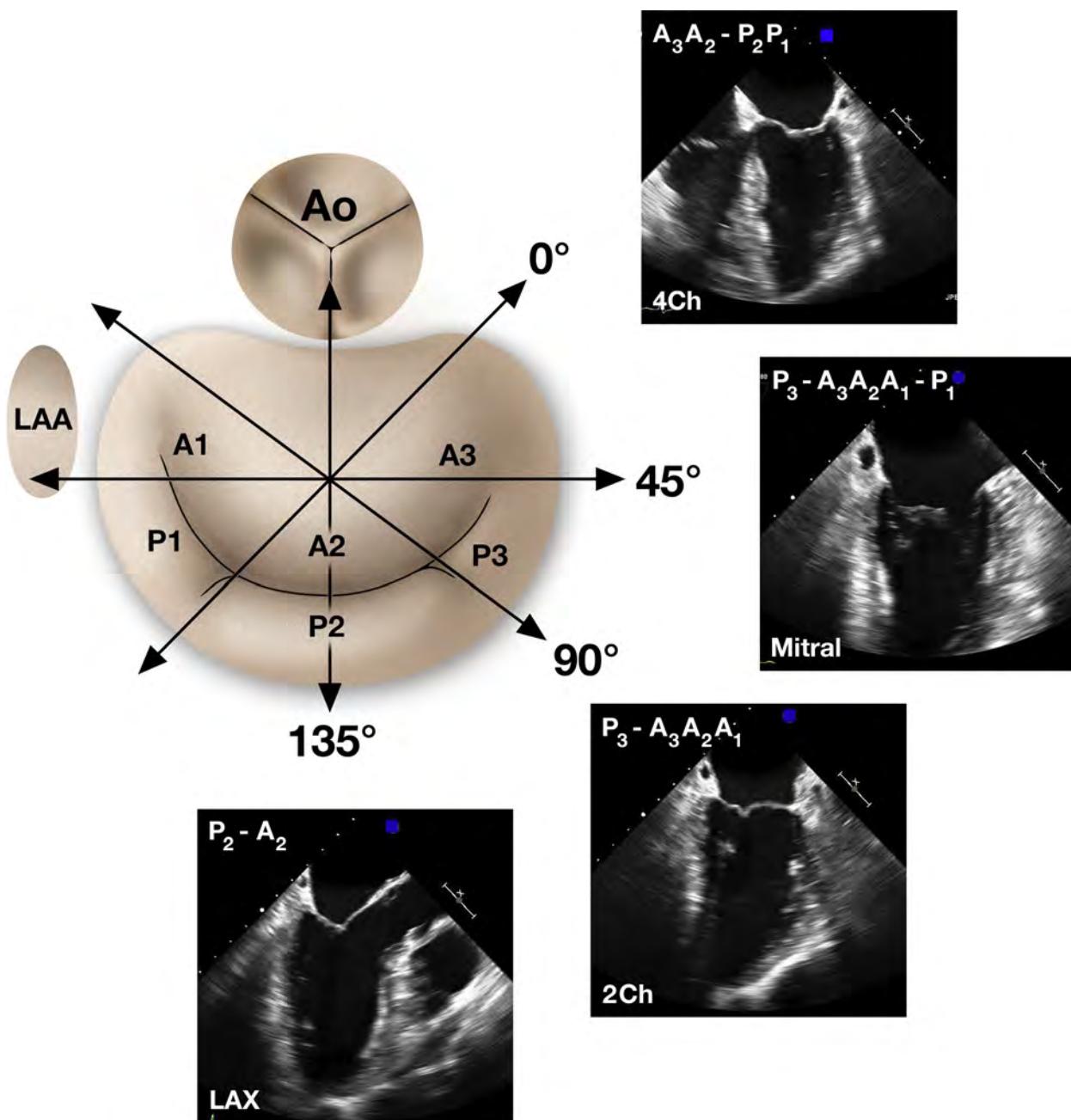
tion among cardiovascular care providers.<sup>29,113</sup> Where applicable, recommendations regarding the use of 3D TEE to analyze specific anomalies, procedures, and quantitative parameters have been added to the respective sections of this document.

### Key Points

1. We recommend a series of 28 tomographic views be used to perform a comprehensive TEE examination in children and all patients with CHD.
2. The views are obtained from four primary positions within the esophagus/stomach: midesophageal (ME), transgastric (TG), deep transgastric (DTG), and upper esophageal (UE). All views are presented with the standard “apex up” orientation except for the DTG views, which are inverted to an “apex down” position to present an “anatomically correct” display.
3. The views serve as a starting point for CHD evaluation, and can be altered as needed. The exam should be structure-based, not view-based, and include a minimum of 2D imaging, color flow and spectral Doppler, obtained from multiple views.
4. 3D TEE imaging can be performed in conjunction with 2D TEE in patients > 30 kg, and involves the use of specific 3D techniques including adjustable sector, full volume, and live multiplane methods. [Table 6](#) lists a number of clinical uses for 3D TEE in CHD.

### SPECIFIC STRUCTURAL IMAGING

The following section describes the anatomy and imaging of specific structures and congenital anomalies. Clear and precise visualization is essential for detecting and quantifying structural and functional abnormalities prior to and during any intervention and will be discussed in detail. The focus will be on differentiating features from normal valve anatomy and acquired pathology, which was extensively



**Figure 3** Schematic of the MV with leaflet scallops (or segments) labeled. Corresponding images from different standard imaging views are labeled with the respective scallops and segments. Although this labeling scheme is applicable in the majority of cases, the exact regions of the MV leaflets image vary on the basis of the relation of the heart to the esophagus as well as transesophageal echocardiographic probe position within the esophagus. Ao, Aorta; LAA, LA appendage; LAX, long-axis; Mitral, mitral commissural; 2Ch, two-chamber; 4Ch, four-chamber. Adapted from Hahn et al.<sup>16</sup>

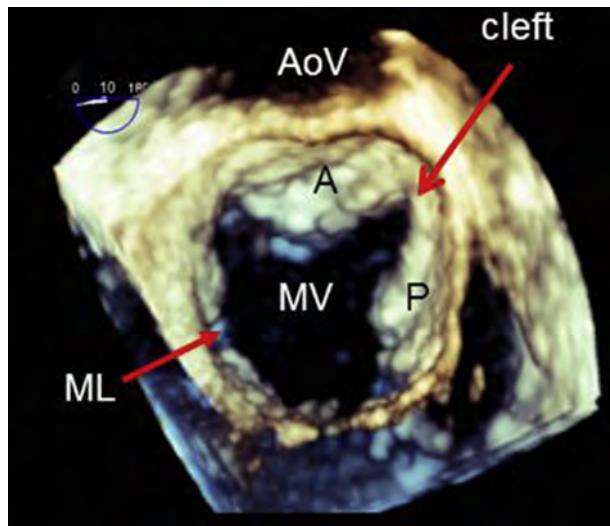
covered in the 2013 ASE/SCA Comprehensive TEE Guidelines, and an array of congenital cardiac abnormalities.<sup>30</sup>

### Mitral Valve

**Anatomy.** The basic components of the MV apparatus include the anterior and posterior valve leaflets, annulus, chordae tendineae, and papillary muscles. Several views are employed for examining the MV and have been shown to correlate well with surgical evaluation.<sup>117</sup> The ME views (4-Ch, 5-Ch, Mitral, 2-Ch, LAX, and AoV LAX) axially

transect the MV leaflets from 0–140°, and are helpful for delineating all scallops of both leaflets (Figure 3).<sup>16</sup> The TG and DTG views provide further characterization of valve and commissural anatomy and are especially valuable for demonstrating congenital abnormalities.

TEE imaging is useful for distinguishing primary etiologies of mitral valve dysfunction from secondary etiologies such as mitral regurgitation related to annular dilation. Primary causes of mitral valve dysfunction are associated with intrinsic valve pathology and may include 1) congenital abnormalities such as clefts (Figure 4), double orifice mitral valve, mitral arcade, or abnormal papillary musculature

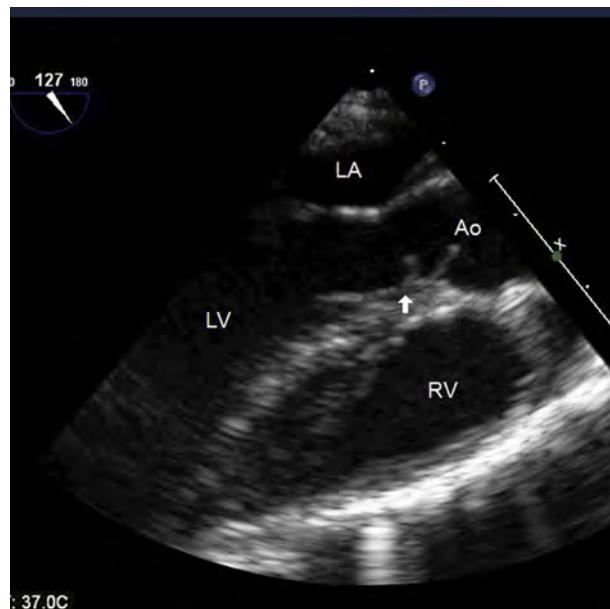


**Figure 4** TEE 3D midesophageal wide angle left atrial *en face* view of a left atrioventricular (mitral) valve cleft associated with an ostium primum atrial septal defect. *A*, Anterior/superior component of the anterior leaflet in a cleft left atrioventricular valve; *AoV*, aortic valve; *ML*, mural leaflet; *MV*, mitral valve; *P*, posterior/inferior component of the anterior leaflet in a cleft left atrioventricular valve.

(i.e. parachute mitral valve); 2) *myxomatous* changes resulting in prolapse, elongation of the chordae, or flail; 3) *infectious* damage from endocarditis; or 4) *inflammatory* effects related to rheumatologic or collagen vascular diseases.<sup>118,119</sup>

**Role of TEE in Mitral Valve Repair.** TEE imaging is reliable for assessing adequacy of mitral valve repair, and for determining the need for return to bypass.<sup>11,120</sup> Early identification of findings requiring modification of the repair may prevent need for a re-operation at a later date, and may decrease morbidity, mortality, and overall hospital costs over the long term.<sup>15</sup> The decision should take into account several factors, including hemodynamic status, as well as severity of the residual lesion.

Although there are no established echocardiographic measures to quantify severity of residual mitral dysfunction in the pediatric population, criteria do exist for grading residual mitral stenosis and regurgitation by Doppler.<sup>121</sup> With regard to mitral stenosis, the following measures have been used: *insignificant* = pulsed/CW Doppler mean gradient  $\leq 5$  mm Hg; *potentially significant* = pulsed/CW Doppler mean gradient of 5–8 mm Hg; and *significant* = pulsed/CW Doppler mean gradient of  $> 8$  mm Hg. A mean mitral valve inflow gradient of more than 5 mm Hg has been suggested as a cut-off point for consideration of further repair or valve replacement.<sup>122</sup> In the presence of residual regurgitation, the mitral valve should be carefully examined for leaflet prolapse, abnormal leaflet excursion, or persistent annular dilatation. Dynamic systolic anterior leaflet motion can displace the coaptation point of the leaflets toward the left ventricular outflow tract resulting in a posteriorly directed jet of mitral regurgitation, which may be exacerbated by a hypovolemic, hypercontractile left ventricle upon separation from cardiopulmonary bypass.<sup>123</sup> Objective parameters such as width of the vena contracta should be taken into consideration and used to grade mitral regurgitation as follows: *insignificant* = absent or trivial regurgitation jet width ( $< 2$  mm) by color at the level of the valve leaflets; *potentially significant* = regurgitant jet width 2–4 mm by color Doppler at the level of the valve leaflets; and



**Figure 5** Midesophageal LAX view around 125° shows a sub-aortic fibromuscular ridge associated with subvalvar aortic stenosis. *Ao*, Aorta; *LA*, left atrium; *LV*, left ventricle; *RV*, right ventricle.

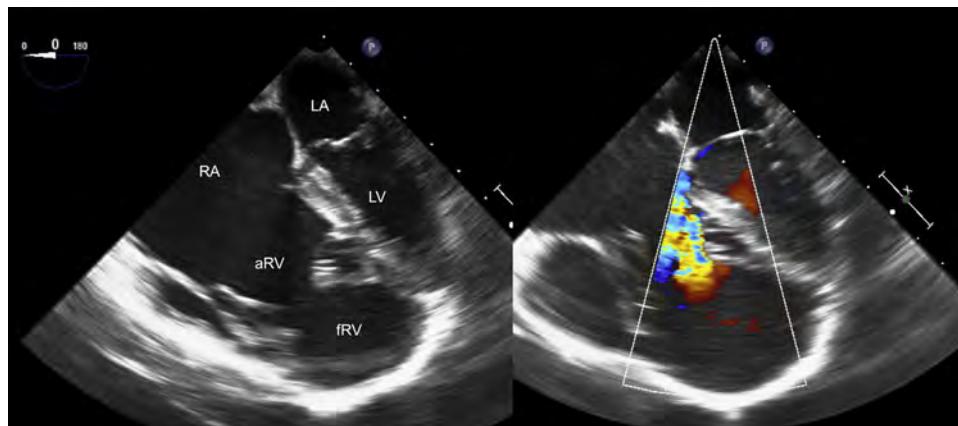
*significant* = regurgitant jet width  $> 4$  mm by color Doppler at the level of the valve leaflets.<sup>121</sup> Additionally, the ratio of the maximum regurgitant jet area by color Doppler to the left atrial area on 2D imaging can be used for quantifying MR, with mild defined by a ratio of  $\leq 30\%$ . Return to bypass for further correction or valve replacement should be considered for more than mild MR, as the risk for reoperation is increased. This is typically a joint decision made by the surgeon and the echocardiographer and may require a more comprehensive evaluation of the valve to make the right decision.<sup>124</sup>

**Use of 3D TEE in Mitral Valve Assessment.** The best 3D TEE view of the MV is obtained using the wide-angle live 3D modality from the ME position viewed from the LA aspect. Examples of this approach are presented in Figure 4, Videos 29 and 30. Live 3D with color flow Doppler mapping may be useful if the temporal resolution (volume rate) is adequate. Biplane 2D imaging and color flow Doppler mapping methods are useful and can be time saving because two views are obtained simultaneously.

## Aortic Valve and Aorta

**Anatomy of Aortic Valve.** The AoV complex includes the left ventricular outflow tract, aortic valve, and aortic root. The AoV complex should be carefully evaluated for potential subaortic, aortic, and supravalvular obstruction in the ME LAX (Figure 5), ME AoV LAX (Video 31), and DTG 5-Ch views. Familiarity with all of these structures is important, as obstruction or dilatation at any level may ultimately affect AoV function. Measurement of the AoV annular diameter is performed at the hinge points of the valve leaflets, while the sinuses of Valsalva and sinotubular junction are measured from inner edge-to-inner edge at end-systole or at the maximal diameter in pediatrics.<sup>116</sup> However, in adult patients, the ASE guidelines recommend leading edge-to-leading edge at end-diastole or at the maximal diameter.<sup>125</sup>

**Role of TEE in Aortic Valve Repair and Left Ventricular Outflow Surgery.** A thorough understanding of the underlying mechanism of AoV dysfunction, including leaflet and root



**Figure 6** Midesophageal 4-Ch view of Ebstein's anomaly including apical displacement of the septal leaflet of the tricuspid valve, redundancy of the anterior leaflet, and atrialization of the right ventricle. On the right hand side, color Doppler shows regurgitation of the tricuspid valve starting in the body of the right ventricle due to the apical displacement. *RA*, Right atrium; *aRV*, atrialized right ventricle; *fRV*, functional right ventricle; *LA*, left atrium; *LV*, left ventricle.

morphology, is needed prior to any transcatheter or surgical intervention on the valve. In pediatric patients undergoing AoV repair, TEE imaging is used to identify markers for recurrent regurgitation necessitating early reoperation.<sup>126</sup> While shorter coaptation length and decreased coaptation height have been designated as predictors of need for early reoperation in adults, coaptation asymmetry, measured as an increased percentage difference in short-axis coaptation lengths, has been shown to be a strong predictor of early reoperation for residual aortic regurgitation in pediatric patients following valve repair.<sup>127</sup>

Quantification of valve stenosis and regurgitation should be performed according to previously published echocardiographic guidelines.<sup>118</sup> For AoV/LVOT stenosis, the TG LAX and DTG 5-Ch views provide excellent angles of insonation for both PW and CW Doppler evaluation of preoperative and postoperative gradients. A peak gradient  $>40$  mm Hg in the LVOT may be hemodynamically significant and require reintervention. However, in the setting of decreased ventricular function and low cardiac output immediately post-bypass, TEE may not accurately reflect the degree of residual obstruction in all cases.<sup>121</sup>

For aortic regurgitation, a regurgitant jet width  $>4$  mm by color Doppler at the level of the valve leaflets may represent a risk for hemodynamically significant aortic regurgitation postoperatively.<sup>127</sup> Additional reported risk factors for early reoperation include concomitant valve-sparing aortic root and/or ascending aortic replacement, and leaflet prolapse.<sup>128,129</sup>

**Use of 3D TEE in Aortic Valve Assessment.** Live narrow-angle 3D TEE in the ME AoV SAX view provides excellent views of the AoV. Examples of a normal and abnormal AoV are shown in Video 32. Biplane 2D imaging and color flow Doppler mapping methods are useful if the frame rate is adequate and can be time saving because two views are obtained simultaneously. Imaging to guide device closure of a ruptured sinus of Valsalva aneurysm can also be helpful (3D Video 33).

**Anatomy of Thoracic Aorta.** Visualization of the mid ascending Ao, Ao arch, and descending Ao is best achieved from the ME, UE, and aortic views. Doppler interrogation of flow in the descending Ao may confirm severe aortic regurgitation if other views are limited.<sup>16,130,131</sup> In patients undergoing arch repair (i.e., coarctation or interrupted aortic arch), color and spectral Doppler interrogation

of flow in the descending Ao can be helpful in identifying residual arch obstruction. Imaging in the setting of aortic dissection is addressed in detail in other guidelines.<sup>132,133</sup>

### Tricuspid Valve

**Anatomy.** The tricuspid valve is anatomically and functionally complex, comprising three leaflets attached to a fibrous annulus, chordal apparatus, and papillary muscles. The ME 4-Ch view demonstrates the anterior and septal leaflets, as well as abnormalities such as tethering, flail segments, involvement of the septal leaflet in tricuspid septal aneurysmal tissue in a membranous VSD, apical displacement and tethering of the septal leaflet in Ebstein anomaly (Figure 6 and Video 34), and endocarditis related to these leaflets. Color Doppler in this view demonstrates the flow pattern across the TV, and is often well aligned with a central regurgitant jet, which is typically physiologic. Clockwise rotation and if possible rightward flexing of the probe from the Modified Bicaval TV view may best assess the posterior leaflet and its coaptation with the adjacent leaflets.

TV abnormalities may be anatomical, such as Ebstein anomaly, TV dysplasia, stenosis, pacemaker lead-induced non-coaptation, flail leaflet, straddling or over-riding valves in complex CHD; or functional, secondary to right-sided (pulmonary hypertension, RV dysfunction and dilatation), or left-sided (elevated LA filling pressures from various causes and abnormal septal contour) dysfunction.

**Role of TEE in TV Repair/Replacement.** It is not unusual for an intra-operative evaluation to underestimate the extent of tricuspid regurgitation (TR) in an intubated, anesthetized child with low preload due to overnight feeding restrictions. The ME 4-Ch, ME RV In-Out, and ME Mod Bicaval TV views show a larger TR jet compared to other views.<sup>134</sup> Incorporating multiple views at multiple time points in the post-bypass period (with variable systemic and pulmonary arterial pressure, improving contractility post-cardioplegia, and return of AV synchrony) can assist in surgical decision-making, such as the need to return to bypass to address residual lesions if TR is significant or indicates an elevated RV systolic pressure.<sup>120</sup>

Physiologic TR is common, always less than mild, and can be useful in predicting RV systolic pressures. These jets, which are typically small or intermittent, when combined with substantial through-plane motion, may be elusive in the rapidly changing post-bypass period. It may be helpful to annotate simultaneous central venous

pressure as well as systemic arterial pressure along with Doppler measurements of peak instantaneous pressure gradients. A Nyquist limit of 50 to 60 cm/s may be set to compare pre- and post-bypass images at the same technical settings, as TR may be underestimated at higher scale settings.<sup>135</sup> Accurate Doppler assessment of TR is important for a variety of reasons: high TR velocities after VSD repair raise concern for a sizeable residual defect, may indicate residual outflow obstruction after an RVOT repair, or need for initiation of inhaled nitric oxide in a patient with late presentation of an unrestricted left to right shunt; TR velocities discrepant from the systemic arterial pressures may alert toward residual arch obstruction when the RV is the systemic ventricle; and low TR velocities may indicate high filling pressures with decreased cardiac function.

Transvenous pacemaker leads can be imaged as they traverse the TV, sometimes causing regurgitation due to leaflet retraction, fibrosis of leaflet edges, leaflet tethering, or perforation. In this situation, analysis of the TV anatomy as well as lead position will aid in planning for valve repair. Lead- or central line-related endocarditis require detailed assessment of right sided structures.

**Use of 3D TEE in TV Assessment.** The best 3D TEE view of the TV is usually obtained using the wide-angle live 3D modality from the ME 4-Ch position viewed from the RA aspect and may better clarify dysfunction of specific leaflets. Live 3D with color flow Doppler mapping may be useful if the volume rate is adequate. Biplane 2D imaging and color Doppler flow mapping methods are useful and time-efficient. Normal TV, Ebstein anomaly, and Sapien valve replacement in the catheterization lab are presented in [Videos 35-37](#).

## Pulmonary Valve

**Anatomy.** The PV is the anterior, leftward, and cephalad of the two semilunar valves in the structurally normal heart. Its anterior location in the chest can make it difficult to assess by TTE and ironically, its distance from the TEE probe as well as proximity to the left upper lung lobe can also make it difficult to visualize in detail. The ME RV In-Out and DTG RVOT views profile the PV. Pulmonary stenosis may occur at the sub-valvular, valvular, or supra-valvular regions. Supravalvular narrowing can be seen in the MPA at the level of the systolic excursion of dysplastic leaflets or as a circumferential fibrotic waist in patients with supravalvular pulmonary stenosis (e.g., Williams syndrome). Stenosis within valved or non-valved conduits can be similarly assessed, though fibrosis and calcification of native valves or conduits can challenge image resolution. In these situations, color and spectral Doppler can be utilized to estimate location and severity of obstruction. Increased systolic flow velocity across the PV may be secondary to increased trans-pulmonary flow, but is usually less than 2 m/s in this situation. An increase in peak pulmonic velocity may be seen in large left-to-right shunts, and focused imaging of the PV to rule out dysplasia will prevent surgical intervention. Functional pulmonary regurgitation is common and is seen as a small, central jet from the PV. More significant jets are likely to be wider; a jet width in excess of 50-65% of the right ventricular outflow tract indicates severe regurgitation,<sup>136</sup> as does a more holodiastolic pattern of leakage.<sup>137</sup> Rapid flow deceleration, early termination of diastolic flow, and diastolic flow reversal in the branch PAs almost always indicates significant pulmonary regurgitation.

**Role of TEE in PV Repair/Replacement.** Determining the presence and severity of residual obstruction in subvalvular, valvular, or supravalvular regions may guide decisions regarding method of treatment (e.g., approach via TV, PV or right ventriculotomy/infundibulotomy in rare situations). Dynamic or fixed pulmonary stenosis at

different levels is an important cause for elevated RV systolic pressures and should be investigated. A quick and accurate assessment of residual RVOT obstruction can be obtained from the DTG RVOT view where the entire RVOT, PV, and supravalvular regions can be aligned and 'stepped-through' to determine the exact location and extent of obstruction. Similarly, patients undergoing replacement (either surgical or catheter based) in the setting of a dilated RV outflow tract may have a paravalvular leak, which should be carefully looked for because it may be easily addressed in most cases.

**Use of 3D TEE in Pulmonary Valve Assessment.** Due to the distance of the PV from the esophagus, 3D TEE imaging of the PV is often limited. Narrow-sector live 3D or full-volume 3D acquisitions with cropping may provide sufficient views in some cases.

## Key Points

1. Primary causes of MV dysfunction include congenital abnormalities, myxomatous changes, infectious damage from endocarditis, or inflammatory disorders. The ME views (4-Ch, 5-Ch, Mitral, 2-Ch, LAX, and AoV LAX) from 0 - 140° are most helpful to delineate MV anatomy and physiology but TG and DTG are especially valuable for congenital abnormalities. Color flow and spectral Doppler aid in return to bypass decisions following MV repair.
2. Assessment of the entire AoV complex includes the LVOT, AoV, aortic root and supravalvular region. Both ME SAX and LAX views provide complete evaluation of AoV and LV outflow tract morphology and function. TG LAX and DTG 5-Ch views are very useful for assessment of PW/CW Doppler gradients.
3. The ascending and descending thoracic aorta are best visualized systematically using a combination of ME and UE views, at different levels of the esophagus, with appropriate transducer rotation to visualize the various portions of the thoracic aorta.
4. Tricuspid valve abnormalities may be anatomical, such as Ebstein anomaly, TV dysplasia, stenosis, pacemaker lead-induced non-coaptation, flail leaflet, straddling or over-riding in some complex CHD; or functional, secondary to right or left-sided ventricular dysfunction. ME views provide assessment of TV morphology and function.
5. The pulmonary valve complex includes the sub-valvular, valvular and supra-valvular regions. ME, DTG, and UE Ao Arch SAX/PA views allow visualization of the PV complex. Color flow and spectral Doppler can be used to assess the degree of stenosis or regurgitation across this area. Due to the distance of the PV from the esophagus, 3D TEE is often limited.
6. 3D TEE provides further evaluation of valve size, pathology, mechanism and severity of valve dysfunction.

## Assessment of Ventricular Size and Function

The assessment of ventricular size and function is an important part of TEE in children and adults with CHD in the following settings: before and after congenital heart surgery, during percutaneous CHD interventions or electrophysiology studies, during some complex non-cardiac surgeries, and in the setting of a non-diagnostic TTE.<sup>138,139</sup> Additionally, the immediate postoperative setting in the intensive care unit is a challenging time for TTE, with open sternotomies and poor acoustic windows, and is another area where TEE can be beneficial in children, especially in

patients with transposition of the great arteries after arterial switch, immediately after heart transplantation, or following implantation of a ventricular assist device.<sup>140</sup>

**Left Ventricle.** Normal LV assessment is reviewed in the 2013 ASE/SCA Comprehensive TEE Guidelines.<sup>16</sup> Standard imaging planes for measurement of size have not been established in TEE but there is general agreement between TTE and TEE measurements in adults. Guidelines suggest using the TG Mid Pap SAX or the orthogonal TG LAX of the LV for measurement of ventricular size, as measurements in the ME views have reduced lateral resolution.<sup>16,141-143</sup> In children, the recommended approach is the Mid Pap SAX view, because the LAX view does not account for the lateral motion of the LV seen in many children and does not guarantee circular LV short-axis geometry throughout the cardiac cycle. Simultaneous multiplane imaging should be used to ensure that LV diameter measurements are made perpendicular to the chamber. The modified biplane Simpson's or area-length methods have been suggested to calculate LV volume in children.<sup>116</sup> The ME 4-Ch and 2-Ch views allow tracing of the LV endocardial borders and using the formula for calculating LV volume. Linear measurements may be made from M-mode tracings or 2-D images in TG views as there are normative pediatric data from TTE imaging.<sup>116,144</sup>

**LV Systolic Function.** Assessment of ventricular function requires reviewing multiple imaging planes in TEE. Qualitative assessment is generally reported as either normal or with variable degrees of dysfunction such as mild, moderate, or severe. Quantitative parameters for LV systolic function include linear shortening fraction (SF), fractional area change, and 2D volumetric ejection fraction.<sup>116</sup> SF can be assessed in TG SAX projections at the level of the MV leaflet tips in young patients or at the level of the papillary muscles in older patients and adults.<sup>116</sup> Ejection fraction (EF) can be obtained from ME 4- and 2-Ch views using the modified biplane Simpson's method. It is important to optimize ME views so that the LV is not foreshortened and endocardial borders are clear. Using fractional area change is fraught with error and difficult to reproduce so it should only be used as a qualitative measure.<sup>145</sup> Multiple orthogonal views should be employed to assess regional wall motion abnormalities. TG Basal SAX, Mid Pap SAX, and Apical SAX views best facilitate assessment of all 17 segments for radial function. Orthogonal views at TG LAX as well as ME 4-Ch, 2-Ch, and 5-Ch allow for confirmation and evaluation of longitudinal function.

**LV Diastolic Function.** LV diastolic filling assessment is generally performed with TTE. Similar measurements can be made in TEE views, including the ME 4-Ch, to assess MV inflow velocities, pulmonary vein velocities, and tissue Doppler velocities, but attention must be paid to differences in mitral inflow parameters and PW Doppler tissue velocities by age group.<sup>146,147</sup> In addition, these Doppler parameters are affected by loading conditions and heart rate, which may make assessment of diastolic function in the operating room with TEE challenging in individuals with CHD. A simplified algorithm for grading diastolic dysfunction using only E-wave velocity and lateral mitral annular early diastolic tissue velocity ( $e'$ ) was shown to predict adverse outcome in adults after coronary artery bypass graft surgery but there is no data in patients immediately after congenital heart surgery.<sup>148</sup> A transmitral E to  $e'$  ratio  $<10$  is considered normal.<sup>146</sup>

**Right Ventricle.** The normal RV is crescent-shaped and composed of three portions: inflow, muscular, and outflow. The inlet portion contains the TV, whose septal leaflet is apically positioned relative to the MV hinge point. Coarse muscular trabeculations and a moderator band are exemplary of the body of the RV while the outlet

portion is composed of the infundibulum. The normal RV also has unique chordal insertions from the tricuspid valve onto the septum as opposed to the discrete papillary muscles in the normal LV.

Assessment of RV size and function is an integral part of TEE evaluation in patients with CHD. While acoustic windows in TTE are often challenging, TEE provides excellent visualization of the complex geometric shape of the RV. The ME 4-Ch, ME RV In-Out, TG Mid Pap SAX, TG Basal SAX, and DTG RVOT offer evaluation of RV inflow, basal, and outflow views. Quantification of RV function includes fractional area change (FAC), tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE), and Doppler measurements (MPI, RV dP/dt, and annular tissue Doppler velocity). While various quantitative methods exist for measuring RV function, in most cases function is assessed qualitatively including contraction of the free wall, longitudinal motion of base towards apex, and bulging of the ventricular septum into the RV cavity.<sup>149</sup> This is especially true in the case of congenitally corrected transposition of the great arteries (l-TGA) or complete transposition of the great arteries (d-TGA) after atrial switch, where the shape of the normal RV is altered significantly in the systemic position, so visual estimation of systolic function from the ME 4-Ch or TG SAX views are best used.

**Use of 3D TEE in Assessing Ventricular Volumes and Function.** Contrary to 2D echocardiographic methods, 3D echocardiography does not rely on geometrical assumptions to calculate LV volumes, and has been applied in patients with CHD and abnormally-shaped ventricles.<sup>150,151</sup> Measurement of LV and RV volume requires a full acquisition from the ME 4-Ch view and application of one of the semi-automated quantitative volumetric programs available on cart and on off-line workstations.

## Key Points

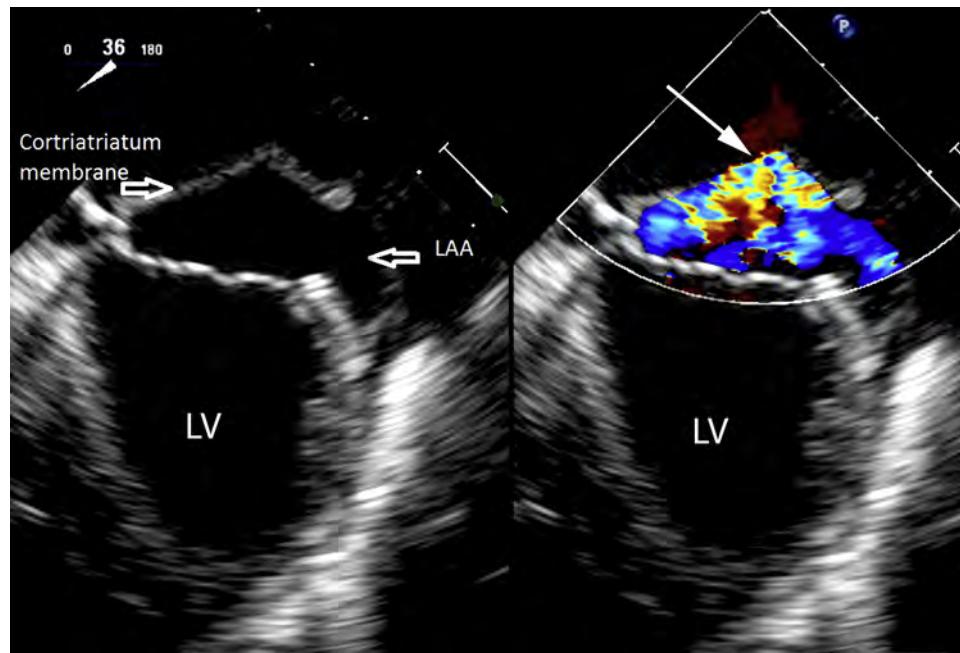
1. Measurement of LV size is recommended in the TG SAX views in children because the TG LAX view does not account for the lateral motion of the LV seen in many children.
2. LV systolic function is generally assessed qualitatively but can be quantified with linear shortening fraction and 2D/3D volumetric ejection fraction.
3. Assessment of RV size and function is generally assessed qualitatively but 3D volumetric programs do allow for quantitative assessment.

## Atria, Systemic and Pulmonary Veins

**Anatomy.** Determining the atrial situs (solitus, inversus, ambiguous) is essential in children and adults with CHD and can be obtained by visualization of the atrial appendages. The right atrial appendage is triangular and broad-based while the LAA is narrow-based and tubular (finger-like). The atrial septum and its components complement the identification of atrial situs and have been discussed in detail in the 2013 ASE/SCA Comprehensive TEE Guideline.<sup>16</sup>

Venous structures, particularly the suprahepatic portion of the IVC, the Eustachian valve, and the ostium of the CS, are markers of a morphologic RA and can be visualized in the ME 4-Ch view. The SVC can be seen as it enters the RA with the ME Bicaval view and the DTG Atr Sept view, where a sweep from right to left at 90° helps identify the presence of a left SVC (LSVC).

Determining drainage of the pulmonary veins into the LA can be accomplished with the ME right and left pulmonary veins views. Evaluation of the pulmonary veins by color flow and spectral



**Figure 7** Midesophageal 4-Ch view with transducer angle rotated forward to 36°, focused on the left atrium and cor triatriatum membrane. Note the location of the membrane lies above the left atrial appendage (LAA). The membrane divides the left atrium into proximal and distal portions. On the right hand side, color Doppler shows turbulent flow through the membrane (arrow) indicative of obstruction. LV, Left ventricle.

Doppler is required for evaluation of venous obstruction. The Doppler pattern of the pulmonary veins is triphasic with a forward S and D wave and a short reverse-flow A wave. In young children and infants the S wave of forward flow is dominant.<sup>152</sup> Mean gradients across pulmonary veins should be measured over 1 or 2 cardiac cycles, and stenosis should be recognized as loss of the phasic flow pattern. One must be aware that gradients can be deceiving, as flow can be redistributed to other lung segments drained by patent veins. The assessment of pulmonary venous Doppler patterns can help assess other conditions such as LA hypertension caused by mitral regurgitation (presence of a prominent A wave), and the signal can also help distinguish junctional versus sinus rhythm by associating the A wave with the ECG tracing (in sinus rhythm the A wave precedes the QRS while in a junctional rhythm it is dissociated).

**Role of TEE in Abnormalities of the Atria. Cor Triatriatum.**—Cor triatriatum involves the presence of a fibromuscular band that divides the atria into proximal and distal parts.<sup>153,154</sup> An important distinction from a supravalvular mitral ring is the location of the LAA, which is always distal to the membrane in cor triatriatum sinister (Figure 7 and Video 38). The TEE assessment of this lesion begins in the ME 4-Ch view, with the probe slightly retroflexed to prevent compression of a possible hypertensive pulmonary venous chamber. The probe is then turned counterclockwise to identify the membrane and its insertion below the left pulmonary veins but above the LAA. Adding color Doppler interrogation helps identify the connection(s) of the proximal and distal chamber in both the ME 4- and 2-Ch views. Not infrequently, the communicating orifices are eccentric and need to be visualized by color Doppler at varying angles of interrogation to find the best alignment for Doppler assessment of the degree of stenosis and estimation of pulmonary venous pressure. A delineation of the pulmonary venous return needs to be complete, as partial forms of cor triatriatum may exist with only the right or left veins entering the proximal chamber. In addition, one must interrogate the atrial septum

to identify an ASD or a patent foramen ovale from the ME 4-Ch, ME Bicaval view and DTG Atr Sept views. Finally, there should be an evaluation of the mitral valve to exclude obstructive lesions or mitral regurgitation. After surgical resection of the membrane, TEE helps identify adequacy of the repair (residual membrane, residual atrial level shunting) and drainage of the pulmonary veins.<sup>155</sup>

**Juxtaposed Atrial Appendages.**—Juxtaposition of the atrial appendages is a rare anomaly (approximately 0.8% of CHD), frequently seen in association with other complex CHD. It is more common to have “left juxtaposition” in which both appendages are oriented side by side on the left, especially when associated with transposition of the great arteries, tricuspid atresia, and heterotaxy syndrome.<sup>156-158</sup> Recognizing juxtaposition of the atrial appendages is challenging, and confirmation requires identification of the anatomical features of the atrial appendages (previously described) with a series of sweeps from posterior to anterior in several planes. Imaging the atrial appendage crossing behind the great arteries is a first clue; however, suspicion for this anomaly arises with a lateral deviation of the mid-portion of the atrial septum and a frontal orientation of the antero-superior portion forming the floor and posterior wall of the junction of the right atrial appendage with the venous component of the atrial cavity.<sup>159</sup> The ME 4-Ch and ascending Ao SAX views can demonstrate the RAA behind the aorta and anterior to the LA. The use of color and pulsed-wave Doppler can help distinguish flow into the atrial appendage from an ASD. Although the diagnosis of juxtaposed atrial appendages may be an incidental finding, its recognition is important during interventions to guide catheter position or balloon catheter tips across the atrial septum and not into the RAA. In addition, thrombus has been noted in the juxtaposed RAA and LAA in patients with atrial fibrillation prior to cardioversion.<sup>160,161</sup>

**Role of TEE in Systemic Venous Anomalies. Left Superior Vena Cava to Coronary Sinus.**—Drainage of the LSVC into the CS

is a relatively frequent finding in the normal heart, and can be found in 3–10% of patients with CHD.<sup>162</sup> Recognition of an LSVC is important in the operating room for cannulation, and in the planning of complex repairs such as atrial baffles and the superior cavopulmonary connections (Glenn or Hemi-Fontan) discussed below, but its presence should be known prior to cardiac surgery.

Imaging the LSVC can be accomplished by identifying a dilated CS in the ME 4-Ch view with retroflexion and slight advancement of the probe, and also in the ME 2-Ch view. Once the dilated CS is identified, an LSVC can be imaged with a counterclockwise probe rotation in the ME to UE level and a transducer angle between 60–80°. The LSVC is located on the left of the descending Ao and anterior to the left PA, where it usually connects to the CS. Intravenous injection of agitated saline into the left arm can help identify this vein, as the saline fills the CS.

Failure to recognize the LSVC-to-CS connection can lead to misinterpretation of the dilated CS ostium for an ASD. Other conditions that can be associated with a dilated CS and not an LSVC should be considered, including anomalous pulmonary venous return, anomalous drainage of hepatic veins, or stenosis of the ostium of the CS.

**Left Superior Vena Cava to Left Atrium.**—The LSVC can drain directly into the dome of the LA in up to 8% of cases, rarely in isolation, and mostly associated with other congenital heart defects.<sup>163,164</sup> Identification of the LSVC by TEE can be challenging in this case, as a normal size CS does not raise suspicion. Direct visualization of the LSVC entering the roof of the LA while interrogating the pulmonary veins, or actively searching for this connection when identifying a small right-sided SVC, is what helps identify this anomalous drainage. The use of agitated-saline injection through the left arm can help identify connection of the LSVC with the LA.

**Interrupted Inferior Vena Cava.**—Interruption of the IVC is rare and is characterized by absence of the IVC below the hepatic veins.<sup>165</sup> The IVC connects to the azygous vein, which drains into the SVC. Because of the drainage into the SVC, this finding has important implications during surgery at the time of cannulation. Imaging by TEE starts at the TG IVC/Hep Veins view and will show the hepatic veins but not the IVC, even with forward rotation of the transducer angle to 90°. Following the azygous vein into the right or left SVC can be challenging and multiple sweeps by 2D and color Doppler imaging are required, as the azygous vein travels from a retrocardiac position anteriorly into the SVC, with the esophagus in its path. The use of agitated-saline injection from the leg can help identify this connection by entrance of saline bubbles into the SVC.

**Right Superior Vena Cava to Left Atrium.**—The right SVC drainage into the LA is rare and sometimes batrial drainage is also possible.<sup>166,167</sup> Using the DTG Atr Sept view or the ME Bicaval view with color Doppler demonstrates flow into the LA. The use of agitated-saline injection from the right arm can help identify this drainage by entrance of bubbles into the LA.

**Role of TEE in Pulmonary Venous Anomalies. Partial Anomalous Pulmonary Venous Return (PAPVR).**—PAPVR is most commonly associated with an ASD, either sinus venosus (up to 85% and described below) or secundum type (10–15%), but can occur in isolation.<sup>168</sup> The most common type of PAPVR is the connection of right pulmonary veins to the SVC and RA.<sup>169</sup> The evaluation of anomalous right pulmonary veins into the SVC can start with the probe in the ME Rt Pulm Veins view. While withdrawing the probe in this plane, the SVC is circular, and a distortion of this vessel to a “tear drop” appearance suggests the anomalous entrance of the pulmonary vein. Once identified in

this view, forward rotation of the transducer angle to a ME Bicaval view (90–100°) will show the pulmonary veins entering the SVC, and allows an estimate of distance from the SVC/RA junction, which is helpful for surgical planning. Advancing the probe inferiorly in these same views can identify drainage of the veins into the RA or IVC. This maneuver can be applied to identify Scimitar syndrome, where some or all of the right-sided veins drain to the IVC. Partial anomalous connections of the left-sided veins is typically to a left vertical vein draining superiorly into the left innominate vein. This can be visualized with 2D and color Doppler imaging, using the UE Ao arch SAX view with leftward rotation.

**Total Anomalous Pulmonary Venous Return (TAPVR).**—The anomalous drainage of all pulmonary veins to the systemic circulation occurs in 2.2% of all children with CHD.<sup>170</sup> They can be classified in order of prevalence: supracardiac, infracardiac, cardiac, or mixed.

The use of TEE in TAPVR can be limited because the location of the pulmonary venous confluence is subject to compression by the probe, which may cause hemodynamic compromise.<sup>85</sup> Insertion of the probe after sternotomy has been reported to be a safer alternative.<sup>86</sup>

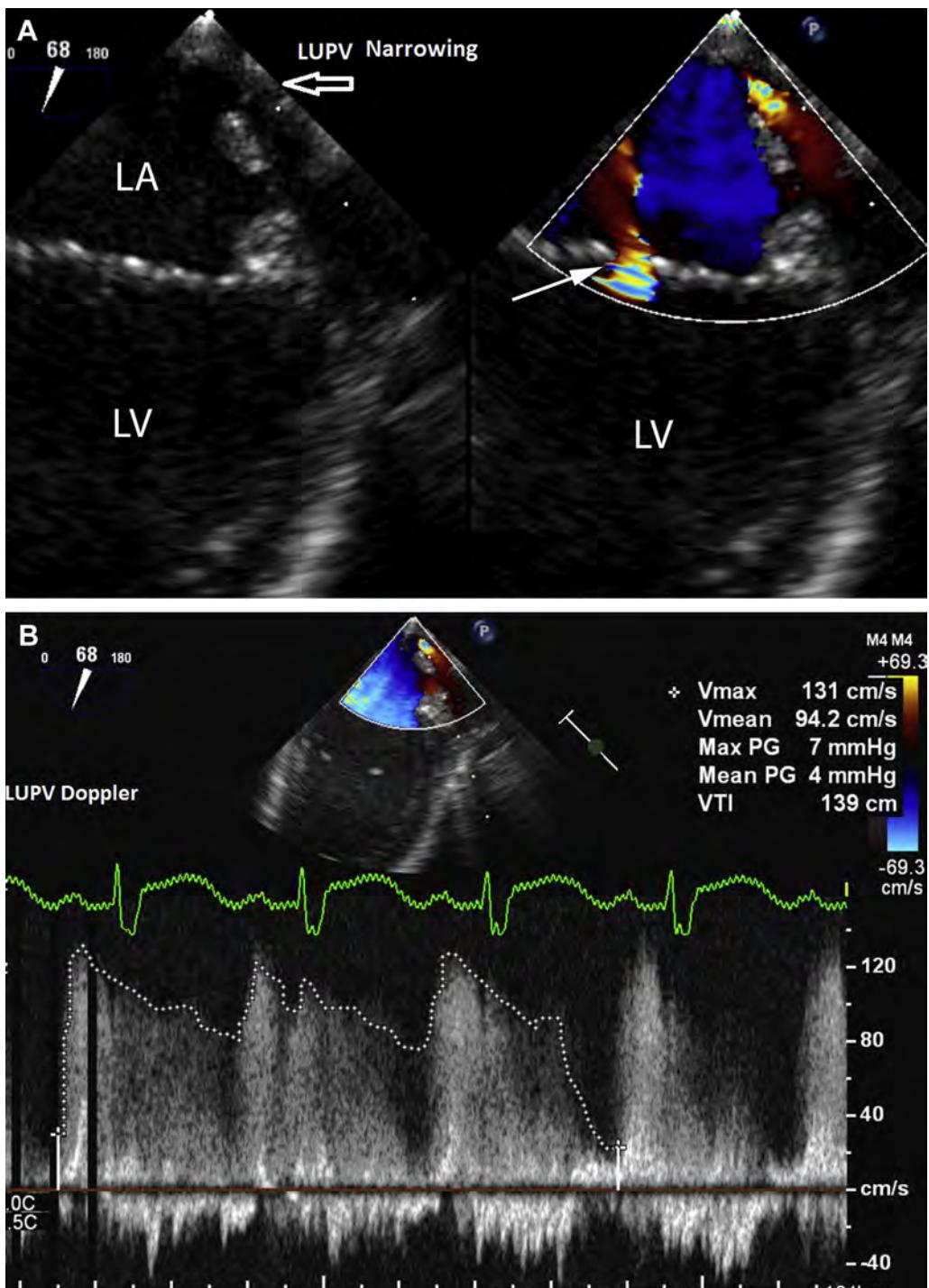
When a TEE probe can be placed without causing hemodynamic compromise, it is most helpful to visualize the anomalous venous return of the supracardiac variant by starting in the ME 4-Ch view toward the left and identifying the confluence. Each individual pulmonary vein can be seen draining into the confluence by rotating the probe clockwise from left to right. The right veins are imaged by rotating the transducer angle forward to 30–50°, and the left veins will be seen best at 90–110° or closer to the descending Ao.

The infradiaphragmatic variants are difficult to assess by TEE, however, there is often high-velocity return into the portal system with dilated hepatic veins. The evaluation of TAPVR to the CS requires long sweeps, advancement and withdrawal of the probe, and/or change in imaging planes to follow the venous confluence to the CS. Prominent color flow seen returning into the CS and RA can be helpful. The evaluation of mixed veins employs all of the techniques noted above.

Evaluation of the pulmonary venous confluence anastomosis to the LA and any individual pulmonary vein stenosis is essential in a patient after repair of TAPVR (Figure 8 and Video 39). The presence of turbulent flow at the anastomotic site may suggest intrinsic stenosis or torsion of the confluence, and while spectral Doppler interrogation will determine the degree of obstruction, return to bypass may be indicated and should be discussed with the surgeon.

## Key Points

1. Determination of atrial situs can be performed by identification of the atrial appendages and key systemic venous structures. While the ME views are most commonly used, *all* TEE positions and views should be employed.
2. TEE can identify unusual systemic venous anomalies such as left SVC to coronary sinus or left atrium, interrupted hepatic portion of the IVC, and atrial anomalies such as juxtaposed atrial appendages and cor triatriatum.
3. TEE provides excellent visualization of normal left and right pulmonary venous return and enables accurate pulmonary venous Doppler assessment, which can be utilized in the evaluation of stenosis within individual veins or the pulmonary venous confluence.
4. TEE can also be used to evaluate partial and total anomalous pulmonary venous return. However with the latter, care must be taken because hemodynamic compromise has been described with TEE probe insertion/manipulation.



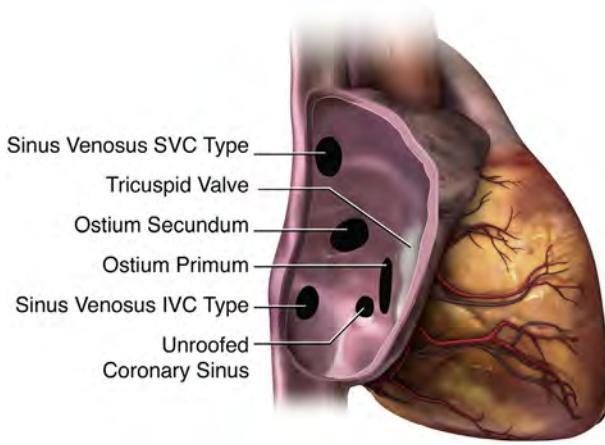
**Figure 8** Modified midesophageal LAA view shows: **(A)** Narrowed orifice of the left upper pulmonary vein with corresponding color Doppler mapping indicating flow turbulence. Mild mitral regurgitation is also seen (arrow). **(B)** Some loss of phasic flow in the left upper pulmonary vein with a mean gradient of 4 mm Hg consistent with mild stenosis. LA, Left atrium; LV, left ventricle; LUPV, left upper pulmonary vein.

### Septal Defects

Atrial and ventricular septal defects are common types of CHD that can occur as isolated defects or in combination with other cardiac anomalies.<sup>167,171-179</sup> Atrial septal defects undergo both surgical and catheter-based closure, often with TEE guidance, so an understanding

of the septal anatomy, as well as type and location of the defects is important and outlined in detail in a previous ASE guideline<sup>22</sup> (Figure 9).

*Ostium secundum* ASDs are often amenable to catheter device closure provided the surrounding rims are adequate and the defect



**Figure 9** Subtypes of atrial septal communications when viewed from the right atrium (RA). Patent foramen ovale (PFO) is not illustrated. SVC, Superior vena cava; IVC, inferior vena cava. Reprinted with permission from Silvestry et al.<sup>22</sup>

is not too large. Secundum ASDs are seen well from the ME 4-Ch, ME AoV SAX, ME RV In-Out, ME Bicaval and DTG Atr Sept views.

The echocardiographer must define a number of features and parameters, including the ASD dimensions and number, size, and location of orifices. If closure is being performed in the catheterization lab, one must measure the length of the aortic, superior, inferior, posterior, and crux rims. An important factor in choosing ASD closure device size is the stop-flow occlusive balloon waist diameter. TEE is also used to perform live monitoring of device deployment, configuration, and stability. Once the device is fully deployed and released one must assess for residual shunting as well as for blood flow obstruction and device impingement on surrounding anatomic structures including the aortic root, roof of the LA, AV valves, right pulmonary veins, caval veins, and the CS. Lastly, assessment for complications such as pericardial effusion, thrombus, and device embolization is necessary.

*Ostium primum* ASDs are located at the apical margin of the atrial septum immediately adjacent to the AV valves. This type of ASD is within the spectrum of AVSD and is almost always associated with a cleft mitral valve. Ostium primum ASD is best seen from the ME 4-Ch view. After primum ASD repair, the mitral valve should be assessed for residual cleft, stenosis, and regurgitation in the ME 4-Ch, Mitral, 2-Ch, and LAX views. Further interrogation of the mitral valve cleft should include the TG Basal SAX view. LVOT obstruction should also be assessed in the DTG 5-Ch view where spectral Doppler can rule out residual obstruction.

*Sinus venosus* ASD may be one of two types: superior or inferior. The superior form involves the uppermost portion of the atrial septum and extends superiorly. It is associated with the SVC overriding the defect and almost always has anomalous connections of some or all of the right pulmonary veins to the SVC near the cavoatrial junction. The inferior type sinus venosus ASD is associated with the IVC overriding the defect and is less commonly associated with anomalous pulmonary venous connection. Sinus venosus ASDs are best seen from the ME Bicaval and DTG Atr Sept views. After a sinus venosus repair, it is important to assess for pulmonary venous stenosis or baffle obstruction. This is best imaged with ME Rt Pulm Veins and Bicaval views and including the UE for a superior sinus venosus defect, or using the ME RV In-Out and ME Bicaval

views and extending to the lower esophagus for an inferior sinus venosus defect.

*Coronary sinus* ASD is a rare anomaly in which partial or complete unroofing of the CS into the LA typically results in shunting from the LA to the CS and into the RA.<sup>180</sup> It is almost always associated with an LSVC connecting to the CS (see above).

**Role of TEE in ASD Repair.** Preoperative TEE during surgical repair of an ASD can confirm the size and location of the ASD, evaluate for additional associated cardiac lesions, including partial anomalous pulmonary venous return, assess ventricular size and function, and estimate PA pressures. Postoperative TEE focuses on residual atrial level shunting, assessment of the vena cavae, presence of residual AV valve regurgitation, and ventricular function.

**Use of 3D TEE in ASD Imaging.** Imaging of atrial septal defects using 3D TEE is very useful during interventional-catheter treatment and prior to surgery. For ASD imaging, the wide-angle ME RA and LA *en face* views are very effective, as is the DTG Atr Sept live 3D narrow-sector view. These renderings accurately and rapidly demonstrate the important features of an ASD. Biplane TEE with and without color Doppler flow mapping is time-efficient because it provides 2 simultaneous views. Secundum atrial septal defect *en face* views are demonstrated with device closure of a secundum ASD using 3D TEE guidance (Video 40).

**Ventricular Septal Anatomy.** The ventricular septum has inlet, trabecular, and outlet portions. The right side has a septal band to which the moderator band attaches. It extends from the apex toward the base and bifurcates into two limbs that form a "Y" or "U" shape. A VSD can occur in any of these locations (Figure 10). In addition, there may be multiple VSDs in the same patient, malalignment relative to the septal band of muscular septum, and association with other types of congenital cardiac anomalies.

**Ventricular Septal Defects.** We will focus on 5 types: perimembranous, muscular, inlet, malaligned, and outlet.

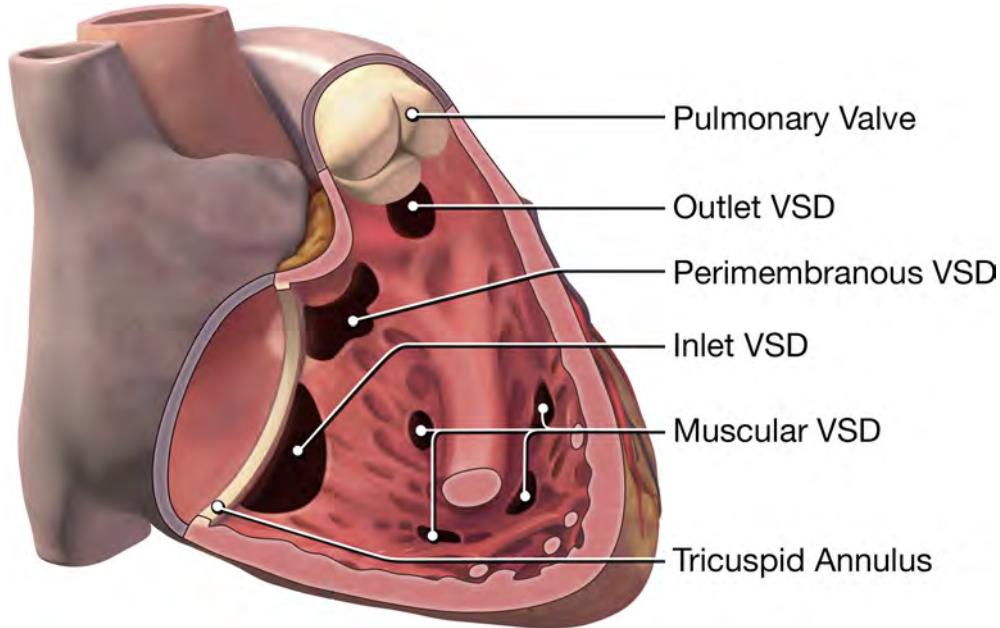
**Perimembranous.**—Defects in this region are common and may be isolated or associated with any other type of CHD. Perimembranous VSDs are best seen in the ME 4-Ch, 5-Ch, AoV SAX, and RV In-Out views.

**Muscular.**—Multiple defects and associated other cardiac anomalies are fairly common. These defects may be amenable to catheter device closure if clinically necessary. Muscular VSDs are usually best seen in the ME 4-Ch, ME 5-Ch, and TG Basal SAX views.

**Inlet.**—Associated with coplanar AV valves and atrioventricular septal defect (AVSD) lesions, inlet VSDs are best seen in the ME 4-Ch view.

**Malaligned.**—This type of VSD is present in tetralogy of Fallot (TOF), double-outlet right ventricle (DORV), and interrupted aortic arch complex. Malaligned VSDs are best seen in the ME 4-Ch, 5-Ch, LAX, AoV SAX, and RV In-Out, as well as the DTG 5-Ch and RVOT views.

**Outlet.**—This type of VSD is also called a supracristal VSD and can be seen alone or in lesions such as truncus arteriosus, for example. It can be associated with aortic cusp prolapse. Outlet VSDs can be displayed with the ME 4-Ch, 5-Ch, AoV SAX, LAX, and RV In-Out, DTG 5-Ch and RVOT views.



**Figure 10** Subtypes of ventricular septal defects (VSDs) when viewed from the right ventricle (RV). Malalignment ventricular septal defect is not illustrated but is caused by anterior or posterior deviation of the infundibular or conal septum and is typically present in tetralogy of Fallot, double outlet right ventricle, or interrupted aortic arch complex.

**Role of TEE in VSD Repair.** Preoperatively, the focus is on confirmation of the anatomic findings including type, number, size, shunt direction, and assessment of adjacent structures. Postoperative assessment addresses residual septal defects or patch integrity, PA pressures, ventricular function, and device configuration in interventional cases. Assessment for a residual VSD should always occur in more than one view and the decision to return to bypass should take into account several factors, including associated aortic regurgitation, outflow tract obstruction, and hemodynamic significance. Most residual VSDs  $\leq 2$  mm will spontaneously resolve with time.<sup>181</sup> Residual VSDs  $\leq 3$  mm are typically not hemodynamically significant and some will spontaneously resolve. Residual VSDs measuring 3 to 4 mm require careful analysis including measurement of Qp:Qs by echocardiographic or blood oxygen saturation analysis to better determine need of return to bypass. A Qp:Qs of  $> 1.5:1$  or a residual VSD  $\geq 4$  mm should have an additional attempt(s) at closure in most cases.<sup>182,183</sup>

**Use of 3D TEE in VSD Imaging.** Imaging of VSDs is effective from the ME 4-Ch view using live 3D, biplane echo, and full-volume 3D with cropping. The *en face* views from RV and LV aspects, along with the ME 4-Ch view best demonstrate the anatomic features. Live 3D color flow Doppler mapping is used to assess residual shunts. Biplane TEE has color flow Doppler mapping frame rates that are significantly higher than for live 3D color flow Doppler, thereby overcoming the limited temporal resolution of the latter modality in some cases. Perimembranous VSD *en face* views are demonstrated in [Video 41](#). The use of live 3D TEE guidance of VSD device closure can be useful and is illustrated in [Figure 11](#) (closure of muscular VSD).

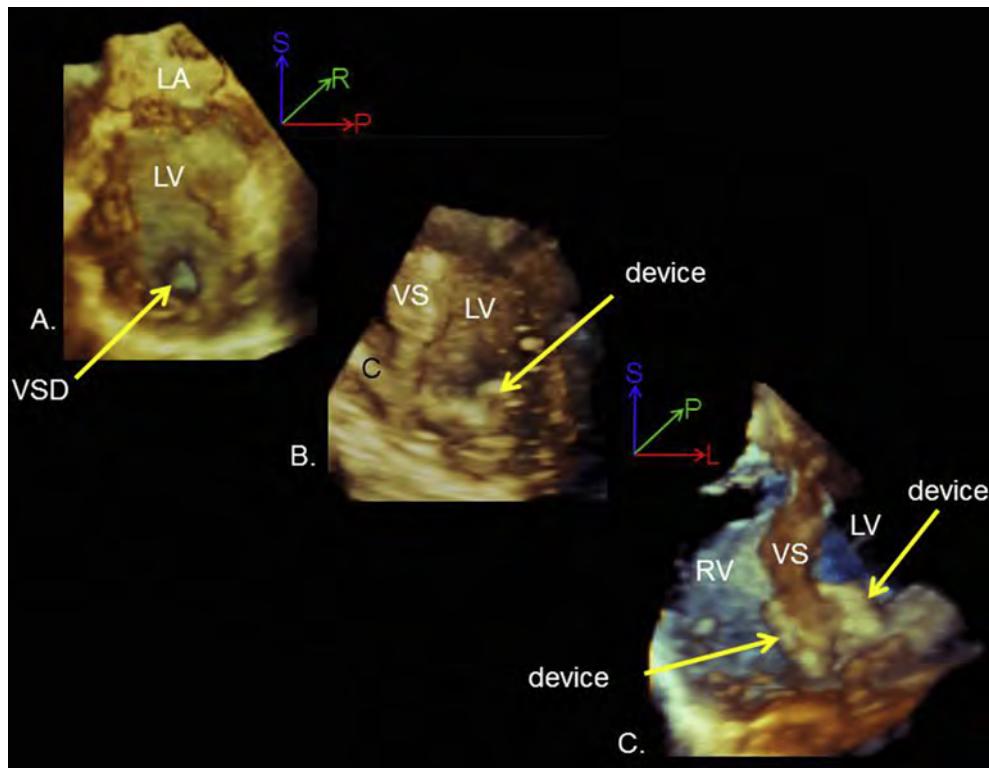
## Atrioventricular Septal Defects

**Anatomy.** Atrioventricular septal defect, also called AV canal defect, results from incomplete development of the endocardial cushions,

leading to defects in atrial and ventricular septa as well as the AV valves.<sup>184</sup> There can be morphologic variability at many levels, therefore this lesion comprises an anatomic spectrum that can range from partial to complete forms. The variability includes the following: a) size or extent of deficiency in the primum atrial septum; b) size or extent of deficiency in the ventricular septum, here called the "ventricular component;" c) degree of commonality or anatomical separation of the left- and right-sided AV valves; d) AV valve morphology and function; and e) degree of commitment of the AV valves to the ventricles.

The primum ASD, which is present in almost all AVSDs, is best outlined when the atrial septum is perpendicular to the transducer and can be accomplished from the ME 4-Ch view with slight clockwise rotation. Additional defects in the secundum septum can be identified here as well. The ventricular component is best viewed from the ME 4-Ch view in systole, during which time assessment of the valve relationship to the septum can be obtained ([Figure 12](#) and [Video 42](#)). In addition, commitment of the AV orifice to the underlying ventricles can also be defined. Given that the common AV valve junction is shared between both ventricles, the aorta is unwedged and positioned more anterosuperiorly instead of between the normal mitral and tricuspid valves.

Complete AVSD can occur in isolation or associated with other more complex congenital heart lesions such as disorders of laterality (heterotaxy/isomerism). Partial AVSD, where there is a defect in the primum atrial septum but no discernible ventricular component, will have a lack of AV valve offset and a cleft in the anterior leaflet of the left AV valve, which can be visualized in the TG Basal SAX view. The ME LAX and DTG 5-Ch views are used to demonstrate the LVOT and confirm the separation between the left AV valve inlet and the aortic outlet. Accessory tissue from the superior bridging leaflet may cause LVOT obstruction. Backward rotation of the probe from the ME LAX view can show the inlet muscular septum and presence/extent of any



**Figure 11** Transesophageal three-dimensional (3D) echocardiography live narrow sector views during catheter device closure of a muscular ventricular septal defect (VSD). **(A)** The left sided *en face* view of the apical muscular VSD (arrow). **(B)** The frontal view of the device (arrow) with the left side deployed in the left ventricle (LV) and the device still attached to the catheter (**C**) delivery system. **(C)** The device in its final position with the discs of the device (arrows) on opposite sides of the ventricular septum. *L*, Left; *LA*, left atrium; *P*, posterior; *R*, right; *RV*, right ventricle; *S*, superior; *VS*, ventricular septum.



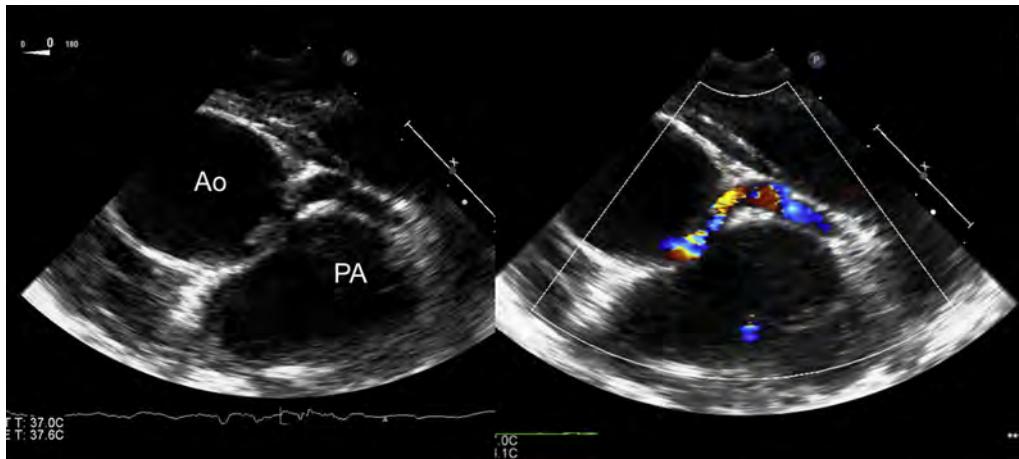
**Figure 12** Midesophageal 4-Ch view of a complete atrioventricular septal defect including primum atrial septal defect (white arrow), inlet ventricular septal defect (black arrow), and common atrioventricular valve. *RA*, Right atrium; *LA*, left atrium; *RV*, right ventricle; *LV*, left ventricle.

ventricular component to the septal defect. The AV valves can be seen using the TG Basal SAX view, and the site of AV valve regurgitation shown with color Doppler.

**Role of TEE in AVSD Repair.** Transthoracic echocardiography will demonstrate most of the relevant preoperative diagnostic data in AVSD with few exceptions.<sup>185</sup> TEE is indicated preoperatively in essentially all patients with AVSD, but particularly in the older infant/child in whom surgical decision-making might require delineation of the degree and mechanism of AV valve regurgitation, mechanism of outflow tract obstruction, and or suitability for biventricular correction. TEE can also add value in the clarification of pulmonary and systemic venous drainage, particularly in heterotaxy.

Intraoperative and immediate postoperative TEE can detect clinically significant residual findings, thereby prompting a return to cardiopulmonary bypass in both the native valve repair and in older children and adults being considered for reintervention to improve AV valve function or to close residual septal defects following prior AVSD repair.<sup>11,186,187</sup>

**Use of 3D TEE in AVSD Imaging.** A multi-beat full-volume 3D acquisition from a ME 4-Ch view can provide a complete view of the AV junction from both atrial and ventricular aspects, allowing clear appreciation of the anatomical relationships and fine details of both the bridging and mural leaflets. Novel *en face* views of the atrial and ventricular septa obtained by cropping away the ventricular free walls will show the curved crest of the IVS and size and shape of any septal defects (Video 43). 3D TEE with color flow Doppler provides further spatial information and the precise site(s) of AV valve regurgitation, which enhances surgical planning for the repair.



**Figure 13** Midesophageal AoV SAX view in a patient with anomalous origin of the left coronary artery from the right sinus of Valsalva. Note the slit like orifice as the left coronary artery arises from the right sinus. The color Doppler clip demonstrates the interarterial course between the aorta and pulmonary artery. *Ao*, Aorta; *PA*, pulmonary artery.

## Key Points

1. Atrial septal defect (ASD) subtypes include secundum, primum, sinus venosus, and coronary sinus defects (Figure 9).
2. Ventricular septal defect (VSD) subtypes include perimembranous, inlet, muscular, outlet, and malalignment (the last is associated with conotruncal defects) (Figure 10).
3. TEE plays an important role in monitoring of ASD and VSD closures in the catheterization laboratory.
4. TEE is important for postoperative assessment of VSD closure, especially for determination of significant residual VSDs, outflow tract obstruction, and aortic regurgitation, as well as whether return to bypass is indicated.
5. TEE is indicated preoperatively in essentially all patients with AVSD, but particularly in the older infant/child in whom surgical decision-making might require delineation of the degree and mechanism of AV valve regurgitation, mechanism of outflow tract obstruction, and/or suitability for biventricular correction.
6. 3D TEE is useful for assessment of ASD and VSD morphology, and for monitoring of ASD/VSD closure in the catheterization laboratory. 3D TEE can also facilitate preoperative assessment of atrioventricular septal defects.

## Coronary Anomalies

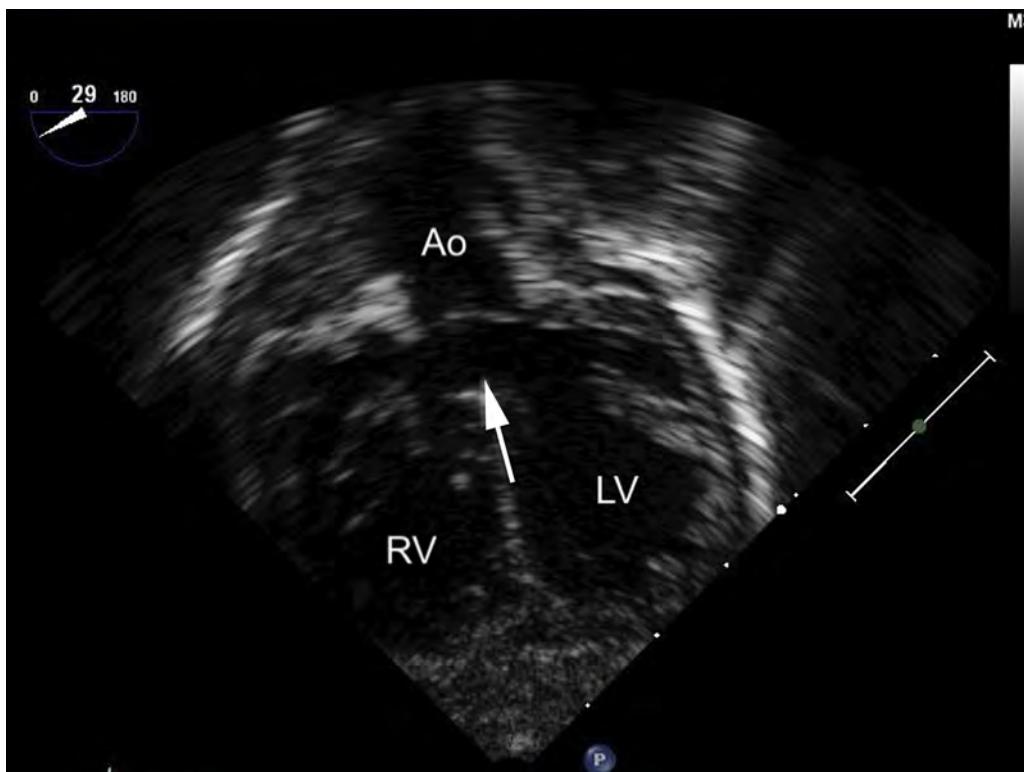
**Anatomy.** Complete evaluation of the CAs for preoperative confirmation of suspected anomalies should include multiple planes to visualize the coronary connections to the great artery as well as the course and size of the arteries as they pass in the AV groove.<sup>188-190</sup> Color flow Doppler assessment should be performed to document connections since 2D imaging can at times be deceptive. The imaging of CA origins is performed primarily using the ME AoV SAX and RV In-Out views. These two views provide excellent imaging of all aortic cusps and can show the connections to the aorta. Anteflexion of the probe to move the imaging plane slightly superiorly may be necessary to properly demonstrate the origins, as they can arise above the aortic valve sinuses. Forward rotation of the transducer angle to between 0-20°, along with rotation of the probe toward the patient's right, dem-

onstrates the right CA course in the anterior AV groove. The left CA courses inferiorly in the anterior left AV groove. Starting from the ME AoV SAX view, the probe is advanced slightly to move the plane inferiorly, using a transducer angle of 30-40°. Rotation of the probe to the patient's left demonstrates the left AV groove and the bifurcation of the left main CA into the left anterior descending and circumflex CAs.

### Role of TEE in Anomalous Origin of the Coronary Artery.

**Anomalous Origin of the Coronary Artery from the Aortic Root.**—Anomalous origin of the CA from the opposite sinus of Valsalva is associated with an abnormal slit-like origin, an intramural course, and may include a course between the great arteries. TEE can be very helpful in the diagnosis of anomalous origin from the inappropriate sinus.<sup>189,191,192</sup> (Figure 13 and Video 44) The demonstration of anomalous origin from the aorta requires careful interrogation with both 2D imaging and color Doppler. Because the anomalous artery frequently has an intramural segment, 2D imaging can give the appearance of a normal origin from the appropriate sinus. In this setting, careful color flow Doppler interrogation of the aortic wall is important in demonstrating abnormal flow in the intramural segment.<sup>193</sup> Color Doppler shows an abnormal narrow region of flow that appears within the wall of the aorta. When the right CA arises from the left sinus, demonstration of the course requires forward rotation of the transducer angle from the ME AoV SAX view to 30-50°. In addition, the ME LAX view can show a circular cross-section of the right CA immediately anterior to the aorta. To image the left CA arising from the right sinus of Valsalva, the transducer angle is either kept the same or rotated backward to 0-25° and the transducer is rotated to the patient's left.

**Coronary Imaging in the Setting of Anomalous Origin of the Left or Right Coronary Artery from the Pulmonary Artery (ALCAPA and ARCAPA).**—As is the case in anomalous origin from the aorta, systematic and detailed evaluation of the coronary origins by 2D imaging, supplemented by documentation of flow using color Doppler, is critical to making an accurate diagnosis of anomalous CA from the PA.<sup>194,195</sup> Starting from the ME AoV SAX view, anteflexion of the probe brings the imaging plane superior to the PA and can directly show the anomalous connection. In some cases the artery arises laterally and may require rotation of the transducer to the patient's left to visualize the lateral wall. In addition, other important hallmarks of these defects



**Figure 14** Deep transgastric 5-Ch view of double outlet right ventricle (DORV) with subaortic ventricular septal defect ("tetralogy type" DORV). The aorta overrides the ventricular septal defect (arrow) to receive blood from the RV and LV. Ao, Aorta; RV, right ventricle; LV, left ventricle.

(particularly ALCAPA) should be evaluated, including segmental wall motion abnormalities, ventricular dysfunction, mitral regurgitation, and echogenic and fibrotic papillary muscles.

### Key Points

1. Imaging of the coronary artery origins is primarily done in the ME SAX views.
2. The demonstration of anomalous origin of a coronary artery from the opposite sinus of Valsalva requires careful interrogation with both 2D imaging and color Doppler.
3. In ALCAPA and ARCPA, the anomalous origin of the coronary artery from the pulmonary artery can be visualized using the ME views.
4. Segmental wall motion abnormalities, ventricular dysfunction and mitral regurgitation should be assessed.

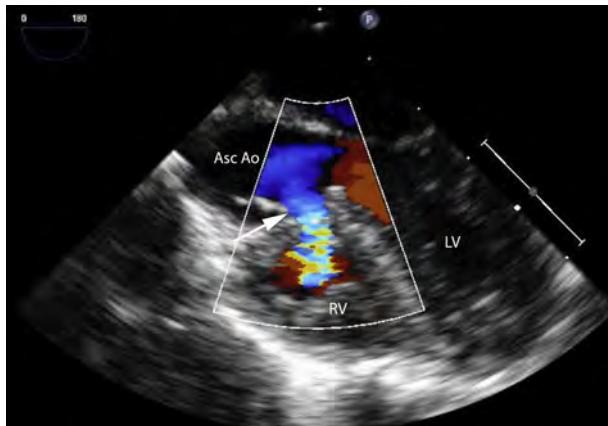
### Conotruncal Defects

**Anatomy.** Conotruncal defects are a group of CHDs characterized anatomically by abnormal ventriculo-arterial connections including TOF, DORV, truncus arteriosus, d-TGA, and l-TGA, which can occur in isolation or in association with heterotaxy and looped hearts. Delineating the anatomic features is important for accurate diagnosis, pre-operative planning, and post-operative evaluation; in particular the ventriculo-arterial alignment, the anatomy of the conus, and the VSD. The ventriculo-arterial alignment can be normal (TOF), or abnormal such as in TGA, DORV, and double-outlet left ventricle (rare, not discussed here). The great arteries can be positioned anteroposteriorly or

mediolaterally. The fibrous continuity between a great artery and an AV valve is important along with the anatomy of the conal septum, which should be described regarding 1) location: sub-pulmonary (normal), as in TOF, sub-aortic conus, as in TGA, and bilateral conus, as in types of DORV; 2) position: the conal septum can be anterior or posteriorly malaligned; and 3) size: the conus can be hypoplastic or absent. Associated VSDs can be subaortic ("tetralogy type" DORV, Figure 14 and Video 45), subpulmonary (as in the Taussig-Bing type of DORV), remote (usually the canal or inlet type, but can be muscular), or doubly committed (absence or hypoplasia of the conal septum).

TEE allows evaluation of outflow tract patency/obstruction, residual VSDs, residual atrial level communications, AV or semilunar valve insufficiency, and ventricular function. An important consideration in conotruncal defects in general is the presence of a residual intramural VSD (communication located anterior to the VSD patch between the great artery and right ventricular trabeculations). These defects are distinct from the more common peri-patch defects and their identification is important, as they tend to increase in size over time and are associated with worse post-operative outcomes.<sup>196,197</sup> Each type of defect will be reviewed in detail with the focus being on post-operative factors.

**Tetralogy of Fallot.**—In the current era, most patients with tetralogy of Fallot are operated upon in infancy and therefore the pre-operative assessment is usually achieved with TTE. However, TEE can be complementary if there are remaining questions, such as the presence of additional VSDs, and is useful postoperatively to assess residual lesions.<sup>198,199</sup> Starting with the ME 4-Ch view, the probe is withdrawn to a ME 5-Ch view to profile the VSD patch, which is then interrogated with color Doppler for residual shunting and direction of flow (Figure 15). Further withdrawal of the probe with rightward rotation

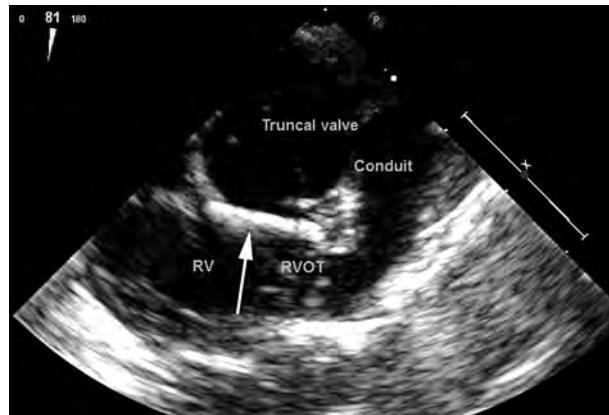


**Figure 15** Midesophageal 5-Ch view with color Doppler in a patient with tetralogy of Fallot shows a large residual VSD (arrow) with left to right shunting into the right ventricle (RV). Asc Ao, Ascending aorta; LV, left ventricle.

will display the IAS at 0°–30° to assess for residual ASDs. The ME RV In-Out view can evaluate for residual RVOT obstruction and can also be used to obtain a TR peak velocity for estimation of RV systolic pressure. Residual RVOT obstruction can also be assessed in the DTG RVOT view, with the transducer angle at 50°–90°. It is important to remember that a hypercontractile state can exist following surgery so if the obstruction is dynamic, rather than fixed, it does not warrant surgical revision.<sup>200</sup>

**Double Outlet Right Ventricle.**—Preoperative TEE can help determine the location and size of the VSDs, relationship of the great vessels to each other and to the VSD, restriction at the level of the VSDs, anatomy of AV valves (e.g., straddling), and coronary anomalies to help in the determination of optimal surgical strategy. The ME 5-Ch view with probe anteflexion profiles the great vessels arising from the RV. The ME AoV LAX view allows for profiling the LVOT and potential pathway to the aorta. In a physiologic two-ventricle repair, a VSD patch is placed to baffle the LV outflow to the Ao and care must be taken to evaluate this area as significant obstruction from subaortic conus or the VSD patch is possible. In patients with DORV and TGA (Taussig-Bing anatomy), the VSD patch is placed to baffle the LV outflow to the PA and is followed by the arterial switch operation. The DTG 5-Ch and RVOT views provide visualization of the great arteries and their relationship to the VSD in all conotruncal defects.

**Truncus Arteriosus Communis (Referred to as Truncus Arteriosus).**—The pre-operative assessment of truncus arteriosus is mostly achieved with TTE, however, TEE can provide additional information with respect to the anatomy and function of the truncal valve, additional VSDs, and origin of the branch PAs in addition to a complete evaluation for residual lesions post-operatively. Withdrawing the probe from a near TG position through the ME position with the transducer angle at 0° profiles the VSD patch, which is then interrogated with color Doppler for residual shunting and direction of flow. The ME RV In-Out view is useful to demonstrate a peri-patch residual leak. In addition, the RV-to-PA conduit is best seen in this view with a counterclockwise turn of the probe toward the left side of the patient (Figure 16). Rotation of the probe to the ME ascending Ao LAX view and withdrawal to the UE Ao arch SAX view will demonstrate the most distal portion of the conduit as it is connected to the branch pulmonary arteries. Backward rotation to 0–10°, using the UE PA view, provides good visualization of the right PA but the left PA can be difficult to visu-



**Figure 16** Modified midesophageal RV In-Out view around 90° in a patient after truncus arteriosus repair. The ventricular septal defect patch is seen (arrow) as well as the right ventricle (RV) to pulmonary artery conduit. RVOT, Right ventricular outflow tract.

alize in some patients and may require forward rotation to 90° with a turn to the left. The LV-to-truncal-valve pathway can be seen well in the ME AoV LAX or 5-Ch views, which, along with the ME AoV SAX view will allow assessment of truncal stenosis and regurgitation.<sup>201</sup> When available, the DTG views (5-Ch and RVOT) can provide visualization of the LVOT and proximal RV-to-PA conduit, as well as an excellent angle for spectral Doppler assessment. The ME Asc Ao SAX and UE PA views are the best to demonstrate the PAs.

**d-TGA with Arterial Switch.**—In d-TGA with an intact ventricular septum, preoperative TEE may not be needed if the coronary arteries are well defined by TTE, but this varies by institution.<sup>202</sup> Post-operative TEE should assure patent right and left ventricular outflow tracts after transection and “switching” of the great arteries, determine regional and global systolic ventricular function after transfer of the coronary arteries, and provide assessment of residual intracardiac shunts. The ME 4-Ch view provides a global assessment of ventricular performance. The TG Basal and Mid Pap SAX views allow determination of regional wall motion abnormalities consistent with coronary obstruction, which may result from transfer to the neo-aorta.<sup>203</sup> Attempts at coronary imaging is often helpful to determine if there is adequate flow or narrowing seen by 2D to explain ventricular dysfunction. The supravalvular regions are evaluated as the probe is withdrawn to the UE PA view (as well as the branch PAs, which are anterior and straddling the ascending Ao) and rotated in the ME plane to the ME AoV LAX view. Importantly, the function of the neo-aortic and -pulmonic valves should be determined, because valve distortion can occur with the procedure. With the color flow Doppler scale reduced, coronary blood flow in diastole can also be seen in some cases.

**d-TGA with Rastelli.**—In cases of d-TGA with posterior malalignment VSD and LV outflow tract stenosis (subpulmonary/PV stenosis), other surgical options may be considered, including the Rastelli operation (intracardiac tunnel baffling the LV to the rightward aorta) with RV-to-PA conduit placement. Postoperative TEE should include surveillance for a residual VSD, assurance of an unobstructed pathway from the LV to the aorta, and assessment of function of the RV-to-PA conduit in a fashion similar to that described in truncus arteriosus, DORV, and tetralogy of Fallot.

**d-TGA with Atrial Switch (Senning or Mustard Procedure).**—A complete scan of the atrial switch pathway can begin in the TG

IVC/Hep Veins view with demonstration of the inferior limb of the systemic venous baffle directing IVC blood flow to the subpulmonic LV (Video 46).<sup>204</sup> As the probe is gradually withdrawn to the ME 4-Ch view, the pulmonary venous pathway is now demonstrated as it connects to the systemic RV (Figure 17 and Video 47). Further probe withdrawal into the upper esophagus (30–45° plane) exposes the superior limb of the systemic venous atrium. The ME Bicaval view (90° plane) provides visualization of both the inferior and superior limbs of the systemic venous baffle. With counterclockwise probe rotation, the pulmonary venous pathway can also be seen in the ME Bicaval view. Doppler interrogation of continuous turbulent flow allows for estimation of pressure gradients across a pathway obstruction. The DTG Atr Sept view provides excellent angles of insonation for venous return, particularly for the superior systemic venous pathway. A dilated SVC/IVC or presence of significant venous collaterals should provide a clue for downstream obstruction in the systemic venous pathway. Color Doppler should be employed to assess location and size of baffle leaks in conjunction with an agitated-saline study. Simultaneous biplane imaging further enhances the assessment of the atrial pathways with the orthogonal view. Finally, assessment of intracardiac thrombus is often indicated after stroke or in the setting of tachyarrhythmias before cardioversion. In the normal heart, thrombus is typically assessed in the LAA as previously discussed; however, the LAA is part of the systemic venous pathway in the atrial switch patient. Therefore, thrombus should also be excluded in the pulmonary venous pathway.

**Congenitally Corrected TGA (also known as I-TGA).**—Pre-operative and post-operative assessments require an evaluation similar to what was discussed for the other conotruncal lesions. In particular, the preoperative assessment involves evaluation of the systemic AV valve, since there is commonly an Ebstein-like malformation of the left-sided TV. Post-operative assessment, when the repair entails an anatomic repair or “double switch” operation, evaluates all aspects of the atrial and arterial switches discussed earlier.

**Use of 3D TEE in Conotruncal Defects.** Views that demonstrate the VSD, outflow tracts, and semilunar valves can be analyzed individually and sequentially using focused narrow-sector live 3D. For example, 3D Video 48 shows a patient with Taussig-Bing double outlet right ventricle who underwent an arterial switch operation and VSD closure. In addition, obtaining a 3D full-volume acquisition from the ME 4-Ch or DTG 5-Ch view followed by cropping on cart or off-line is very useful. Focused imaging of an intra-atrial baffle obstruction or leak can be effectively performed with narrow-sector live 3D and biplane echo with color flow Doppler mapping. Imaging of the entire baffle requires 3D full-volume acquisition and cropping.<sup>205–207</sup>

## Key Points

- Conotruncal defects include TOF, DORV, truncus arteriosus, d-TGA and I-TGA.
- Anatomic assessment should include great artery positioning (anteroposterior, mediolateral), as well as conal septum location (sub-pulmonary, subaortic or bilateral), position (anterior or posterior), and size (hypoplastic or absent). Associated VSDs can be classified as subaortic, subpulmonary, remote or doubly committed.
- For all conotruncal defects, TEE allows for pre- and post-operative evaluation of outflow tract patency/obstruction, residual VSDs (including intramural VSDs), residual atrial level communications, AV or semilunar valve insufficiency, and ventric-

ular function. A combination of ME, TG, and DTG views should be used for evaluation.

- 3D TEE can be used to provide further elucidation of the VSD/outflow tract anatomy and semilunar valve morphology/function. Where applicable, intra-atrial baffle obstructions or leaks can also be evaluated by narrow sector live 3D, biplane echo, or full volume acquisition.

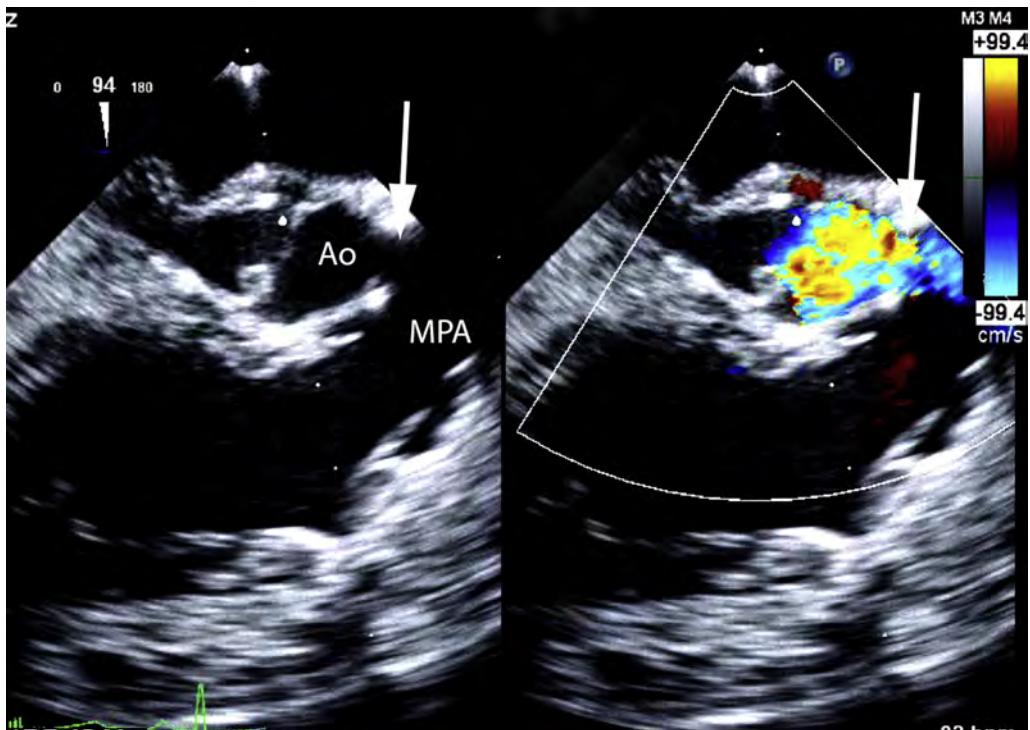
## Complex Single Ventricle

**Anatomy.** Single ventricles encompass a number of different cardiac morphologies where either the subpulmonary ventricle or the subsystemic ventricle is poorly developed, have a deficient or absent inlet, or a stenotic or absent outlet. Irrespective of the underlying morphology, the aim of surgical and/or catheter intervention is to connect the remaining functional ventricle with an outlet to the systemic circulation and allow the pulmonary circulation to receive blood passively from the head and body via cavo-pulmonary connections (SVC and IVC drain directly into the pulmonary arteries).

**Role of TEE in Initial Palliation for Single Ventricles.** The role of routine TEE in the complex single ventricle will depend primarily on preoperative status and surgical stage. Initial palliation (stage 1) requires either a new source of pulmonary blood flow from a modified Blalock-Taussig shunt, central shunt, or Sano shunt, or by limiting pulmonary blood flow through a PA band. Visualization and assessment of the shunt and branch PAs is often difficult, but can be achieved using the UE Ao arch LAX, Ao arch SAX, and PA views. The PA band is best viewed with the DTG RVOT or UE PA views, given their alignment for spectral Doppler assessment. In patients with obstruction to the native Ao (like hypoplastic left heart syndrome, Video 49), stage 1 also requires construction of a neo-aorta with a Damus-Kaye-Stansel (DKS) procedure. The DKS procedure is an anastomosis between the native MPA and ascending Ao, which allows systemic outflow from the native Ao or native MPA to be delivered to the brain and body. When this procedure is coupled with an arch reconstruction it is called the Norwood procedure. The DKS anastomosis is best viewed in the ME AoV LAX and ME Asc Ao LAX views and



**Figure 17** Midesophageal 4-Ch view of D-transposition of the great arteries after atrial switch repair (Mustard or Senning operation). The pathway (arrow) to the pulmonary venous atrium (PVA) is demonstrated to the systemic right ventricle (RV). LV, left ventricle.

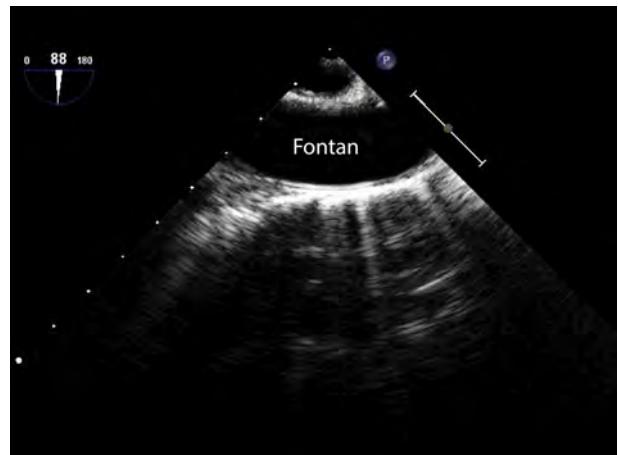


**Figure 18** Midesophageal AoV LAX view with backwards rotation of the transducer angle to 90–120° and slight probe withdrawal demonstrating a Damus-Kaye-Stansel anastomosis (arrow) between the ascending aorta (Ao) and main pulmonary artery (MPA).

lies just above the semilunar valves (Figure 18 and Video 50). The neo-aorta is best visualized with the ME AoV LAX view. Additional Ao arch and descending Ao views include the ME Asc Ao LAX, the UE Ao arch LAX (with clockwise or counterclockwise probe rotation to visualize the aortic arch), and Desc Ao SAX and LAX.

**Role of TEE in Glenn Assessment.** Stage 2 reconstruction, the superior cavopulmonary anastomosis or Glenn procedure, involves an anastomosis between the SVC and the right PA, left PA, or both. Visualization of the Glenn anastomosis is often difficult with TEE but it does offer the ability to assess for any narrowing or turbulence at the anastomotic site to the PA. The best views for the Glenn connection are in the mid to upper esophagus (ME Asc Ao LAX, UE Ao arch SAX) with clockwise or counterclockwise rotation of the probe, depending upon if it is a right- or left-sided Glenn. Additionally, thrombus in the cavopulmonary connection can also be ruled out with TEE (early or late) in the setting of suspected or persistent oxygen desaturation.

**Role of TEE in Fontan Assessment.** Stage 3 reconstruction, the Fontan operation, directs IVC flow to the pulmonary circulation using an intracardiac lateral tunnel or an extracardiac conduit, although there are still some atrio-pulmonary connections in the ACHD population.<sup>208,209</sup> The initial assessment of the Fontan cavopulmonary connection utilizes the ME 4-Ch view. From this position, the probe is advanced to the TG position, until the IVC is identified within the liver. The probe is then withdrawn until the Fontan is visualized in cross section. Changing the transducer angle to 90° in this position (TG IVC/Hep Veins view) will allow for visualization of the baffle longitudinally and as the probe is withdrawn to the ME Bicaval view, more of the Fontan pathway is seen (Figure 19). The addition of color and spectral Doppler can evaluate a Fontan fenestration or residual right-to-left shunting and, if needed, agitated saline injected into the systemic



**Figure 19** Midesophageal Bicaval view (transducer angle around 90°) in a patient after lateral tunnel or extracardiac Fontan. The length of the Fontan tunnel is shown here.

venous circulation from below the diaphragm can be helpful. Importantly, positive pressure ventilation for TEE under general anesthesia may impede venous return to the heart, and caution should be exercised in this patient group. Interventional device closure or creation of a Fontan fenestration can be guided largely or even exclusively using 2D and 3D TEE. Finally, all views that profile intracardiac structures can be used for assessment of thrombus, including, but not limited to the ME 4-Ch, LAA, and RV In-Out views.<sup>210–212</sup>

**Single Ventricle Function.** Quantification of functional single ventricles remains difficult. Function may differ between the morphologic left and right single ventricles.<sup>213</sup> There are important alterations in

loading conditions that affect systolic function before and after Glenn and Fontan palliation. Superior cavopulmonary anastomosis results in a significant reduction in preload in the single ventricle. Ventricular function may acutely fall and then normalize over a period of months, with ventricular remodeling.<sup>214</sup> The Fontan operation results in further reduction in preload and subsequent decrease in ventricular function, however, subsequent ventricular remodeling and normalization of ventricular size and function vary with age at Fontan and magnitude of pre-Fontan volume overload.<sup>215</sup> Qualitative assessment in multiple orthogonal planes is recommended in the ME 4-Ch, TG Mid Pap SAX, or TG LAX views. There is poor correlation between echocardiographic geometric assessment of single ventricular function (modified biplane Simpson's method) and MRI-derived EF.<sup>216</sup> Non-geometric indices may offer the best method for quantifying ventricular function in an objective and reproducible manner.

**Use of 3D TEE in Single Ventricle.** In the single-ventricle patient, the use of 3D TEE is almost entirely performed after the Fontan procedure, given the needed body size of >30 kg to allow probe insertion. Interventional catheterization procedure guidance, atrial and Fontan thrombus analysis, and assessment of AV valve function are frequently required. The Fontan, if not too large, can be imaged using a narrow-sector live 3D longitudinal view which allows analysis in a rapid fashion, free of stitch artifact. In those patients with atrio-pulmonary type connections, a full-volume 3D acquisition with cropping provides the best option. More recently, fusion imaging of 3D TEE and angiography allows simultaneous use of both modalities at a lower total radiation dose.<sup>217</sup>

## Key Points

1. The role of TEE in the complex single ventricle will depend upon the underlying anatomy and also the stage of surgical palliation: (1) Damus-Kaye-Stansel (DKS) or Norwood procedure with modified Blalock-Taussig shunt or Sano shunt; (2) superior cavopulmonary (Glenn) procedure; (3) total cavopulmonary (Fontan) operation.
2. The DKS anastomosis is best viewed in the ME AoV LAX and ME Asc Ao LAX views and lies just above the semilunar valves. Visualization and assessment of the shunt and branch PAs is often difficult, but can be achieved using the UE Ao arch LAX, Ao arch SAX, and PA views.
3. Visualization of the Glenn anastomosis is often difficult with TEE but it does offer the ability to assess for any narrowing or turbulence at the anastomotic site to the PA. The best views are in the ME Asc Ao LAX and UE Ao arch SAX.
4. TEE in the Fontan patient allows for assessment of thrombus, residual Fontan fenestration, AV valve function and ventricular function. It is important to assess the Fontan pathway in both ME 4-Ch view and ME Bicaval view so that the entire conduit is visualized from IVC to PA.
5. Interventional device closure or creation of a Fontan fenestration is guided with both 2D and 3D TEE. 3D TEE can also be used to assess atrial and Fontan conduit thrombus and AV valve function.

## Future Developments

The past several years have brought significant advances in both hardware and software technology that have directly impacted TEE in children. The development of 3D TEE transducers by most of the major

vendors has facilitated evaluation of older children and ACHD patients. Likewise, the development of automated or semi-automated assessment of 3D function, wall motion, and ventricular strain have not only enhanced the ability to care for patients but also have increased our understanding of cardiac mechanics in normal and disease states. Limitations remain, however, and include: suboptimal 3D color flow analysis, lack of a 3D TEE probe for pediatric patients, and lack of a high-quality TEE probe for the smallest neonates on all platforms.

**Probe Development.** The limitations above represent design challenges that push against the physics of ultrasound probe development. The current micro-multiplane probe contains 32 elements, as opposed to 64 in the standard pediatric TEE probe.<sup>19</sup> This places limits on the imaging quality of the probe. A very small multiplane TEE probe capable of passage through the esophagus of smaller neonates needs to balance a transducer size with the need for excellent image quality. Although advances in computer technology have miniaturized the electronics and computers, some of these miniaturizations cannot translate directly to imaging. Image resolution is dependent not only upon element number and transducer frequency, but also upon aperture size, which is proportional to element size.<sup>218</sup> Therefore, miniaturization of probe size ultimately places limits on either element number or size, which limits resolution, or on other aspects, such as the ability to manipulate the array plane. On the other hand, a 3D TEE probe for pediatric patients may be possible. Three-dimensional arrays, albeit somewhat limited ones, have been developed that fit into an intracardiac echocardiography catheter.<sup>219,220</sup> Clearly this array cannot be manipulated and exists in only the longitudinal (90°) plane; however, it does raise the possibility for a 3D array that can be placed into an endoscope of reasonable size for the infant, if not neonatal patient.

**Three-Dimensional Printing/Virtual Reality.** The development of 3D printers promises to impact the TEE community significantly. MRI- and CT-based algorithms have been shown to be useful in the surgical planning of an array of CHD.<sup>221-223</sup> 3D echocardiography has been shown to be feasible for printing accurate models but as the spatial and temporal resolution of 3D TEE improves and printing speed and cost decreases, the potential exists for printing to become a standard component of the preoperative evaluation.<sup>224-226</sup>

Virtual reality (VR) applications in medicine are rapidly expanding into the field of CHD. VR is being used to create virtual 3D models for education, and has been used for surgical planning.<sup>227-229</sup> The ability of TEE to create accurate 3D datasets opens the possibility of building not only VR databases for education, but potentially to build 3D models quickly for planning and diagnosis in the operating room.

**Software Automation/Flow Measurement/Image Analysis.** Automated image analysis has the potential to not only shorten scan time but also to improve accuracy and enhance the analysis of the echocardiogram. Three-dimensional EF by echocardiography has been shown to be superior to standard methods but by definition requires a 3D probe.<sup>230</sup> Vendors have begun to provide automated measurement capabilities and automated EF and strain. However, the 3D dataset contains a large amount of flow data that has not been used and can be localized to specific areas of the heart. This information has the potential to allow echocardiography to provide flow information currently only available by MRI such as simultaneous chamber volumes, valvular flow and regurgitant fraction, regional flow measurement, and shunt fractions. Additionally, this dataset has the ability to provide automated global and regional strain, as well as advanced information such as LV torsion. As vendors increase

**Table 7** Recommended TEE imaging views in selected CHD diagnostic scenarios

	Primary lesion and corresponding views	Common associated lesions and corresponding views (where appropriate)
Atrial septal defect	<ul style="list-style-type: none"> <li>Location, size, number, morphology, and suitability for device closure: ME 4-Ch (View 1), ME AoV SAX (View 12), ME RV In-Out (View 13), ME Bicaval (View 15), DTG Atr Sept (View 23)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Partial anomalous pulmonary venous return: ME Rt and Lt Pulm veins (Views 9 and 10), ME Bicaval (View 15), DTG Atr Sept (View 23)</li> <li>May require extending to UE and LE to evaluate superior and inferior sinus venosus defect</li> <li>LSVC to CS: ME 4-Ch with retroflexion (View 1), ME 2-Ch (View 4), ME Bicaval (View 15) and UE Ao Arch SAX (View 25), both with leftward rotation of TEE probe</li> </ul>
Ventricular septal defect	<ul style="list-style-type: none"> <li>Location, size, number: ME 4-Ch (View 1), ME 5-Ch (View 2), ME LAX (View 5), ME AoV LAX (View 6), ME Ao SAX (View 12), ME RV In-Out (View 13), DTG 5-Ch (View 21), DTG RVOT (View 22), TG Basal SAX (View 17), TG Mid Pap SAX (View 18), TG Apical SAX (View 19)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AoV prolapse: ME AoV LAX (View 6), ME Ao SAX (View 12)</li> <li>Double chamber right ventricle: ME AoV SAX (View 12), ME RV In-Out (View 13), DTG RVOT (View 22)</li> </ul>
Atrioventricular septal defect	<ul style="list-style-type: none"> <li>Primum ASD and inlet VSD: ME 4-Ch (View 1), TG Basal SAX (View 17), TG Mid Pap SAX (View 18)</li> <li>Common Atrioventricular Valve: ME 4-Ch (View 1), ME LAX (View 5), TG Basal SAX (View 17), TG LAX (View 20), DTG 5-Ch (View 21), DTG RVOT (View 22)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cleft mitral valve: ME 4-Ch (View 1), ME Mitral (View 3), ME 2-Ch (View 4), ME LAX (View 5), TG Basal SAX (View 17)</li> <li>Subaortic obstruction: ME 5-Ch (View 2), ME LAX (View 5), ME AoV LAX (View 6), DTG 5-Ch (View 21), DTG RVOT (View 22)</li> </ul>
Ebstein's anomaly	<ul style="list-style-type: none"> <li>Morphology of leaflets, and suitability for repair (mobility of anterior leaflet, chordal attachments to RVOT, number of regurgitant jets): ME 4-Ch (View 1), ME RV In-Out (View 13), ME Mod Bicaval TV (View 14), TG Basal SAX (View 17) with rightward probe rotation, DTG RVOT (View 22)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ASD: see above</li> <li>Noncompaction of LV: ME 4-Ch (View 1), ME 2-Ch (View 4), TG Apical SAX (View 19), TG LAX (View 20)</li> </ul>
Conotruncal defects (TOF, DORV, truncus arteriosus, D-TGA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Great artery position including conal septal location (subpulmonary, subaortic or bilateral), position (anterior or posterior) and size (hypoplastic or absent): ME 5 Ch (View 2), ME AoV LAX (View 6), ME RV In-Out (View 13), DTG 5-Ch (View 21), DTG RVOT (View 22)</li> <li>Location and size of VSD (subaortic, subpulmonary, doubly committed, remote): ME 5-Ch (View 2), ME AoV LAX (View 6), ME Ao SAX (View 12), ME RV In-Out (View 13), DTG 5-Ch (View 21), DTG RVOT (View 22), TG Basal SAX (View 17), TG Mid Pap SAX (View 18), TG Apical SAX (View 19)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>RV size and function: ME 4-Ch (View 1), ME AoV SAX (View 12), ME RV In-Out (View 13), TG Basal SAX (View 17), TG Mid Pap SAX (View 18), TG Apical SAX (View 19), DTG RVOT (View 22)</li> <li>AV valve abnormalities (stenosis, regurgitation, straddling/overriding): ME 4 Ch and ME 5 Ch (Views 1 and 2), ME Mitral (View 3), ME 2-Ch (View 4), ME LAX, (View 5), ME RV In-Out (View 13), ME Modified Bicaval TV (View 14), TG Basal SAX (View 17), TG Mid Pap SAX (View 18), DTG 5-Ch (View 21), DTG RVOT (View 22)</li> </ul>
TOF (postoperative)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Residual VSD: ME 5-Ch (View 2), ME AoV LAX (View 6), ME Ao SAX (View 12), ME RV In-Out (View 13), DTG 5-Ch (View 21), DTG RVOT (View 22)</li> <li>RVOT obstruction: ME RV In-Out (View 13), DTG RVOT (View 22), UE Ao Arch SAX (View 25) with leftward rotation of TEE probe</li> <li>Pulmonary regurgitation: ME Ao SAX (View 12), ME RV In-Out (View 13), UE Ao Arch SAX (View 25) with leftward rotation of TEE probe, UE PA (View 26), DTG RVOT (View 22)</li> </ul>	
DORV (postoperative)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Residual VSD: see above</li> <li>LV to aorta pathway: ME 5-Ch (View 2), ME AoV LAX (View 6), DTG 5-Ch (View 21), DTG RVOT (View 22)</li> </ul>	

(Continued)

**Table 7** (Continued)

Primary lesion and corresponding views	Common associated lesions and corresponding views (where appropriate)
Truncus arteriosus (postoperative)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residual VSD: see above</li> <li>• Anatomy and function of truncal valve: ME AoV LAX (View 6), ME AoV SAX (View 12), DTG 5-Ch (View 21)</li> <li>• Location, size and function of RV to PA conduit: ME RV In-Out (View 13), DTG 5-Ch (View 21), DTG RVOT (View 22)</li> <li>• PA size and residual PA stenosis: ME Asc Ao LAX (View 7) and SAX (View 8), UE Ao Arch SAX (View 25), UE PA (View 26).</li> <li>• LV to aorta pathway: ME 5-Ch (View 2), ME AoV LAX (View 6), DTG 5-Ch (View 21)</li> </ul>
d-TGA/arterial switch procedure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Right and left ventricular outflow tract: ME 5-Ch (View 2), ME LAX (View 5), ME AoV LAX (View 6), ME RV In-Out (View 13), DTG 5-Ch (View 21), DTG RVOT (View 22)</li> <li>• Supravalvular region: UE Ao Arch LAX (View 24) and SAX (View 25), UE PA (View 26)</li> <li>• Anatomy and function of neo-aortic valve: ME AoV LAX (View 6), ME AoV SAX (View 12), DTG 5-Ch (View 21)</li> <li>• Coronary reimplantation: ME AoV SAX (View 12)</li> <li>• LV size and function: ME 4-Ch (View 1), ME 2-Ch (View 4), ME LAX (View 5), TG Basal SAX (View 17), TG Mid Pap SAX (View 18), TG Apical SAX (View 19), TG LAX (View 20), DTG 5-Ch (View 21)</li> </ul>
d-TGA/Rastelli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residual VSD: see above</li> <li>• Location, size and function of RV to PA conduit: ME LAX (View 5), ME RV In-Out (View 13), DTG RVOT (View 22)</li> <li>• LV to aorta pathway: ME 5-Ch (View 2), ME LAX (View 5), ME Ao LAX (View 6), DTG 5-Ch (View 21), DTG RVOT (View 22)</li> </ul>
d-TGA/atrial switch procedure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pulmonary venous baffle: ME 4-Ch (View 1)</li> <li>• Superior and inferior limb of systemic venous baffle: ME Bicaval (View 15), ME Mod Bicaval TV (View 14), TG IVC/Hep Veins (View 16), DTG Atr Sept (View 23), UE Ao Arch SAX (View 25), UE PA (View 26)</li> <li>• May require gradual sweeps in order to scan the superior and inferior limbs of systemic venous baffle including clockwise/ counterclockwise probe rotation</li> <li>• Systemic RV size and function: ME 4-Ch (View 1), ME AoV SAX (View 12), ME RV In-Out (View 13), TG Basal SAX (View 17), TG Mid Pap SAX (View 18), TG Apical SAX (View 19), DTG RVOT (View 22)</li> <li>• Systemic AV valve regurgitation: ME 4-Ch (View 1), ME RV In-Out (View 13), ME Mod Bicaval TV (View 14)</li> <li>• Subpulmonary LV size and function: ME 4-Ch (View 1), ME 2-Ch (View 4), ME Mitral (View 3), ME LAX (View 5), TG Basal SAX (View 17), TG Mid Pap SAX (View 18), TG Apical SAX (View 19), TG LAX (View 20), DTG 5-Ch (View 21)</li> </ul>
I-TGA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systemic RV size and function: ME 4-Ch (View 1), ME 2-Ch (View 4), ME Mitral (View 3), ME LAX (View 5), TG Basal SAX (View 17), TG Mid Pap SAX (View 18), TG Apical SAX (View 19), TG LAX (View 20), DTG 5-Ch (View 21)</li> <li>• Systemic AV valve regurgitation: ME 4-Ch (View 1), ME Mitral (View 3), ME LAX (View 5)</li> <li>• Subpulmonic LV size and function: ME 4-Ch (View 1), ME AoV SAX (View 12), ME RV In-Out (View 13), TG Basal SAX (View 17), TG Mid Pap SAX (View 18), TG Apical SAX (View 19), DTG RVOT (View 22)</li> <li>• Physiologic repair (VSD closure and/or LV to PA conduit): see VSD and conduit views above</li> <li>• Anatomic repair (Atrial switch repair and arterial switch repair or Rastelli): See D-TGA arterial switch repair and D-TGA Rastelli views</li> </ul>

(Continued)

**Table 7 (Continued)**

Primary lesion and corresponding views	Common associated lesions and corresponding views (where appropriate)
<b>Single Ventricle</b>	
• Stage 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Assessment of size and function of modified Blalock-Taussig shunt, central shunt or Sano Shunt: UE Ao Arch LAX (View 24) and SAX (View 25), UE PA (View 26)</li> <li>Assessment of PA band: DTG RVOT (View 22), UE PA (View 26)</li> <li>Assessment of Damus-Kaye-Stansel (DKS) procedure: ME AoV LAX (View 6), ME Asc Ao LAX (View 7) and SAX (View 8), UE Ao Arch SAX (View 25), UE PA (View 26)</li> <li>Assessment of Norwood and aortic arch: ME AoV LAX (View 6), ME Asc Ao LAX (View 7) and SAX (View 8), UE Ao arch LAX (View 24) and SAX (View 25), Desc Ao SAX (View 27) and LAX (View 28)</li> </ul>
• Stage 2 (Glenn)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ME Asc Ao LAX (View 7) and SAX (View 8), UE Ao arch SAX (View 25)</li> <li>May require clockwise or counterclockwise rotation of the probe</li> </ul>
• Stage 3 (Fontan)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atriopulmonary Connection: ME 4-Ch (View 1), ME RV In-Out (View 13), ME Asc Ao SAX (View 8), TG IVC/Hep Veins (View 16)</li> <li>Lateral tunnel/extracardiac connection: ME 4-Ch (View 1), ME Asc Ao SAX (View 8), ME Mod Bicaval TV (View 14), TG IVC/Hep Veins (View 16), DTG Atr Sept (View 23)</li> <li>Pulmonary artery flow: ME Asc Ao SAX (View 8), UE Ao Arch SAX (View 25)</li> <li>Right pulmonary vein compression by dilated right atrium of atrio pulmonary connection: ME Rt Pulm Veins (View 9)</li> <li>Right atrial clot in atrio pulmonary connection: ME 4-Ch (View 1), ME Mod Bicaval TV (View 14), DTG Atr Sept (View 23)</li> <li>Lateral tunnel and extracardiac patency, clot, and fenestration: ME 4-Ch (View 1), ME 2-Ch (View 4), ME Bicaval (View 15), TG IVC/Hep (View 16), DTG Atr Sept (View 23)</li> </ul>

ASD, Atrial septal defect; ALCAPA, anomalous origin of the left main coronary artery from the pulmonary artery; AV, atrioventricular; CS, coronary sinus; d-TGA, complete transposition of the great arteries; DORV, double outlet right ventricle; DTG, deep transgastric; I-TGA, congenitally corrected transposition of the great arteries; LSVC, Left superior vena cava; LV, left ventricle; RV, right ventricle; TG, transgastric; TOF, tetralogy of Fallot; TV, tricuspid valve; VSD, ventricular septal defect.

Modified from Hahn et al.<sup>16</sup>

utilization of the dataset, ultrasound systems can take over tasks such as measurement and flow assessment, allowing clinicians to focus on the anatomy and physiology to obtain advanced diagnostic information.

## SUPPLEMENTARY DATA

Supplementary data related to this article can be found at <https://doi.org/10.1016/j.echo.2018.08.016>.

## CONCLUSIONS

Transesophageal echocardiography in children and patients with CHD is clearly a unique and distinct discipline. The aim of this document was to provide the reader with an in-depth review of what is required to perform this procedure, as well as a comprehensive protocol for image acquisition. Given the tremendous amount of anatomic variability in CHD, these guidelines are meant to serve as a starting point from which additional customization may be needed to obtain information crucial for clinical decision-making in each patient. We have attempted to encapsulate much of CHD in summary Table 7 for ease of use. The continued incorporation of new and advanced technologies designed to shorten acquisition time, improve accuracy, and enhance analysis will further benefit patient care and reinforce the vital role of this imaging modality in a variety of clinical settings.

## REFERENCES

- Cyran SE, Kimball TR, Meyer RA, Bailey WW, Lowe E, Balisteri WF, et al. Efficacy of intraoperative transesophageal echocardiography in children with congenital heart disease. *Am J Cardiol* 1989;63:594-8.
- Fyfe DA, Kline CH, Sade RM, Greene CA, Gillette PC. The utility of transesophageal echocardiography during and after Fontan operations in small children. *Am Heart J* 1991;122:1403-15.
- Weintraub R, Shiota T, Elkadi T, Golebiowski P, Zhang J, Rothman A, et al. Transesophageal echocardiography in infants and children with congenital heart disease. *Circulation* 1992;86:711-22.
- Acar P, Abadir S, Aggoun Y. Transcatheter closure of perimembranous ventricular septal defects with Amplatzer occluder assessed by real-time three-dimensional echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2007;8:110-5.
- Gan C, An Q, Lin K, Tang H, Lui RC, Tao K, et al. Perioperative device closure of ventricular septal defects: six months results in 30 young children. *Ann Thorac Surg* 2008;86:142-6.

6. Kim HK, Kim WH, Hwang SW, Lee JY, Song JY, Kim SJ, et al. Predictive value of intraoperative transesophageal echocardiography in complete atrioventricular septal defect. *Ann Thorac Surg* 2005;80:56-9.
7. Kutty S, Delaney JW, Latson LA, Danford DA. Can we talk? Reflections on effective communication between imager and interventionalist in congenital heart disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:813-27.
8. Mathewson JW, Bichell D, Rothman A, Ing FF. Absent posteroinferior and anterosuperior atrial septal defect rims: factors affecting nonsurgical closure of large secundum defects using the Amplatzer occluder. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:62-9.
9. Miller-Hance WC, Silverman NH. Transesophageal echocardiography (TEE) in congenital heart disease with focus on the adult. *Cardiol Clin* 2000;18:861-92.
10. Motta P, Miller-Hance WC. Transesophageal echocardiography in tetralogy of Fallot. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* 2012;16:70-87.
11. Randolph GR, Hagler DJ, Connolly HM, Dearani JA, Puga FJ, Danielson GK, et al. Intraoperative transesophageal echocardiography during surgery for congenital heart defects. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2002;124:1176-82.
12. Simpson J, Lopez L, Acar P, Friedberg MK, Khoo NS, Ko HH, et al. Three-dimensional echocardiography in congenital heart disease: an expert consensus document from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2017;30:1-27.
13. Smallhorn JF. Intraoperative transesophageal echocardiography in congenital heart disease. *Echocardiography* 2002;19:709-23.
14. Wong PC, Miller-Hance WC, editors. *Transesophageal Echocardiography for Congenital Heart Disease*. London: Springer-Verlag; 2014.
15. Levin DN, Taras J, Taylor K. The cost effectiveness of transesophageal echocardiography for pediatric cardiac surgery: a systematic review. *Pediatr Anesth* 2016;26:682-93.
16. Hahn RT, Abraham T, Adams MS, Bruce CJ, Glas KE, Lang RM, et al. Guidelines for performing a comprehensive transesophageal echocardiographic examination: recommendations from the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:921-64.
17. Scoky TV, Matte G, van der Steen AF, McGhie J, Bogers A, et al. A new transesophageal probe for newborns. *Ultrasound Med Biol* 2009;35:1686-9.
18. Scoky TV, Gomers D, Jan ten Harkel AD, Deryck Y, McGhie J, Bogers AJ. Intraoperative evaluation of micromultiplane transesophageal echocardiographic probe in surgery for congenital heart disease. *Eur J Echocardiogr* 2007;8:241-6.
19. Zblewski SC, Shirali GS, Forbus GA, Hsia TY, Bradley SM, Atz AM, et al. Initial experience with a miniaturized multiplane transesophageal probe in small infants undergoing cardiac operations. *Ann Thorac Surg* 2010;89:1990-4.
20. Toole BJ, Slesnick TC, Kreeger J, Border WL, Ehrlich AC, Ferguson ME, et al. The miniaturized multiplane micro-transesophageal echocardiographic probe: a comparative evaluation of its accuracy and image quality. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28:802-7.
21. Pushparajah K, Miller OI, Rawlins D, Barlow A, Nugent K, Simpson JM. Clinical application of a micro multiplane transoesophageal probe in congenital cardiac disease. *Cardiol Young* 2012;22:170-7.
22. Silvestry FE, Cohen MS, Armsby LB, Burkule NJ, Fleishman CE, Hijazi ZM, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of atrial septal defect and patent foramen ovale: from the American Society of Echocardiography and Society for Cardiac Angiography and Interventions. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28:910-58.
23. Cossor W, Cui VW, Roberson DA. Three-dimensional echocardiographic en face views of ventricular septal defects: feasibility, accuracy, imaging protocols and reference image Collection. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28:1020-9.
24. Baker GH, Shirali G, Ringewald JM, Hsia TY, Bandisode V. Usefulness of live three-dimensional transesophageal echocardiography in a congenital heart disease center. *Am J Cardiol* 2009;103:1025-8.
25. Weitzel N, Salcedo E, Puskas F, Nasrallah F, Fullerton D, Seres T. Using real time three-dimensional transesophageal echocardiography during Ross procedure in the operating room. *Echocardiography* 2009;26:1278-83.
26. Huang X, Shen J, Huang Y, Zheng Z, Fei H, Hou Y, et al. En face view of atrial septal defect by two-dimensional transthoracic echocardiography: comparison to real-time three-dimensional transesophageal echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:714-21.
27. Simpson JM, Miller O. Three-dimensional echocardiography in congenital heart disease. *Arch Cardiovasc Dis* 2011;104:45-56.
28. Brantley HP, Nekkanti R, Anderson CA, Kypson AP. Three-dimensional echocardiographic features of unicuspis aortic valve stenosis correlate with surgical findings. *Echocardiography* 2012;29:E204-7.
29. Simpson J, Miller O, Bell A, Bellsham-Revell H, McGhie J, Meijboom F. Image orientation for three-dimensional echocardiography of congenital heart disease. *Int J Cardiovasc Imaging* 2012;28:743-53.
30. Vettukattil JJ. Three dimensional echocardiography in congenital heart disease. *Heart* 2012;98:79-88.
31. Ayres NA, Miller-Hance W, Fyfe DA, Stevenson JG, Sahn DJ, Young LT, et al. Indications and guidelines for performance of transesophageal echocardiography in the patient with pediatric acquired or congenital heart disease: report from the task force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:91-8.
32. Fyfe DA, Ritter SB, Snider AR, Silverman NH, Stevenson JG, Sorensen G, et al. Guidelines for transesophageal echocardiography in children. *J Am Soc Echocardiogr* 1992;5:640-4.
33. Bai A, Steinberg M, Showler A, Burry L, Bhatia R, Tomlinson G, et al. Diagnostic accuracy of transthoracic echocardiography for infective endocarditis findings using transesophageal echocardiography as the reference standard: a meta-analysis. *J Am Soc Echocardiogr* 2017;30:639-46.e8.
34. Mart CR. Three-dimensional echocardiographic evaluation of the Fontan conduit for thrombus. *Echocardiography* 2012;29:363-8.
35. Saric M, Armour AC, Arnaout MS, Chaudhry FA, Grimm RA, Kronzon I, et al. Guidelines for the use of echocardiography in the evaluation of a cardiac source of embolism. *J Am Soc Echocardiogr* 2016;29:1-42.
36. Bouch D, Allsager C, Moore N. Peri-operative trans-oesophageal echocardiography and nitric oxide during general anaesthesia in a patient with Eisenmenger's syndrome. *Anaesthesia* 2006;61:996-1000.
37. Stumper O, Witsenburg M, Sutherland GR, Cromme-Dijkhuis A, Godman MJ, Hess J. Transesophageal echocardiographic monitoring of interventional cardiac catheterization in children. *J Am Coll Cardiol* 1991;18:1506-14.
38. Tumbarello R, Sanna A, Cardu G, Bande A, Napoleone A, Bini RM. Usefulness of transesophageal echocardiography in the pediatric catheterization laboratory. *Am J Cardiol* 1993;71:1321-5.
39. Van Der Velde ME, Perry SB. Transesophageal echocardiography during interventional catheterization in congenital heart disease. *Echocardiography* 1997;14:513-28.
40. Bhaya M, Mutluer F, Mahan E, Mahan L, Hsiung M, Yin W, et al. Live/Real time three-dimensional transesophageal echocardiography in percutaneous closure of atrial septal defects. *Echocardiography* 2013;30:345-53.
41. Faletta FF, Pedrazzini G, Pasotti E, Mazzarelli S, Dequarti MC, Murzilli R, et al. 3D TEE during catheter-based interventions. *JACC Cardiovasc Imaging* 2014;7:292-308.
42. Price MJ, Smith MR, Rubenson DS. Utility of on-line three-dimensional transesophageal echocardiography during percutaneous atrial septal defect closure. *Catheter Cardiovasc Interv* 2010;75:570-7.
43. Rigby M. Transoesophageal echocardiography during interventional cardiac catheterisation in congenital heart disease. *Heart* 2001;86(Suppl 2):II23-9.
44. van der Velde M, Perry S, Sanders S. Transesophageal echocardiography with color Doppler during interventional catheterization. *Echocardiography* 1991;8:721-30.
45. Feltes T, Friedman R. Transesophageal echocardiographic detection of atrial thrombi in patients with nonfibrillation atrial tachyarrhythmias and congenital heart disease. *J Am Coll Cardiol* 1994;24:1365-70.
46. Sachdeva R, Frazier EA, Jaquiss RD, Imamura M, Swearingen CJ, Vyas HV. Echocardiographic evaluation of ventricular assist devices in pediatric patients. *J Am Soc Echocardiogr* 2013;26:41-9.

47. Horenstein M, Karpawich P, Epstein M, Singh T. Transthoracic echocardiography for cardioversion screening during atrial flutter/fibrillation in young patients. *Clin Cardiol* 2004;27:413-6.
48. Yousef N, Philips M, Shetty I, Cui VW, Zimmerman F, Roberson DA. Transesophageal echocardiography of intracardiac thrombus in congenital heart disease and atrial flutter: the importance of thorough examination of the Fontan. *Pediatr Cardiol* 2014;35:1099-107.
49. Catena E, Mele D. Role of intraoperative transesophageal echocardiography in patients undergoing noncardiac surgery. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)* 2008;9:993-1003.
50. Neira V, Gardin L, Ryan G, Jarvis J, Roy D, Splinter W. A transesophageal echocardiography examination clarifies the cause of cardiovascular collapse during scoliosis surgery in a child. *Can J Anaesth* 2011;58:451-5.
51. Ho A, Chen C, Yang M, Chu J, Lin P. Usefulness of intraoperative transesophageal echocardiography in the assessment of surgical repair of pediatric ventricular septal defects with video-assisted endoscopic techniques in children. *Chang Gung Med J* 2004;27:646-53.
52. Ho A, Tan P, Yang M, Yang C, Chu J, Lin P, et al. The use of multiplane transesophageal echocardiography to evaluate residual patent ductus arteriosus during video-assisted thoracoscopy in adults. *Surg Endosc* 1999;13:975-9.
53. Lavoie J, Burrows F, Gentles T, Sanders S, Burke R, Javorski J. Transesophageal echocardiography detects residual ductal flow during video-assisted thoracoscopic patent ductus arteriosus interruption. *Can J Anaesth* 1994;41:310-3.
54. Sardari F, Schlunt M, Applegate R, Gundry S. The use of transesophageal echocardiography to guide sternal division for cardiac operations via mini-sternotomy. *J Card Surg* 1997;12:67-70.
55. Marcus B, Wong P, Wells W, Lindesmith G, Starnes V. Transesophageal echocardiography in the postoperative child with an open sternum. *Ann Thorac Surg* 1994;58:235-6.
56. Scott PJ, Blackburn ME, Wharton GA, Wilson N, Dickinson DF, Gibbs JL. Transesophageal echocardiography in neonates, infants and children: applicability and diagnostic value in everyday practice of a cardiothoracic unit. *Br Heart J* 1992;68:488-92.
57. Scheinin S, Radovancevic B, Ott D, Nihill M, Cabalka A, Frazier O. Post-cardiotomy LVAD support and transesophageal echocardiography in a child. *Ann Thorac Surg* 1993;55:529-31.
58. Russell I, Rouine-Rapp K, Stratmann G, Miller-Hance W. Congenital heart disease in the adult: a review with internet-accessible transesophageal echocardiographic images. *Anesth Analg* 2006;102:694-723.
59. Bezold L, Pignatelli R, Altman C, Feltes T, Gajarski R, Vick G, et al. Intraoperative transesophageal echocardiography in congenital heart surgery. The Texas Children's Hospital experience. *Tex Heart Inst J* 1996;23:108-15.
60. Srivastava S, Printz BF, Geva T, Shirali GS, Weinberg PM, Wong PC, et al. Task force 2: pediatric cardiology fellowship training in noninvasive cardiac imaging: endorsed by the American Society of Echocardiography and the Society of Pediatric Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28:1009-19.
61. Stevenson J. Incidence of complications in pediatric transesophageal echocardiography: experience in 1650 cases. *J Am Soc Echocardiogr* 1999;12:527-32.
62. Stevenson J, Sorensen G. Proper probe size for pediatric transesophageal echocardiography. *Am J Cardiol* 1993;72:491-2.
63. Quiñones M, Douglas P, Foster E, Gorcsan J, Lewis J, Pearlman A, et al. ACC/AHA clinical competence statement on echocardiography: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association/American College of Physicians-American Society of Internal Medicine Task Force on clinical competence. *J Am Soc Echocardiogr* 2003;16:379-402.
64. Srivastava S, Printz BF, Geva T, Shirali GS, Weinberg PM, Wong PC, et al. Task force 2: pediatric cardiology fellowship training in noninvasive cardiac imaging. *J Am Coll Cardiol* 2015;66:687-98.
65. Daniel W, Erbel R, Kasper W, Visser C, Engberding R, Sutherland G, et al. Safety of transesophageal echocardiography. A multicenter survey of 10,419 examinations. *Circulation* 1991;83:817-21.
66. Hilberath J, Oakes D, Shernan S, Bulwer B, D'Ambra M, Eltzschig H. Safety of transesophageal echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:1115-27. quiz 220-1.
67. Kallmeyer I, Collard C, Fox J, Body S, Shernan S. The safety of intraoperative transesophageal echocardiography: a case series of 7200 cardiac surgical patients. *Anesth Analg* 2001;92:1126-30.
68. Piercy M, McNicol L, Dinh D, Story D, Smith J. Major complications related to the use of transesophageal echocardiography in cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2009;23:62-5.
69. Bettex D, Prêtre R, Jenni R, Schmid E. Cost-effectiveness of routine intraoperative transesophageal echocardiography in pediatric cardiac surgery: a 10-year experience. *Anesth Analg* 2005;100:1271-5. table of contents.
70. Bensky A, O'Brien J, Hammon J. Transesophageal echo probe compression of an aberrant right subclavian artery. *J Am Soc Echocardiogr* 1995;8:964-6.
71. Gilbert T, Panico F, McGill W, Martin G, Halley D, Sell J. Bronchial obstruction by transesophageal echocardiography probe in a pediatric cardiac patient. *Anesth Analg* 1992;74:156-8.
72. Lunn RJ, Oliver WC, Hagler DJ, Danielson GK. Aortic compression by transesophageal echocardiographic probe in infants and children undergoing cardiac surgery. *Anesthesiology* 1992;77:587-90.
73. Muhiudeen I, Silverman N. Intraoperative transesophageal echocardiography using high resolution imaging in infants and children with congenital heart disease. *Echocardiography* 1993;10:599-608.
74. Preisman S, Yusim Y, Mishali D, Perel A. Compression of the pulmonary artery during transesophageal echocardiography in a pediatric cardiac patient. *Anesth Analg* 2003;96:85-7. table of contents.
75. Andropoulos D, Ayres N, Stayer S, Bent S, Campos C, Fraser C. The effect of transesophageal echocardiography on ventilation in small infants undergoing cardiac surgery. *Anesth Analg* 2000;90:47-9.
76. Casta A, Brown D, Yuk K. Induction of supraventricular tachycardia during transesophageal echocardiography: an unusual complication. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2008;22:592-3.
77. Liu J, Hartnick C, Rutter M, Hartley B, Myer C. Subglottic stenosis associated with transesophageal echocardiography. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2000;55:47-9.
78. Muhiudeen-Russell I, Miller-Hance W, Silverman N. Unrecognized esophageal perforation in a neonate during transesophageal echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2001;14:747-9.
79. Hogue C, Lappas G, Creswell L, Ferguson T, Sample M, Pugh D, et al. Swallowing dysfunction after cardiac operations. Associated adverse outcomes and risk factors including intraoperative transesophageal echocardiography. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1995;110:517-22.
80. Skoretz S, Yau T, Ivanov J, Granton J, Martino R. Dysphagia and associated risk factors following extubation in cardiovascular surgical patients. *Dysphagia* 2014;29:647-54.
81. Kohr L, Dargan M, Hague A, Nelson S, Duffy E, Backer C, et al. The incidence of dysphagia in pediatric patients after open heart procedures with transesophageal echocardiography. *Ann Thorac Surg* 2003;76:1450-6.
82. Michel J, Hofbeck M, Schneis C, Kumpf M, Heimberg E, Magunia H, et al. Severe upper airway obstruction after intraoperative transesophageal echocardiography in pediatric cardiac surgery: a retrospective analysis. *Pediatr Crit Care Med* 2017;18:924-30.
83. Kamata M, Hakim M, Tumin D, Krishna S, Naguib A, Tobias J. The effect of transesophageal echocardiography probe placement on intracuff pressure of an endotracheal tube in infants and children. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2017;31:543-8.
84. Greene M, Alexander J, Knauf D, Talbert J, Langham M, Kays D, et al. Endoscopic evaluation of the esophagus in infants and children immediately following intraoperative use of transesophageal echocardiography. *Chest* 1999;116:1247-50.
85. Frommelt PC, Stuth EA. Transesophageal echocardiographic in total anomalous pulmonary venous drainage: hypotension caused by compression of the pulmonary venous confluence during probe passage. *J Am Soc Echocardiogr* 1994;7:652-4.
86. Chang YY, Chang CI, Wang MJ, Lin SM, Chen YS, Tsai SK, et al. The safe use of intraoperative transesophageal echocardiography in the

- management of total anomalous pulmonary venous connection in newborns and infants: a case series. *Paediatr Anaesth* 2005;15:939-43.
87. Mart C, Parrish M, Rosen K, Dettorre M, Ceneviva G, Lucking S, et al. Safety and efficacy of sedation with propofol for transesophageal echocardiography in children in an outpatient setting. *Cardiol Young* 2006;16:152-6.
  88. Yuki K, Casta A, Uezono S. Anesthetic management of noncardiac surgery for patients with single ventricle physiology. *J Anesth* 2011;25:247-56.
  89. Muhiudeen I, Roberson D, Silverman N, Haas G, Turley K, Cahalan M. Intraoperative echocardiography in infants and children with congenital cardiac shunt lesions: transesophageal versus epicardial echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1990;16:1687-95.
  90. Bansal R, Shakudo M, Shah P, Shah P. Biplane transesophageal echocardiography: technique, image orientation, and preliminary experience in 131 patients. *J Am Soc Echocardiogr* 1990;3:348-66.
  91. Bengur A, Li J, Herlong J, Jaggers J, Sanders S, Ungerleider R. Intraoperative transesophageal echocardiography in congenital heart disease. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 1998;10:255-64.
  92. Gentles TL, Rosenfeld HM, Sanders SP, Laussen PC, Burke RP, van der Velde ME. Pediatric biplane transesophageal echocardiography: preliminary experience. *Am Heart J* 1994;128(6 Pt 1):1225-33.
  93. O'Leary PW, Hagler DJ, Seward JB, Tajik AJ, Schaff HV, Puga FJ, et al. Biplane intraoperative transesophageal echocardiography in congenital heart disease. *Mayo Clin Proc* 1995;70:317-26.
  94. Omoto R, Kyo S, Matsumura M, Adachi H, Shah P, Maruyama M. Recent advances in transesophageal echocardiography: development of biplane and pediatric transesophageal probes. *Am J Cardiac Imaging* 1990;4:207-14.
  95. Roelandt JR, Thomson IR, Vletter WB, Brommersma P, Bom N, Linker DT. Multiplane transesophageal echocardiography: latest evolution in an imaging revolution. *J Am Soc Echocardiogr* 1992;5:361-7.
  96. Seward J. Biplane and multiplane transesophageal echocardiography: evaluation of congenital heart disease. *Am J Card Imaging* 1995;9:129-36.
  97. Seward JB, Khandheria BK, Freeman WK, Oh JK, Enriquez-Sarano M, Miller FA, et al. Multiplane transesophageal echocardiography: image orientation, examination technique, anatomic correlations, and clinical applications. *Mayo Clin Proc* 1993;68:523-51.
  98. Ungerleider R. Biplane and multiplane transesophageal echocardiography. *Am Heart J* 1999;138(4 Pt 1):612-3.
  99. Vegas A. Three-dimensional transesophageal echocardiography: principles and clinical applications. *Ann Card Anaesth* 2016;19(Supplement):S35-43.
  100. Vegas A, Meineri M. Core review: three-dimensional transesophageal echocardiography is a major advance for intraoperative clinical management of patients undergoing cardiac surgery: a core review. *Anesth Analg* 2010;110:1548-73.
  101. Mart C, Fehr D, Myers J, Rosen K. Intraoperative transesophageal echocardiography in a 1.4-kg infant with complex congenital heart disease. *Pediatr Cardiol* 2003;24:84-5.
  102. Bruce C, O'Leary P, Hagler D, Seward J, Cabalka A. Miniaturized transesophageal echocardiography in newborn infants. *J Am Soc Echocardiogr* 2002;15:791-7.
  103. Cannesson M, Hénaine R, Metton O, Védrinne C, Delanoy B, Di Fillipo S, et al. Images in cardiovascular medicine. Intraoperative transesophageal echocardiography using a miniaturized transducer in a neonate undergoing Norwood procedure for hypoplastic left heart syndrome. *Circulation* 2008;117:702-3.
  104. Ferns S, Komarlu R, Van Bergen A, Multani K, Cui V, Roberson D. Transesophageal echocardiography in critically ill acute postoperative infants: comparison of AcuNav intracardiac echocardiographic and microTEE miniaturized transducers. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25:874-81.
  105. Mart C, Rosen K. Optimal head position during transesophageal echocardiographic probe insertion for pediatric patients weighing up to 10 kg. *Pediatr Cardiol* 2009;30:441-6.
  106. Weller SL, Glatz AC, Gaynor JW, Montenegro LM, Cohen MS. Transesophageal echocardiography probe insertion failure in infants undergoing cardiac surgery. *Congenital heart disease* 2013;8:240-5.
  107. Rutala W, Weber D, Healthcare Committee ICPA., Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee. Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities. Centers for Disease Control and Prevention; 2008.
  108. Mitchell C. Council on cardiovascular sonography review of the recently released ASE statement on sonographer involvement in the performance of TEE. *J Am Soc Echocardiogr* 2018;31:A28-9.
  109. Acar P, Abadir S, Paranon S, Latcu G, Grosjean J, Dulac Y. Live 3D echocardiography with the pediatric matrix probe. *Echocardiography* 2007;24:750-5.
  110. Cui W, Gambetta K, Zimmerman F, Freter A, Sugeng L, Lang R, et al. Real-time three-dimensional echocardiographic assessment of left ventricular systolic dyssynchrony in healthy children. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:1153-9.
  111. Flachskampf FA, Wouters PF, Edvardsen T, Evangelista A, Habib G, Hoffman P, et al. Recommendations for transesophageal echocardiography: EACVI update 2014. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2014;15:353-65.
  112. Lang RM, Badano LP, Tsang W, Adams DH, Agricola E, Buck T, et al. EAE/ASE recommendations for image acquisition and display using three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2012;25:3-46.
  113. Simpson J, Lopez L, Acar P, Friedberg M, Khoo N, Ko H, et al. Three-dimensional echocardiography in congenital heart disease: an expert consensus document from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2016;17:1071-97.
  114. Simpson JM. Real-time three-dimensional echocardiography of congenital heart disease using a high frequency paediatric matrix transducer. *Eur J Echocardiogr* 2008;9:222-4.
  115. Sugeng L, Shernan SK, Salgo IS, Weinert L, Shook D, Raman J, et al. Live 3-dimensional transesophageal echocardiography initial experience using the fully-sampled matrix array probe. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:446-9.
  116. Lopez L, Colan SD, Frommelt PC, Ensing GJ, Kendall K, Younoszai AK, et al. Recommendations for quantification methods during the performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Pediatric Measurements Writing Group of the American Society of Echocardiography Pediatric and Congenital Heart Disease Council. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:465-95, quiz 576-7.
  117. Omran AS, Woo A, David TE, Feindel CM, Rakowski H, Siu SC. Intraoperative transesophageal echocardiography accurately predicts mitral valve anatomy and suitability for repair. *J Am Soc Echocardiogr* 2002;15:950-7.
  118. Zoghbi WA, Adams D, Bonow RO, Enriquez-Sarano M, Foster E, Grayburn PA, et al. Recommendations for noninvasive evaluation of native valvular regurgitation: a report from the American Society of Echocardiography Developed in Collaboration with the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J Am Soc Echocardiogr* 2017;30:303-71.
  119. Stewart WJ, Currie PJ, Salcedo EE, Klein AL, Marwick T, Agler DA, et al. Evaluation of mitral leaflet motion by echocardiography and jet direction by Doppler color flow mapping to determine the mechanisms of mitral regurgitation. *J Am Coll Cardiol* 1992;20:1353-61.
  120. Madriago EJ, Punn R, Geeter N, Silverman NH. Routine intra-operative trans-esophageal echocardiography yields better outcomes in surgical repair of CHD. *Cardiol Young* 2016;26:263-8.
  121. Rosenfeld HM, Gentles TL, Wernovsky G, Laussen PC, Jonas RA, Mayer JE Jr, et al. Utility of intraoperative transesophageal echocardiography in the assessment of residual cardiac defects. *Pediatr Cardiol* 1998;19:346-51.
  122. Banakal SC. Intraoperative transesophageal echocardiographic assessment of the mitral valve repair. *Ann Card Anaesth* 2010;13:79-84.
  123. Freeman WK, Schaff HV, Khandheria BK, Oh JK, Orszulak TA, Abel MD, et al. Intraoperative evaluation of mitral valve regurgitation and repair by transesophageal echocardiography: incidence and significance of systolic anterior motion. *J Am Coll Cardiol* 1992;20:599-609.

124. Wu YT, Chang AC, Chin AJ. Semiquantitative assessment of mitral regurgitation by Doppler color flow imaging in patients aged < 20 years. *Am J Cardiol* 1993;71:727-32.
125. 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;28:1-39.e14.
126. Lim DS, Dent JM, Gutgesell HP, Matherne GP, Kron IL. Transesophageal echocardiographic guidance for surgical repair of aortic insufficiency in congenital heart disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2007;20:1080-5.
127. Stern KW, White MT, Vergheze GR, Del Nido PJ, Geva T. Intraoperative echocardiography for congenital aortic valve repair: predictors of early reoperation. *Ann Thorac Surg* 2015;100:678-85.
128. le Polain de Waroux JB, Pouleur AC, Robert A, Pasquet A, Gerber BL, Noirhomme P, et al. Mechanisms of recurrent aortic regurgitation after aortic valve repair: predictive value of intraoperative transesophageal echocardiography. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009;2:931-9.
129. Pethig K, Milz A, Hagl C, Harringer W, Haverich A. Aortic valve reimplantation in ascending aortic aneurysm: risk factors for early valve failure. *Ann Thorac Surg* 2002;73:29-33.
130. Goldstein SA, Evangelista A, Abbara S, Arai A, Asch FM, Badano LP, et al. Multimodality imaging of diseases of the thoracic aorta in adults: from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging: endorsed by the Society of Cardiovascular Computed Tomography and Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28:119-82.
131. MacKnight BM, Maldonado Y, Augoustides JG, Cardenas RA, Patel PA, Ghadimi K, et al. Advances in imaging for the management of acute aortic syndromes: focus on transesophageal echocardiography and type-A aortic dissection for the perioperative echocardiographer. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2016;30:1129-41.
132. Erbel R, Aboyans V, Boileau C, Bossone E, Bartolomeo RD, Eggebrecht H, et al. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2014;35:2873-926.
133. Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA, Bersin RM, Carr VF, Casey DE Jr, et al. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine. *Circulation* 2010;121:e266-369.
134. Maslow AD, Schwartz C, Singh AK. Assessment of the tricuspid valve: a comparison of four transesophageal echocardiographic windows. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2004;18:719-24.
135. Lancellotti P, Moura L, Pierard LA, Agricola E, Popescu BA, Tribouilloy C, et al. European Association of Echocardiography recommendations for the assessment of valvular regurgitation. Part 2: mitral and tricuspid regurgitation (native valve disease). *Eur J Echocardiogr* 2010;11:307-32.
136. Puchalski MD, Askovich B, Sower CT, Williams RV, Minich LL, Tani LY. Pulmonary regurgitation: determining severity by echocardiography and magnetic resonance imaging. *Congenit Heart Dis* 2008;3:168-75.
137. Maciel BC, Simpson IA, Valdes-Cruz LM, Recusani F, Hoit B, Dalton N, et al. Color flow Doppler mapping studies of "physiologic" pulmonary and tricuspid regurgitation: evidence for true regurgitation as opposed to a valve closing volume. *J Am Soc Echocardiogr* 1991;4:589-97.
138. Stumper O, Kaulitz R, Elzenga NJ, Bom N, Roelandt JR, Hess J, et al. The value of transesophageal echocardiography in children with congenital heart disease. *J Am Soc Echocardiogr* 1991;4:164-76.
139. Stumper O, Kaulitz R, Seeram N, Fraser AG, Hess J, Roelandt JR, et al. Intraoperative transesophageal versus epicardial ultrasound in surgery for congenital heart disease. *J Am Soc Echocardiogr* 1990;3:392-401.
140. Wolfe LT, Rossi A, Ritter SB. Transesophageal echocardiography in infants and children: use and importance in the cardiac intensive care unit. *J Am Soc Echocardiogr* 1993;6(3 Pt 1):286-9.
141. Colombo PC, Municino A, Brofferio A, Khodarova L, Nanna M, Illecil A, et al. Cross-sectional multiplane transesophageal echocardiographic measurements: comparison with standard transthoracic values obtained in the same setting. *Echocardiography* 2002;19:383-90.
142. Hozumi T, Shakudo M, Shah PM. Quantitation of left ventricular volumes and ejection fraction by biplane transesophageal echocardiography. *Am J Cardiol* 1993;72:356-9.
143. Stoddard MF, Liddell NE, Vogel RL, Longaker RA, Dawkins PR. Comparison of cardiac dimensions by transesophageal and transthoracic echocardiography. *Am Heart J* 1992;124:675-8.
144. Regen DM, Graham TP, Wyse RK, Deanfield J, Franklin RC. Left-ventricular cavity dimensions in children with normal and dilated hearts. *Pediatr Cardiol* 1988;9:17-24.
145. Bailey JM, Shanewise JS, Kikura M, Sharma S. A comparison of transesophageal and transthoracic echocardiographic assessment of left ventricular function in pediatric patients with congenital heart disease. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1995;9:665-9.
146. O'Leary PW, Durongpisitkul K, Cordes TM, Bailey KR, Hagler DJ, Tajik J, et al. Diastolic ventricular function in children: a Doppler echocardiographic study establishing normal values and predictors of increased ventricular end-diastolic pressure. *Mayo Clin Proc* 1998;73:616-28.
147. Nagueh SF, Smiseth OA, Appleton CP, Byrd BF 3rd, Dokainish H, Edvardsen T, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2016;29:277-314.
148. Swaminathan M, Nicoara A, Phillips-Bute BG, Aeschlimann N, Milano CA, Mackensen GB, et al. Utility of a simple algorithm to grade diastolic dysfunction and predict outcome after coronary artery bypass graft surgery. *Ann Thorac Surg* 2011;91:1844-50.
149. Kasper J, Bolliger D, Skarvan K, Buser P, Filipovic M, Seeberger MD. Additional cross-sectional transesophageal echocardiography views improve perioperative right heart assessment. *Anesthesiology* 2012;117:726-34.
150. Iino M, Shiraishi H, Ichihashi K, Hoshina M, Saitoh M, Hirakubo Y, et al. Volume measurement of the left ventricle in children using real-time three-dimensional echocardiography: comparison with ventriculography. *J Cardiol* 2007;49:221-9.
151. Riehle TJ, Mahle WT, Parks WJ, Sallee D 3rd, Fyfe DA. Real-time three-dimensional echocardiographic acquisition and quantification of left ventricular indices in children and young adults with congenital heart disease: comparison with magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2008;21:78-83.
152. Ayabakan C, Ozkutlu S. Normal patterns of flow in the superior caval, hepatic and pulmonary veins as measured using Doppler echocardiography during childhood. *Cardiol Young* 2003;13:143-51.
153. Sidik HB, Park JM, Lee YJ, Kim JD, Kang WS, Kim SH, et al. Usefulness of intraoperative real-time three-dimensional transesophageal echocardiography in preprocedural evaluation of cortriatriatum -a case report. *Korean J Anesthesiol* 2013;65:S65-8.
154. Krasemann Z, Scheld HH, Tjan TD, Krasemann T. Cor triatriatum: short review of the literature upon ten new cases. *Herz* 2007;32:506-10.
155. Shuler CO, Fyfe DA, Sade R, Crawford FA. Transesophageal echocardiographic evaluation of cor triatriatum in children. *Am Heart J* 1995;129:507-10.
156. Van Praagh S, O'Sullivan J, Brili S, Van Praagh R. Juxtaposition of the morphologically right atrial appendage in solitus and inversus atria: a study of 35 postmortem cases. *Am Heart J* 1996;132(2 Pt 1):382-90.
157. Van Praagh S, O'Sullivan J, Brili S, Van Praagh R. Juxtaposition of the morphologically left atrial appendage in solitus and inversus atria: a study of 18 postmortem cases. *Am Heart J* 1996;132(2 Pt 1):391-402.

158. Zhang YQ, Yu ZQ, Zhong SW, Wu LP, Chen GZ, Zhang ZF, et al. Echocardiographic assessment of juxtaposition of the right atrial appendage in children with congenital heart disease. *Echocardiography* 2010;27:878-84.
159. Stumper O, Rijlaarsdam M, Vargas-Barron J, Romero A, Hess J, Sutherland GR. The assessment of juxtaposed atrial appendages by transoesophageal echocardiography. *Int J Cardiol* 1990;29:365-71.
160. Viswanathan S, Vaidyanathan B, Kumar RK. Thrombus in a juxtaposed right atrial appendage. *Cardiol Young* 2007;17:574.
161. Bansal M, Kasliwal RR. Echocardiography for left atrial appendage structure and function. *Indian Heart J* 2012;64:469-75.
162. Bunger PC, Neufeld DA, Moore JC, Carter GA. Persistent left superior vena cava and associated structural and functional considerations. *Angiology* 1981;32:601-8.
163. Raghib G, Ruttenberg HD, Anderson RC, Amplatz K, Adams P Jr., Edwards JE. Termination of left superior vena cava in left atrium, atrial septal defect, and absence of coronary sinus; a developmental complex. *Circulation* 1965;31:906-18.
164. Taybi H, Kurlander GJ, Lurie PR, Campbell JA. Anomalous systemic venous connection to the left atrium or to a pulmonary vein. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 1965;94:62-77.
165. Anderson RC, Adams P Jr., Burke B. Anomalous inferior vena cava with azygos continuation (infrahepatic interruption of the inferior vena cava). Report of 15 new cases. *J Pediatr* 1961;59:370-83.
166. Oppido G, Pace Napoleone C, Turci S, Giardini A, Formigari R, Angeli E, et al. Right superior vena cava draining in the left atrium: anatomical, embryological, and surgical considerations. *Ann Thorac Surg* 2006;81:2313-5.
167. Van Praagh S, Geva T, Lock JE, Nido PJ, Vance MS, Van Praagh R. Batrial or left atrial drainage of the right superior vena cava: anatomic, morphogenetic, and surgical considerations—report of three new cases and literature review. *Pediatr Cardiol* 2003;24:350-63.
168. Wong ML, McCrindle BW, Mota C, Smallhorn JF. Echocardiographic evaluation of partial anomalous pulmonary venous drainage. *J Am Coll Cardiol* 1995;26:503-7.
169. Hijii T, Fukushige J, Hara T. Diagnosis and management of partial anomalous pulmonary venous connection. A review of 28 pediatric cases. *Cardiology* 1998;89:148-51.
170. Ferencz C, Rubin JD, McCarter RJ, Brenner JI, Neill CA, Perry LW, et al. Congenital heart disease: prevalence at livebirth. The Baltimore-Washington Infant Study. *Am J Epidemiol* 1985;121:31-6.
171. Hoffman JI, Kaplan S. The incidence of congenital heart disease. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:1890-900.
172. al Zaghal AM, Li J, Anderson RH, Lincoln C, Shore D, Rigby ML. Anatomical criteria for the diagnosis of sinus venosus defects. *Heart* 1997;78:298-304.
173. Anderson RH, Brown NA, Webb S. Development and structure of the atrial septum. *Heart* 2002;88:104-10.
174. Anderson RH, Wilcox BR. The surgical anatomy of ventricular septal defect. *J Card Surg* 1992;7:17-35.
175. Pascoe RD, Oh JK, Warnes CA, Danielson GK, Tajik AJ, Seward JB. Diagnosis of sinus venosus atrial septal defect with transesophageal echocardiography. *Circulation* 1996;94:1049-55.
176. Sunaga Y, Hayashi K, Okubo N, Taniichi Y, Sugiura T, Tsuda N, et al. Transesophageal echocardiographic diagnosis of coronary sinus type atrial septal defect. *Am Heart J* 1992;124:1657-9.
177. Tee SD, Shiota T, Weintraub R, Teien DE, Deng YB, Sahn DJ, et al. Evaluation of ventricular septal defect by transesophageal echocardiography: intraoperative assessment. *Am Heart J* 1994;127:585-92.
178. Van Praagh S, Carrera ME, Sanders SP, Mayer JE, Van Praagh R. Sinus venosus defects: unroofing of the right pulmonary veins—anatomic and echocardiographic findings and surgical treatment. *Am Heart J* 1994;128:365-79.
179. Silverman NH. Pediatric echocardiography. Baltimore: Williams & Wilkins; 1993. xii, 628.
180. Schmidt KG, Silverman NH. Cross-sectional and contrast echocardiography in the diagnosis of interatrial communications through the coronary sinus. *Int J Cardiol* 1987;16:193-9.
181. Dodge-Khatami A, Knirsch W, Tomaske M, Pretere R, Bettex D, Rousson V, et al. Spontaneous closure of small residual ventricular septal defects after surgical repair. *Ann Thorac Surg* 2007;83:902-5.
182. Yang SG, Novello R, Nicolson S, Steven J, Gaynor JW, Spray TL, et al. Evaluation of ventricular septal defect repair using intraoperative transesophageal echocardiography: frequency and significance of residual defects in infants and children. *Echocardiography* 2000;17:681-4.
183. Hanna BM, El-Hewala AA, Gruber PJ, Gaynor JW, Spray TL, Seliem MA. Predictive value of intraoperative diagnosis of residual ventricular septal defects by transesophageal echocardiography. *Ann Thorac Surg* 2010;89:1233-7.
184. Faletra FF, Nucifora G, Ho SY. Real-time 3-dimensional transesophageal echocardiography of the atrioventricular septal defect. *Circ Cardiovasc Imaging* 2011;4:e7-9.
185. Smallhorn JF. Cross-sectional echocardiographic assessment of atrioventricular septal defect: basic morphology and preoperative risk factors. *Echocardiography* 2001;18:415-32.
186. Kamra K, Russell I, Miller-Hance WC. Role of transesophageal echocardiography in the management of pediatric patients with congenital heart disease. *Paediatr Anaesth* 2011;21:479-93.
187. Lee HR, Montenegro LM, Nicolson SC, Gaynor JW, Spray TL, Rychik J. Usefulness of intraoperative transesophageal echocardiography in predicting the degree of mitral regurgitation secondary to atrioventricular defect in children. *Am J Cardiol* 1999;83:750-3.
188. Transesophageal echocardiographic diagnosis of anomalous left coronary artery from the right aortic sinus, (1993).
189. Anomalous origin and course of coronary arteries in adults: Identification and improved imaging utilizing transesophageal echocardiography, (1991).
190. Smolin MR, Gorman PD, Gaither NS, Wortham DC. Origin of the right coronary artery from the left main coronary artery identified by transesophageal echocardiography. *Am Heart J* 1992;123(4 Pt 1):1062-5.
191. Kaku B, Shimizu M, Kita Y, Yoshio H, Ino H, Takeda R. Detection of anomalous origin of the left coronary artery by transesophageal echocardiography and magnetic resonance imaging. *Jpn Heart J* 1994;35:383-8.
192. Anwar S, Brook M, Mavroudis C, Hobbs R, Lorber R. Anomalous origin of the left coronary artery from the noncoronary cusp: not a benign lesion. *Pediatr Cardiol* 2012;33:1187-9.
193. Frommelt PC, Berger S, Pelech AN, Bergstrom S, Williamson JC. Prospective identification of anomalous origin of left coronary artery from the right sinus of valsalva using transthoracic echocardiography: importance of color Doppler flow mapping. *Pediatr Cardiol* 2001;22:327-32.
194. Multiplane transesophageal echocardiography in diagnosis of anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery: a case report, (1998).
195. Kececioglu D, Kotthoff S, Konertz W, Scheld HH, Vogt J. Pulmonary artery origin of the left coronary artery: diagnosis by transesophageal echocardiography in infancy. *Eur Heart J* 1993;14:1006-7.
196. Patel JK, Glatz AC, Ghosh RM, Jones SM, Natarajan S, Ravishankar C, et al. Intramural ventricular septal defect is a distinct clinical entity associated with postoperative morbidity in children after repair of conotruncal anomalies. *Circulation* 2015;132:1387-94.
197. Patel JK, Glatz AC, Ghosh RM, Jones SM, Ravishankar C, Mascio C, et al. Accuracy of transesophageal echocardiography in the identification of postoperative intramural ventricular septal defects. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2016;152:688-95.
198. Jijeh AM, Omran AS, Najm HK, Abu-Sulaiman RM. Role of intraoperative transesophageal echocardiography in pediatric cardiac surgery. *J Saudi Heart Assoc* 2016;28:89-94.
199. Joyce JJ, Hwang EY, Wiles HB, Kline CH, Bradley SM, Crawford FA Jr. Reliability of intraoperative transesophageal echocardiography during Tetralogy of Fallot repair. *Echocardiography* 2000;17:319-27.
200. Kaushal SK, Radhakrishnan S, Dagar KS, Iyer PU, Girotra S, Shrivastava S, et al. Significant intraoperative right ventricular outflow gradients after repair for tetralogy of Fallot: to revise or not to revise? *Ann Thorac Surg* 1999;68:1705-12. discussion 12-3.

201. Kalavrouziotis G, Purohit M, Ciotti G, Corno AF, Pozzi M. Truncus arteriosus communis: early and midterm results of early primary repair. *Ann Thorac Surg* 2006;82:2200-6.
202. Pasquini L, Sanders SP, Parness IA, Wernovsky G, Mayer JE Jr, Van der Velde ME, et al. Coronary echocardiography in 406 patients with d-loop transposition of the great arteries. *J Am Coll Cardiol* 1994;24:763-8.
203. Rouine-Rapp K, Ionescu P, Balea M, Foster E, Cahalan MK. Detection of intraoperative segmental wall-motion abnormalities by transesophageal echocardiography: the incremental value of additional cross sections in the transverse and longitudinal planes. *Anesth Analg* 1996;83:1141-8.
204. Kaulitz R, Stumper O, Fraser AG, Kreis A, Tuccillo B, Sutherland GR. The potential value of transoesophageal evaluation of individual pulmonary venous flow after an atrial baffle procedure. *Int J Cardiol* 1990;28:299-307.
205. Cua CL, Kollins K, Roble S, Holzer RJ. Three-dimensional image of a baffle leak in a patient with a Mustard operation. *Echocardiography* 2014;31:E315-6.
206. Klein AJ, Kim MS, Salcedo E, Fagan T, Kay J. The missing leak: a case report of a baffle-leak closure using real-time 3D transoesophageal guidance. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:464-7.
207. Enar S, Singh P, Douglas C, Panwar SR, Manda J, Kesanolla SK, et al. Live/real time three-dimensional transthoracic echocardiographic assessment of transposition of the great arteries in the adult. *Echocardiography* 2009;26:1095-104.
208. de Leval MR, Kilner P, Gewillig M, Bull C. Total cavopulmonary connection: a logical alternative to atrio-pulmonary connection for complex Fontan operations. Experimental studies and early clinical experience. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1988;96:682-95.
209. Marcelletti C, Corno A, Giannico S, Marino B. Inferior vena cava-pulmonary artery extracardiac conduit. A new form of right heart bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1990;100:228-32.
210. Moodley S, Gandhi SK, Harris KC. Subtotal obstruction of a tube fenestrated fontan conduit. *Heart* 2014;100:522.
211. Hallbergson A, Mascio CE, Rome JJ. Transcatheter fontan takedown. *Catheter Cardiovasc Interv* 2015;86:849-54.
212. Atz AM, Zak V, Mahony L, Uzark K, Shrader P, Gallagher D, et al. Survival data and predictors of functional outcome an average of 15 years after the Fontan procedure: the pediatric heart network Fontan cohort. *Congenit Heart Dis* 2015;10:E30-42.
213. Berman NB, Kimball TR. Systemic ventricular size and performance before and after bidirectional cavopulmonary anastomosis. *J Pediatr* 1993;122:S63-7.
214. Colan SD. Systolic and diastolic function of the univentricular heart. *Prog Pediatr Cardiol* 2002;16:79-87.
215. Sluysmans T, Sanders SP, van der Velde M, Matitiau A, Parness IA, Spevak PJ, et al. Natural history and patterns of recovery of contractile function in single left ventricle after Fontan operation. *Circulation* 1992;86:1753-61.
216. Margossian R, Schwartz ML, Prakash A, Wruck L, Colan SD, Atz AM, et al. Comparison of echocardiographic and cardiac magnetic resonance imaging measurements of functional single ventricular volumes, mass, and ejection fraction (from the Pediatric Heart Network Fontan Cross-Sectional Study). *Am J Cardiol* 2009;104:419-28.
217. Jone PN, Ross MM, Bracken JA, Mulvahill MJ, Di Maria MV, Fagan TE. Feasibility and safety of using a fused echocardiography/fluoroscopy imaging system in patients with congenital heart disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2016;29:513-21.
218. Szabo TL, ebrary Inc. Diagnostic ultrasound imaging: inside out. Available at: <http://site.ebrary.com/lib/yale/Doc?id=10815316>.
219. Knackstedt C, Franke A, Mischke K, Zarse M, Gramley F, Schimpf T, et al. Semi-automated 3-dimensional intracardiac echocardiography: development and initial clinical experience of a new system to guide ablation procedures. *Heart Rhythm* 2006;3:1453-9.
220. Silvestry FE, Kadakia MB, Willhide J, Hermann HC. Initial experience with a novel real-time three-dimensional intracardiac ultrasound system to guide percutaneous cardiac structural interventions: a phase 1 feasibility study of volume intracardiac echocardiography in the assessment of patients with structural heart disease undergoing percutaneous transcatheter therapy. *J Am Soc Echocardiogr* 2014;27:978-83.
221. Use of a Three Dimensional Printed Cardiac Model to Assess Suitability for Biventricular Repair, (2016).
222. Clinical Application and Multidisciplinary Assessment of Three Dimensional Printing in Double Outlet Right Ventricle With Remote Ventricular Septal Defect, (2016).
223. Three-dimensional printed prototypes refine the anatomy of post-modified Norwood-1 complex aortic arch obstruction and allow presurgical simulation of the repair, (2016).
224. Integration of Computed Tomography and Three-Dimensional Echocardiography for Hybrid Three-Dimensional Printing in Congenital Heart Disease, (2016).
225. Ultrasound-Derived Three-Dimensional Printing in Congenital Heart Disease, (2014).
226. Olivieri LJ, Krieger A, Loke YH, Nath DS, Kim PC, Sable CA. Three-dimensional printing of intracardiac defects from three-dimensional echocardiographic images: feasibility and relative accuracy. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28:392-7.
227. Axelrod D. The Stanford Virtual Heart – revolutionizing education on congenital heart defects [Internet]. Available at: <http://www.stanfordchildrens.org/en/innovation/virtual-reality/stanford-virtual-heart>; 2017.
228. Digitale E. Virtual reality imaging gives surgeons a better view of patient anatomy. Available at: <https://med.stanford.edu/news/all-news/2017/02/virtual-reality-imaging-gives-surgeons-a-better-view-of-anatomy.html>. 2017.
229. Cohen E. Google Cardboard saves baby's life. Available at: <http://www.cnn.com/2016/01/07/health/google-cardboard-baby-saved/>; 2016.
230. Thavendiranathan P, Grant AD, Negishi T, Plana JC, Popovic ZB, Marwick TH. Reproducibility of echocardiographic techniques for sequential assessment of left ventricular ejection fraction and volumes: application to patients undergoing cancer chemotherapy. *J Am Coll Cardiol* 2013;61:77-84.