

Actualización en técnicas de imagen cardiaca. Ecocardiografía, resonancia magnética y tomografía computarizada

Pastora Gallego García de Vinuesa^a, Sonia Velasco del Castillo^b, Río Aguilar Torres^c y Juan C. Paré Bardera^d

^aServicio de Cardiología. Hospital Virgen de la Macarena. Sevilla. España.

^bServicio de Cardiología. Hospital de Galdakao. Vizcaya. España.

^cServicio de Cardiología. Hospital Universitario Vall d'Hebrón. Barcelona. España.

^dServicio de Cardiología. IDIBAPS. Hospital Clínic. Barcelona. España.

En esta revisión de la actualidad en técnicas de imagen cardiaca hacemos un repaso de los temas más relevantes publicados en el último año sobre las distintas modalidades de ecocardiografía y su utilización en temas diversos que abarcan desde el tratamiento de la insuficiencia cardiaca al control intraoperatorio y a la guía de procedimientos intervencionistas. Dedicamos mayor extensión a los avances en la modalidad tridimensional y, por su trascendencia clínica, a la técnica de resonancia magnética. Por último, se realiza una completa actualización de las aplicaciones en cardiología de la tomografía computarizada multidetector.

Palabras clave: Ecocardiografía. Ecocardiografía tridimensional. Resonancia magnética. Tomografía computarizada. Ecocardiografía de contraste. Insuficiencia cardiaca. Terapia de resincronización cardiaca. Enfermedad de aorta. Arterias coronarias. Score de calcio.

Update on Cardiac Imaging Techniques. Echocardiography, Cardiac Magnetic Resonance and Multidetector Computed Tomography

This review of progress in cardiac imaging techniques summarizes the most significant development reported in the last year on different echocardiographic techniques and their application in a range of settings, from the treatment of heart failure to their use in intraoperative monitoring and guiding interventional procedures. Large sections are devoted to recent developments in three-dimensional imaging and, because of its clinical importance, to magnetic resonance imaging. Finally, there is a comprehensive update on the use of multidetector computed tomography in cardiology.

Key words: Echocardiography. Three-dimensional echocardiography. Magnetic resonance imaging. Computed tomography. Contrast echocardiography. Heart failure. Cardiac resynchronization therapy. Aortic disease. Coronary arteries. Calcium score.

INTRODUCCIÓN

La utilización de las técnicas de imagen cardiaca, y en concreto de la ecocardiografía, crece de forma proporcional al desarrollo de los servicios médicos en general, como se describe en un reciente estudio¹. En ese crecimiento intervienen factores que dependen de las circunstancias concretas de cada medio, como la prevalencia de cardiopatías en zonas determinadas y también de la posibilidad de solicitarlas desde los servi-

cios de atención primaria. Pero, fundamentalmente, lo hace porque la aportación de las nuevas tecnologías al diagnóstico y el pronóstico de la mayoría de las cardiopatías no cesa de aumentar. El conocimiento de estas nuevas tecnologías y sus posibles aplicaciones es, por tanto, trascendente y exige muchas horas de lectura de publicaciones que en ocasiones son contradictorias y en no pocas, de escaso valor añadido. Para facilitar ese conocimiento, nuestra intención en esta nueva monografía es resaltar los artículos que, según nuestro criterio, aportan cambios o conocimientos relevantes y no exclusivamente al campo de la imagen, sino al de la cardiología en general. En esta revisión se ha dedicado mayor espacio a la bibliografía de resonancia magnética cardiaca (cardio-RM) y de tomografía computarizada cardiaca (cardio-TC), con una amplia revisión de

Correspondencia: Dr. C. Paré Bardera.
Servicio de Cardiología. IDIBAPS. Hospital Clínic y Provincial.
Villarroel, 170. 08036 Barcelona. España.
Correo electrónico: CPARE@clinic.ub.es

ABREVIATURAS

AI: aurícula izquierda.
 CAC: calcificación de arterias coronarias
 Cardio-RM: resonancia magnética cardíaca.
 Cardio-TC: tomografía computarizada cardíaca.
 Cardio-TCMD: tomografía computarizada multidetector cardíaca.
 CI: cardiopatía isquémica.
 DTI: Doppler tisular.
 EC: ecocardiografía de contraste.
 ECM: ecocardiografía de contraste miocárdico.
 Eco-3D: ecocardiografía tridimensional.
 ED: ecocardiografía con dobutamina.
 EE: ecocardiografía de esfuerzo.
 EIO: ecocardiografía intraoperatoria.
 ETE: ecocardiografía transesofágica.
 IAM: infarto agudo de miocardio.
 RVM: reparación valvular mitral.
 S: *strain*.
 SAA: síndrome aórtico agudo.
 SR: *strain rate*.
 TRC: terapia de resincronización cardíaca.
 VAB: válvula aórtica bicúspide.
 VD: ventrículo derecho.
 VI: ventrículo izquierdo.

todas las modalidades de ecocardiografía que más aportan a la clínica. Por último, hacemos un breve resumen de lo más actual de las nuevas tecnologías que denominamos «en desarrollo», porque su aplicación clínica aún no está completamente definida, si bien se utilizan de manera sistemática en el diagnóstico de algunas cardiopatías y en la investigación de muchas otras.

ECOCARDIOGRAFÍA CLÍNICA

Cardiopatía isquémica

Ecocardiografía de estrés (eco-estrés)

Una de las aportaciones más relevantes en el campo de la cardiopatía isquémica (CI) es el estudio del grupo de la Mayo Clinic sobre una población de 2.349 pacientes diabéticos seguidos durante 5 años, con la intención de conocer el valor pronóstico a largo plazo de la ecocardiografía con dobutamina (ED)² con independencia de la presencia de CI conocida. En el análisis multivariable, la imposibilidad de alcanzar la frecuencia cardíaca teórica, el porcentaje de segmentos isquémicos, la disfunción ventricular izquierda (VI) junto a la insulino-dependencia y el hábito tabáquico son las variables que se asocian con un mayor riesgo de morbimortalidad cardiovascular. Las variables de la ED

añadidas a las clínicas y a las del ecocardiograma basal proporcionan un incremento en la información pronóstica para la mortalidad y la morbilidad. Así, para cada evento final se elabora una estratificación del riesgo con una puntuación de acuerdo con los valores de los predictores del análisis multivariable. La supervivencia libre de eventos a los 5 años para las 3 categorías de riesgo son: el 94, el 86 y el 80% para la morbilidad ($p < 0,00001$) y el 69, el 60 y el 47% para la mortalidad ($p < 0,0001$).

Un nuevo intento de introducir la eco-estrés en el área de urgencias se apoya en un estudio italiano en el que se compara la relación coste-efectividad de la ED y la prueba de esfuerzo convencional (PE) en 199 pacientes de bajo riesgo con dolor torácico³. Antes de las 6 h de su ingreso, y tras la verificación de la ausencia de cambios electrocardiográficos y de la normalidad en los marcadores de lesión miocárdica, se aleatoriza a los pacientes a una de las dos pruebas. Si el resultado es negativo son dados de alta y seguidos durante 2 meses. Tanto la aparición de eventos en el seguimiento (ninguno en el grupo de ED frente al 11% en el de PE; $p = 0,004$) como el coste final de cada estrategia (1.029 ± 253 frente a 1.684 ± 2.149 dólares; $p = 0,005$) fueron favorables a la práctica de ED.

En un trabajo realizado en nuestro medio, la eco-estrés demuestra de nuevo que es superior a la PE en la detección de lesiones significativas de la arteria descendente anterior en pacientes con infarto agudo de miocardio (IAM) de cara inferior⁴. De un total de 100 pacientes, 38 tenían lesiones significativas y 75 tuvieron una PE con cambios severos de isquemia. La sensibilidad de ambas técnicas fue igual, del 74%, pero la eco-estrés mejoró la especificidad respecto a la PE (el 92 frente al 26%; $p < 0,001$) y la precisión diagnóstica (el 44 frente al 85%, respectivamente).

Al concluir las últimas revisiones de este monográfico nos sorprende la publicación de unas nuevas guías de la American Society of Echocardiography (ASE) para la realización, la interpretación y la aplicación de la eco-estrés⁵. Estas recomendaciones no se actualizaban desde el año 1998 y, con más de 200 citas bibliográficas, son una completa revisión del tema, cuya lectura es obligada.

Ecocardiografía de contraste

Tras la evaluación en años previos de la eficacia de los agentes de contraste en el realce del borde endocárdico para mejorar la fiabilidad de las medidas de las dimensiones y fracción de eyección (FE) del VI (FEVI), un nuevo estudio multicéntrico aporta información sobre la reproducibilidad y la precisión diagnóstica, según un panel de expertos, en las alteraciones segmentarias de la contractilidad de 4 técnicas diferentes: ventriculografía angiográfica biplanar, cardio-RM y eco-2D con y sin contraste. El mejor grado de acuer-

do interobservador ($kappa = 0,77$) y la mayor precisión diagnóstica (88,2%) fueron para la ecocardiografía de contraste (EC). La cardio-RM, aunque con una precisión diagnóstica adecuada (84,9%), mostró una variabilidad considerable con un grado de acuerdo interobservador bajo ($kappa = 0,43$), similar al de la ecocardiografía sin contraste ($kappa = 0,41$) y al de la ventriculografía angiográfica ($kappa = 0,56$)⁶.

Estudios de perfusión con ecocardiografía de contraste miocárdico

En un estudio prospectivo y multicéntrico se compara el rendimiento diagnóstico de la ecocardiografía de contraste miocárdico (ECM) con el estudio de perfusión miocárdica por tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT) en la detección de lesiones coronarias significativas en 123 pacientes con síntomas sospechosos de CI⁷. El 78% de los pacientes tenía lesiones coronarias ($\geq 50\%$) en la coronariografía practicada dentro de las 4 semanas tras la realización de las técnicas de imagen. No hubo diferencias en la sensibilidad de la ECM en comparación con la SPECT (el 84 frente al 82%; $p = NS$) ni en la especificidad (el 56 frente al 52%, respectivamente) en la detección de lesiones coronarias. En los pacientes con enfermedad multivascular también se obtuvieron sensibilidades similares (el 91 y el 88%, respectivamente). La concordancia entre ambas técnicas en detectar la presencia o la ausencia de enfermedad coronaria fue del 73%. Los autores concluyen que la ECM y la SPECT son comparables en la detección de CI no sólo por pacientes, sino también en la localización de la afectación por territorios vasculares en una población de relativo alto riesgo.

La detección de viabilidad miocárdica mediante ECM es un buen predictor de la recuperación de la función VI post-IAM, pero hasta la actualidad no se había estudiado su valor pronóstico de eventos adversos. El grupo de Senior et al⁸ lo analiza en 99 pacientes a los 7 ± 2 días post-IAM con la administración de contraste y el estudio del grado y la distribución de opacificación en los 16 segmentos en que dividen el VI. En el momento del alta, 65 (68%) pacientes estaban o iban a ser revascularizados, con independencia del resultado del estudio. El seguimiento (46 ± 16 meses) se realizó en 95 pacientes y se registraron 15 eventos (8 muertes cardíacas y 7 IAM no fatales). De todos los marcadores pronósticos detectados (clínicos, bioquímicos, ECG, ecocardiográficos y de coronariografía), la extensión de la viabilidad miocárdica residual fue un predictor independiente de muerte cardíaca ($p = 0,01$) y de muerte cardíaca o IAM ($p = 0,002$).

Comentaremos más aspectos de la utilidad del contraste al hablar de la ecocardiografía tridimensional (eco 3D).

Valvulopatías

En 2006 se publicaron las nuevas Guías del American College of Cardiology/American Heart Association (ACC/AHA) en valvulopatías⁹, y en 2007 las de la Sociedad Europea de Cardiología¹⁰, donde la ecocardiografía ocupa un papel trascendental en la indicación quirúrgica de pacientes asintomáticos. También se han publicado trabajos donde se proponen nuevos métodos para la cuantificación y predictores ecocardiográficos de pronóstico en las lesiones valvulares. La máxima separación de los velos mitrales en diástole parece ser un método alternativo en la valoración de la severidad de la estenosis mitral (EM) y muestra una buena correlación con el área por planimetría y por tiempo de hemipresión³. La medida de una onda «E» tricuspídea > 65 cm/s parece ser un indicador sencillo de la severidad de la regurgitación¹¹. El índice de excentricidad del ventrículo derecho (VD), el *tenting* tricuspídeo y el diámetro telediastólico del anillo se presentan como posibles predictores de severidad de la insuficiencia tricuspídea funcional¹².

En pacientes con estenosis aórtica (EAO) severa, Hachicha et al¹³ encuentran que el 35% de 512 pacientes con función sistólica conservada, paradójicamente, tienen bajo gradiente transvalvular con bajo volumen de eyección. La supervivencia a 3 años de estos pacientes es significativamente menor (el 76 frente al 86%) respecto a los que tienen un gasto normal¹³. En el estudio de Quere et al¹⁴ se detecta que, tras la cirugía de reemplazo valvular aórtico, el 65% de los pacientes con estenosis severa, disfunción ventricular y ausencia de reserva contráctil experimenta, aunque con mayor mortalidad operatoria, una mejoría de la FE similar a la de los pacientes con reserva contráctil.

Tras una sustitución valvular aórtica, la desproporción prótesis-paciente incrementa el riesgo de mortalidad total y eventos cardíacos^{15,16}, con una supervivencia estimada a los 7 años del 47% cuando la desproporción es severa (área efectiva calculada $\leq 0,65$ cm²/m²).

Insuficiencia cardíaca

El interés de la ecocardiografía Doppler en la insuficiencia cardíaca reside no sólo en la determinación de la función sistólica, sino en el estudio de la función diastólica y las presiones de llenado, de especial interés en pacientes con insuficiencia cardíaca y FEVI preservada (ICFEN). La Sociedad Europea de Cardiología publicó en 2006 un consenso para la valoración de la IC con algoritmos útiles que incluyen parámetros ecocardiográficos como el volumen telediastólico, la masa de VI, el Doppler mitral, la relación «E/e» y el volumen de la aurícula izquierda (AI) que ayudan en el diagnóstico de ICFEN¹⁷. Los estudios más recientes sobre el seguimiento de estos pacientes les confiere un

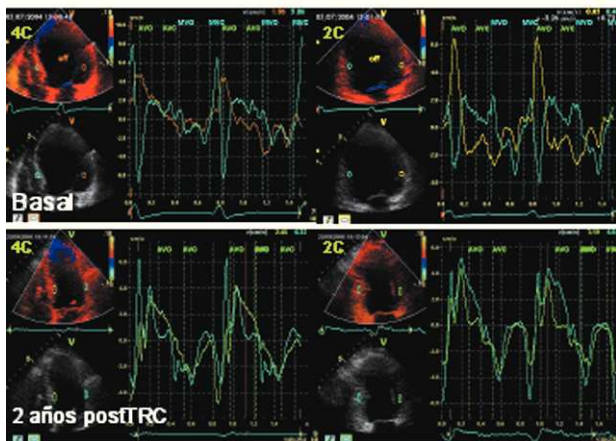


Fig. 1. Estudio de asincronía intraventricular con análisis de las velocidades tisulares mediante Doppler tisular. Se evalúan dos segmentos miocárdicos opuestos en el plano apical de 4 cámaras (izquierda) y 2 cámaras (derecha) en situación basal antes del implante del resincronizador (registro superior) y a los dos años del implante (registro inferior). Es evidente la mejoría de la sincronía en el registro de velocidades inferior apreciable por la superposición de las curvas y de la distancia pico a pico de la onda sistólica. También es patente la reducción del tamaño ventricular entre ambos estudios. TCR: terapia de resincronización cardíaca.

pronóstico desfavorable, similar al de los pacientes con disfunción sistólica^{18,19}. En un estudio de Liang et al²⁰ se encuentra que una presión telediastólica de ventrículo izquierdo (PTDVI) > 20 mmHg, una relación E/e > 15 y el volumen de la AI > 23 ml/m² fueron predictores de un nuevo episodio de insuficiencia cardíaca.

En los pacientes con ICFEN, los valores de péptido natriurético cerebral (BNP) son más bajos que los que presentan disfunción sistólica; sin embargo, las presiones de llenado estimadas a través de la relación «E/e» están elevadas de forma similar²¹. Burjonrappa et al encuentran que algunas situaciones, como la sepsis, elevan los valores de BNP sin parámetros Doppler, tamaño de AI, VI y FEVI que indiquen un aumento de las presiones de llenado²².

En cuanto al valor de la AI, no sólo es un indicador de la disfunción diastólica, sino también un predictor de la capacidad de ejercicio y del pronóstico cardiovascular^{17,23}.

Terapia de resincronización cardíaca

Se ha demostrado que la amplitud del complejo QRS no es un buen método para detectar asincronía ventricular, ya que un buen porcentaje de pacientes que cumplen criterios ECG para terapia de resincronización cardíaca (TRC) no responde a este tratamiento. Por este motivo, se están utilizando técnicas de imagen para mejorar los criterios que permiten detectar asincronía y, por tanto, a potenciales respondedores a la TRC (fig.1). El propuesto por el ya clásico trabajo de

Pitzalis et al²⁴, que mide el retraso entre la contracción septal y de la pared posterior por modo M, ha sido rebatido en un reciente estudio de 67 pacientes seguidos durante 6 meses, de los que 27 tenían insuficiencia cardíaca de causa isquémica²⁵. Se descartaron posibles diferencias en las características basales de los grupos con un retraso mayor o menor de 130 ms. Esta separación entre ambas paredes del VI en el estudio basal no se asoció con respuesta clínica ni con la clase funcional de la New York Heart Association (NYHA), la distancia caminada en 6 min, el remodelado reverso del VI y la activación neurohormonal a los 6 meses de seguimiento. Tampoco el retraso > 130 ms fue predictor de respuesta. Este mismo grupo ha analizado el impacto clínico de la optimización del resincronizador en 100 pacientes²⁶. En los 49 primeros se ajustó un retraso auriculoventricular (AV) empírico de 120 ms con estimulación biventricular (VV) simultánea. En los 51 siguientes se realizó una optimización sistemática AV y VV, seleccionando preactivación derecha o izquierda (retraso VV +30 o -30 ms) o simultánea de acuerdo con la mejor medida de sincronía obtenida del estudio del desplazamiento parietal por Doppler tisular (DTI). Se consideró respondedores a los pacientes no trasplantados y que mejoraron al menos un 10% el trayecto recorrido en el test de los 6 min. Aunque la FEVI mejoró en ambos grupos, el gasto cardíaco sólo lo hizo en los optimizados en el control a los 6 meses. La distancia recorrida en los 6 min fue ligeramente superior en los optimizados (497 ± 167 frente a 393 ± 123 m; p < 0,01), aunque sin diferencias en la capacidad funcional de la NYHA respecto a los no optimizados. Por último, el número de no respondedores fue similar en ambos grupos (el 27 frente al 23%; p = NS) por lo que concluyen que la optimización ecocardiográfica de los resincronizadores es en la clínica ligeramente beneficiosa.

Al hablar de la actualidad en cardio-RM nos referiremos de nuevo a la trascendente aportación de las técnicas de imagen en este terreno.

Embolia y foramen oval permeable

Desde 1974, año en que se realizó el primer intento de cierre de foramen oval permeable (FOP)²⁷, se han empleado múltiples tipos de dispositivos. Se estima que en el año 2004 más de 2.000 pacientes recibieron un cierre del FOP por distintas indicaciones²⁸⁻³⁰, y se espera que su número crezca. La ecocardiografía transesofágica (ETE) desempeña un papel fundamental en la guía durante el procedimiento y en la prevención y la detección precoz de complicaciones, tanto agudas (aposición anómala y migración del dispositivo, desgarreros en el tabique) como diferidas³¹. En la actualidad, con series grandes se empieza a disponer de datos fiables sobre las complicaciones de este procedimiento. Así, la tasa de complicaciones sobre un total de

1.355 cierres, procedentes de 10 estudios en los que aún se incluyeron dispositivos de primera generación, es de un 1,5% de complicaciones mayores (muerte, hemorragia mayor, taponamiento, necesidad de cirugía o embolia pulmonar) y un 7,9% de complicaciones menores (arritmias, hematoma femoral, migración del dispositivo resuelta)³². Se asume que la tasa de complicaciones con el uso de dispositivos actuales y con el empleo de control ecocardiográfico es próxima al 1%. También es importante considerar que, en el seguimiento a medio plazo (mediana 24 meses), el riesgo de recurrencia anual de eventos embólicos, aunque bajo, no desaparece (en algunas series llega al 0,6% de accidente isquémico transitorio [AIT] y 0,2% de embolia periférica), lo que podría permitir especular con la posibilidad de que la causa del evento embólico no fuese el FOP^{33,34}.

La relación causa-efecto entre el FOP y el embolismo paradójico sigue siendo objeto de controversia. En el estudio prospectivo SPARC (Stroke Prevention: Assessment of Risk in a Community study), el FOP no fue un predictor de evento cerebrovascular tras ajustar por la edad y la comorbilidad. El riesgo de accidentes cerebrovasculares fue casi 4 veces superior en caso de aneurisma de septo interauricular (SIA) que en su ausencia³⁵. El estudio publicado por Di Tullio et al³⁶ este año apoya estos resultados.

TÉCNICAS DE IMAGEN EN LA ENFERMEDAD DE LA AORTA

Síndrome aórtico agudo

El análisis de los datos procedentes del registro IRAD en el año 2007 aporta nueva y relevante información que ayuda a estratificar el riesgo de los pacientes que sobreviven a la fase aguda. Tsai et al³⁷ analizan el pronóstico de los pacientes con disección de tipo B (fig. 2) que superan la hospitalización inicial, encontrando que la presencia de trombosis parcial de la falsa luz diagnosticada con técnicas de imagen durante el ingreso constituye un marcador de mal pronóstico, junto con la presencia de aneurisma y la arteriosclerosis. La hipoxia de la pared arterial adyacente al trombo intraluminal, que favorece la aparición de fenómenos inflamatorios, neovascularización y debilidad de la pared, y el aumento de presión en la falsa luz que, puede ocurrir si la trombosis parcial dificulta el flujo de salida por los desgarros distales, son algunos mecanismos propuestos para explicar este hecho. Respecto a la disección de tipo A, Bossone et al³⁸ analizan el valor predictivo de los hallazgos de la ETE, más allá de las variables clínicas de riesgo, practicada a los pacientes con tratamiento médico o quirúrgico en la mortalidad intrahospitalaria. Desde la perspectiva de la ETE, los pacientes de menos riesgo son aquellos en los que la disección se localiza sólo en la aorta ascendente, la



Fig. 2. Angiorresonancia magnética en 3 dimensiones de una disección espiroidea de tipo B. Reconstrucciones tridimensionales de aorta toracoabdominal mediante angio-RM que muestran la presencia de dos luces que permiten un flujo distal adecuado y sin compromiso de los ramos arteriales mayores.

falsa luz es permeable y no hay evidencia de sangrado (hematoma periaórtico o derrame pericárdico). Sin embargo, si se analiza únicamente a los pacientes con tratamiento quirúrgico, sólo el hematoma periaórtico se relaciona con el pronóstico.

En lo que respecta al hematoma periaórtico, Lee et al³⁹ analizan variables predictoras de complicaciones agudas (< 30 días) o crónicas (aneurismas principalmente). El diámetro máximo de la aorta en el estudio inicial se consideró el único predictor de eventos agudos y el espesor máximo del hematoma en el estudio inicial o la aparición de proyecciones úlcera-like o disecciones autolimitadas en los estudios de seguimiento aparecen como principales factores de riesgo de complicaciones crónicas.

Enfermedades de la aorta ascendente en la válvula aórtica bicúspide

Junto con el síndrome aórtico agudo (SAA), las enfermedades de la aorta ascendente asociadas con la válvula aórtica bicúspide (VAB) se han erigido en una de las grandes protagonistas de la literatura médica en el último año. Uno de los aspectos más investigados en este contexto lo constituye la indicación de cirugía electiva de sustitución de aorta en este grupo de pacientes, que se basa en los estudios de historia natural sobre la progresiva dilatación y el riesgo de presentación de SAA. La Canna et al⁴⁰ analizan mediante ETE seriada la progresión de la dimensión de aorta ascen-

dente y la presentación de complicaciones en pacientes con VAB normofuncionante y aortas entre 40 y 60 mm, y las comparan con las de una población similar de pacientes con válvula tricúspide (VAT). La tasa de progresión a lo largo de 3 años fue igual en ambos grupos, y los únicos pacientes con complicaciones agudas correspondían al grupo de VAT. En la misma línea, el grupo de la Universidad de Yale⁴¹ apunta hacia una historia natural de la aorta ascendente en los pacientes con una VAB normofuncionante no muy diferente de la de los pacientes con VAT, encontrando una incidencia similar de complicaciones aórticas agudas entre ambos grupos y una supervivencia incluso mejor del grupo con VAB, que atribuyen a la edad más joven y a la menor comorbilidad del grupo. Ambos estudios obligan a replantear la creciente tendencia a cirugía precoz de la aorta ascendente en los pacientes con VAB. Della Corte et al⁴² encuentran en las diferencias cuantitativas existentes entre la pared de la aorta del paciente con síndrome de Marfan y de la VAB una posible explicación a esta evolución algo más benigna, a pesar de la ya similar histología descrita en estudios clásicos.

Ecocardiografía transesofágica intraoperatoria y en el control de los procedimientos intervencionistas

Guías de práctica clínica

La ecocardiografía transesofágica intraoperatoria (EIO) se ha convertido en una herramienta indispensable que forma parte integral del tratamiento del paciente en la mayor parte de los programas de cirugía cardíaca. Este año, las sociedades canadienses de ecocardiografía y de anestesiología publican un documento conjunto como guía para el adecuado entrenamiento de los especialistas implicados⁴³. También se han establecido programas de mejora continua de calidad, que en EIO se caracterizan por tres aspectos básicos: *a)* la continua evolución tecnológica obliga a redefinir los estándares de calidad periódicamente; *b)* la valoración de la calidad está basada en comparaciones; *c)* la experiencia derivada de la práctica repetitiva mejora la calidad. En este sentido, la American Society of Echocardiography and Society of Cardiovascular Anesthesiologists (ASE/SCA) publican este año recomendaciones para la mejoría continua de la calidad en la EIO⁴⁴.

Reparación valvular mitral

La EIO es trascendente en la valoración preoperatoria de la insuficiencia mitral (IM), pero hay limitaciones debido a cambios en la precarga y la poscarga en el paciente anestesiado, que (en ausencia de rotura de cuerdas) resultan en una infraestimación de la severidad de la regurgitación. Gisbert et al⁴⁵ publican que la estimación cuantitativa de la IM mediante el cálculo

del orificio regurgitante y la vena contracta evitan la infravaloración de la severidad en quirófano. También Mihalatos et al⁴⁶ encuentran que el empleo de fármacos vasoactivos, en este caso fenilefrina, en el paciente anestesiado es seguro y reduce significativamente la infraestimación de la severidad de la IM. Los autores concluyen que, no obstante, es preferible valorar la severidad en situación consciente.

La principal utilidad de la EIO antes de la reparación valvular mitral (RVM) es la descripción de los mecanismos de la IM. Las dimensiones del anillo mitral > 3,7 cm, el área de *tethering* > 1,6 cm² y la severidad > 3,5 han demostrado ser predictores de fracaso de la anuloplastia mitral como técnica de reparación de la IM isquémica y hacen recomendable emplear otros procedimientos asociados en la reparación⁴⁷. La geometría del velo posterior también puede predecir el resultado de la reparación de la IM isquémica⁴⁸. Igualmente, la EIO es eficaz en la valoración del resultado postoperatorio en la RVM y permite diagnosticar IM moderada-severa hasta en el 8% de los casos que el cirujano había considerado bien reparados mediante los tests quirúrgicos. Las variables condiciones durante la anestesia general, después del destete y con la progresiva recuperación de la función VI después de desclampar y de la cardioplejía, pueden influir en el grado de IM residual. Por todo ello, aún se discute si la presencia de IM leve puede considerarse una reparación eficaz o si obliga a la reentrada en bomba y la revisión de la reparación. Gillham et al⁴⁹ encuentran que, entre los pacientes con IM degenerativa y/o isquémica reparados en su centro, el 61% con IM ligera residual en EIO mejora su grado de IM en los estudios transtorácicos de seguimiento, por lo que indican que no debe plantearse la reentrada en bomba con grados de IM residual leve. El desarrollo de obstrucción dinámica y el movimiento sistólico anterior post-RVM pueden tratarse médicamente en la mayoría de los pacientes, rara vez (2,3%) persisten en el seguimiento y casi nunca obligan a la reintervención a largo plazo ni deterioran la situación funcional del paciente⁵⁰. Por último, Serri et al⁵¹ estudian el valor predictivo de la EIO tras salida de circulación extracorpórea (CEC) para predecir la recidiva y encuentran que un buen resultado postoperatorio inmediato no predice la posible recurrencia a medio y largo plazo de la IM isquémica.

Cirugía en las cardiopatías congénitas

Otra área de particular interés en el campo de la EIO es el tratamiento intervencionista, quirúrgico o con catéter, de las cardiopatías congénitas. La monitorización mediante ecocardiografía transesofágica (ETE) o intracardiaca del cierre percutáneo de una comunicación interauricular es una práctica absolutamente estandarizada, sin que los estudios recientes hayan demostrado superioridad de una técnica ecocardiográfica con respecto a la otra en términos de éxito del procedi-

miento o de complicaciones a largo plazo⁵². También la EIO es de especial interés en el tratamiento quirúrgico de pacientes con defectos del SIA de anatomía más compleja, la evaluar la correcta posición del parche de cierre del defecto, el drenaje venoso, las válvulas auriculoventriculares y la ausencia de defectos residuales que puedan complicar el curso postoperatorio del paciente^{53,54}. Incluso recientemente se ha empleado la ecocardiografía epicárdica intracardiaca para el tallaje del tamaño de la prótesis y para controlar el procedimiento de implantación percutánea de válvula pulmonar, que requiere esternotomía aunque no el empleo de *bypass* cardiopulmonar⁵⁵.

A pesar de su reconocida utilidad, el tamaño de la sonda multiplano ha limitado la aplicación de la EIO en pacientes en edad pediátrica, principalmente en neonatos. Precisamente, entre los avances tecnológicos publicados este año está el de la incorporación de una sonda transesofágica micromultiplano (de 5,2 mm de diámetro y que alcanza escasamente los 8 mm en el extremo distal) con dotación de segundo armónico y que ha demostrado utilidad en neonatos de bajo peso en el marco de la exploración intraoperatoria⁵⁶.

Cirugía coronaria

Cabrera Schulmeyer et al⁵⁷ ilustran la utilidad de la EIO en el control de la función VI sistólica, global y regional, y diastólica durante la revascularización coronaria sin CEC. La técnica permitió detectar disfunción sistólica y alteraciones nuevas de la función segmentaria durante el procedimiento que en todos los casos menos uno fueron reversibles tras reperfundir el cirujano el vaso causante. En el caso en que la alteración de la función regional resultara persistente, se procedió a entrar en CEC y la revascularización fue eficaz. Finalmente, el control de la función VI permitió guiar el tratamiento con fármacos vasoactivos y/o bloqueadores beta. Recientemente se han publicado resultados similares⁵⁸ y se han encontrado modificaciones mayores de la técnica quirúrgica en el 16% de los pacientes y menores en el 10% de los casos basados en la información obtenida mediante EIO.

Ya es conocido que la IM es un predictor independiente de mortalidad post-IAM. Recientemente, Grossi et al⁵⁹ han publicado datos sobre el valor pronóstico de la IM moderada en los pacientes intervenidos de revascularización miocárdica, con independencia del grado de disfunción del VI y de la extensión de la enfermedad coronaria.

Ecocardiografía 3D intraoperatoria

De Castro et al⁶⁰ muestran su experiencia clínica inicial en la aplicación de la eco-3D con sonda epicárdica en la cirugía cardíaca que, en opinión de los autores,

puede llegar a tener valor diagnóstico incremental con respecto a la EIO bidimensional y a la imagen tridimensional obtenida de la reconstrucción *offline* de múltiples imágenes secuenciales. Los principales campos de aplicación encontrados son la visualización de la aorta ascendente (desgarros intimaes, placas de aterosclerosis, etc.), la imagen del anillo mitral y el trigono fibroso, el tracto de salida ventricular izquierdo y su relación con el aparato subvalvular mitral, los músculos papilares y las masas ventriculares.

Ablación septal en la miocardiopatía hipertrófica

La ecocardiografía continúa siendo la técnica de elección en el diagnóstico, la estratificación del riesgo, el seguimiento y la guía del tratamiento de la miocardiopatía hipertrófica, para evaluar los resultados de la miectomía quirúrgica y la ablación septal con alcohol. Recientemente se han publicado resultados sobre la disfunción microvascular antes y después del procedimiento de ablación septal transluminal percutánea⁶¹ y sobre la aplicación de la ecocardiografía intracardiaca para guiar el procedimiento⁶².

TECNOLOGÍAS EN DESARROLLO

Doppler tisular

Se continúan acumulando evidencias sobre la utilidad clínica del Doppler tisular (DTI) y las medidas de deformación derivadas, en importantes áreas clínicas como la hipertensión, las miocardiopatías o la CI. Varios parámetros de DTI, como la velocidad de la onda sistólica regional⁶³ o la velocidad de la onda «e» anular⁶⁴⁻⁶⁶, además de contribuir a la valoración funcional de numerosas cardiopatías, ya han demostrado, en estudios de seguimiento, su papel como importantes predictores de pronóstico independientes y con valor incremental sobre otras variables clínicas de riesgo^{67,68}.

Además del uso clínico de estos parámetros, nuevas aplicaciones en el ámbito experimental, como la valoración de la función sistólica global y regional en pequeños animales con parámetros menos dependientes de carga, hacen necesario el estudio de valores de referencia y estudios de reproducibilidad sobre los que se empieza a recopilar experiencia⁶⁹.

Parámetros de deformación miocárdica. Strain y strain rate

Entre los nuevos artículos sobre la aplicabilidad clínica del análisis de la deformación miocárdica, *strain* (ϵ) y *strain rate* (SR), destacan los centrados en la detección de CI, la valoración de la viabilidad y el análisis de la función del VD. La utilización de la tecnología basada en *strain* 2D (S2D) ha introducido nuevos conceptos más allá del análisis del componente longi-

tudinal de la deformación, y la estimación de la torsión o *twist* miocárdico ha cobrado una especial relevancia. Aunque la introducción de esta nueva modalidad en la práctica clínica ya comienza a ser patente, nuevos trabajos continúan validando el método frente al DTI⁷⁰, la sonomicrometría y la cardio-RM⁷¹.

Detección de isquemia. Ecocardiografía de estrés

La evidencia continúa demostrando la utilidad del análisis de la deformación miocárdica mediante DTI en la detección de la isquemia regional. En un estudio combinado clínico y experimental, Skulstad et al⁷² concluyen que el *strain* sistólico es el mejor parámetro capaz de diferenciar tanto el miocardio con isquemia moderada o severa del normal. En la eco-estrés, la incorporación del análisis del ϵ y SR no sólo puede mejorar la variabilidad intraobservador e interobservador, al reducir la subjetividad en la interpretación de la ED⁷³, sino que la respuesta del SR durante la prueba ofrece información pronóstica independiente e incremental a la valoración estándar de la contractilidad segmentaria⁷⁴. La utilidad de la evaluación de estos parámetros durante el estrés también ha sido demostrada en circunstancias de especial dificultad, como en la valoración de lesiones intermedias⁷⁵. Si bien la mayoría de los estudios se han realizado con DTI, la utilización del S2D presenta una precisión diagnóstica similar⁷⁶.

Análisis de la viabilidad miocárdica

Además de la utilidad de la aportación de parámetros cuantitativos a la estimación de la viabilidad miocárdica mediante la evaluación de la reserva contráctil con dobutamina, en artículos recientes se ha demostrado la utilidad de la evaluación de los parámetros de deformación para determinar la extensión de la necrosis en el IAM. Al igual que los primeros estudios realizados con DTI, el análisis segmentario del ϵ y SR mediante S2D permite discriminar entre distintos grados de transmuralidad en comparación con la cardio-RM, lo que aporta nueva información sobre el comportamiento de la deformación radial y circunferencial en este contexto. El análisis combinado de la deformación longitudinal y radial permite estimar la transmuralidad de la necrosis en pacientes con CI crónica⁷⁷. Becker et al⁷⁸ demuestran que el análisis del componente radial en el infarto crónico permite estimar la transmuralidad con una sensibilidad y una especificidad del 70 y el 71% (valor de corte, 16,5%). Recientemente, un nuevo parámetro, denominado *strain global*, estimado justo tras la revascularización, se ha correlacionado con el tamaño total de la necrosis valorada por cardio-RM ($R = 0,77$; $p < 0,01$), por lo que permite predecir de forma precoz el tamaño del infarto⁷⁹.

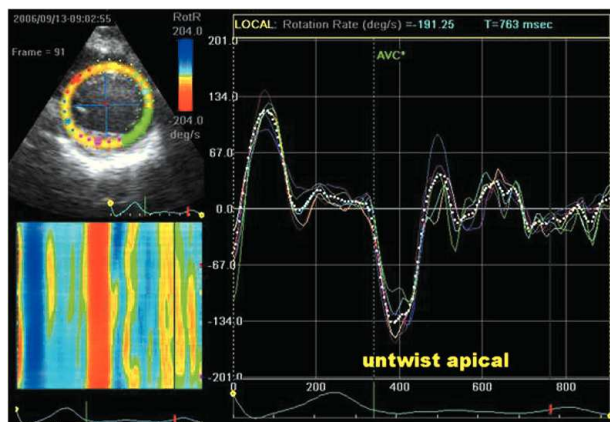


Fig. 3. Imagen de *untwist* o destorsión apical obtenida mediante strain-2D en escala de grises. Plano eje corto en la zona apical en escala de grises.

Mediante la cuantificación por *speckle tracking* se puede medir la velocidad de la rotación del ápex en sentido horario (valores negativos) durante el período de relajación isovolumétrica en varios segmentos de forma simultánea.

Torsión (twist) miocárdico

La torsión ocurre en el miocardio normal debido a la variación de la disposición de las fibras miocárdicas a lo largo del VI. La velocidad del *untwisting* o desrotación durante la diástole precoz permite una aproximación no invasiva de la valoración de la relajación isovolumétrica (fig. 3). El grado de *untwisting* ha demostrado una buena correlación con la constante de relajación tau (τ) y parece independiente de la presión de la AI. El creciente interés por estos parámetros en el último año se ha debido, en parte, al desarrollo del S2D⁸⁰, que permite su evaluación de manera relativamente sencilla. Si bien algunos trabajos han demostrado la utilidad de su cuantificación en algunas enfermedades⁸¹, cabe esperar que en el próximo año se consolide su aplicabilidad clínica.

Función del ventrículo derecho

La independencia angular del S2D facilita una aproximación cuantitativa al estudio del VD. El análisis de la función global y regional demuestra una disminución de ϵ y SR en enfermedades como la hipertensión pulmonar⁸² y permite el control ecocardiográfico de la respuesta al tratamiento en este contexto⁸³.

Ecocardiografía tridimensional

Actualidad en eco-3D

La eco-3D es una tecnología que, durante la última década, ha tenido una rápida evolución. Prueba de ello son los numerosos avances en equipamiento, metodología, procedimientos y aplicaciones clínicas de la téc-

nica, con numerosas publicaciones que lo avalan, como el documento realizado por expertos que analiza críticamente la evidencia disponible y propone guías razonables para la aplicación actual de la eco-3D^{84,85}. Los autores evalúan los artículos publicados en los últimos años y establecen las bases de la utilidad de la eco-3D en: *a)* la medida directa de los volúmenes y la masa del VI, frente al cálculo realizado mediante cardio-RM o eco-2D; *b)* la excelente visión anatómica de las válvulas, principalmente la válvula mitral; *c)* el análisis directo de la función regional del VI, tanto en reposo como durante el estrés, aplicado al estudio de la CI y la asincronía mecánica; *d)* la descripción exhaustiva de la anatomía compleja en las cardiopatías congénitas, principalmente en las lesiones del tracto de salida de VI y VD, y en los defectos septales o de las válvulas auriculoventriculares; *e)* la medida directa de los volúmenes del VD; *f)* la aplicación del Doppler color a la eco-3D en el cálculo del volumen/latido, el volumen regurgitante o los cortocircuitos, y *g)* la utilidad de la eco-3D en la cuantificación de la perfusión miocárdica.

Función y masa ventricular izquierda

A pesar de que los volúmenes ventriculares y la FEVI constituyen el principal predictor de morbimortalidad en la mayoría de las cardiopatías, su determinación descansa, en la mayoría de centros, en el cálculo subjetivo por eco-2D. Desde sus inicios, la eco-3D demostró ventajas con respecto a la 2D, aunque con el contrapunto de la necesidad de análisis y posprocesado de imágenes multiplanares *off-line*, proceso que consume tiempo y que no estaba disponible en la mayor parte de los equipos. Sin embargo, la eco-3D en tiempo real (RT3D), mediante la detección semiautomática de la superficie endocárdica 3D con *softwares* disponibles comercialmente, permite la medida rápida y directa de volúmenes y FE de una forma fiable, reproducible y con un elevado índice de acuerdo con la cuantificación realizada mediante cardio-RM ($r = 0,96$; $0,97$ y $0,93$ para el volumen telediástolico, telesistólico y la FE, respectivamente), incluso superior a la correlación cardio-RM frente a la eco-2D ($r = 0,89$; $0,92$ y $0,86$, respectivamente)⁸⁶. Además, en pacientes con miocardiopatías y en ritmo sinusal, en quienes la geometría del VI está distorsionada, el método de análisis de los volúmenes VI mediante eco-3D y detección semiautomática de bordes con reconstrucción 3D del volumen completo es más rápido y más preciso que el método de interpolación multiplanar⁸⁷.

Indiscutiblemente, por su exactitud, su reproducibilidad y su escasa variabilidad interobservador e intraobservador, la cardio-RM puede y debe considerarse actualmente el patrón de referencia en la cuantificación de la masa VI. No obstante, publicaciones recientes han demostrado que la eco-3D permite obtener

proyecciones apicales bidimensionales del VI, múltiples, ortogonales y anatómicamente corregidas, sin falsos acortamientos para el cálculo de la masa, que mejoran el rendimiento diagnóstico de esta técnica con respecto a la eco-2D y que la hacen competitiva con la cardio-RM⁸⁸. En este sentido, son aún más interesantes los datos publicados en *Heart* el año 2006 por Caiani et al⁸⁹. La detección semiautomática de los bordes endocárdico y epicárdico en el espacio tridimensional permite una medida directa, rápida y precisa de la masa del VI sin necesidad de recurrir a la selección subjetiva de los planos de estudio y sin asumir modelos geométricos en los cálculos, con excelente grado de acuerdo con la cardio-RM ($r = 0,96$; DE: $10,5$ g; $p = 0,001$).

Recientemente también se ha validado el análisis volumétrico de la función regional del VI frente a la cardio-RM⁹⁰. Este análisis evalúa los cambios en el volumen segmentario a lo largo del ciclo cardíaco e incluso estima la FE regional.

Ecocardiografía de estrés con eco-3D

Algunos estudios clínicos preliminares⁹¹ señalan el poder diagnóstico de la eco-3D de estrés con dobutamina y publican datos de sensibilidad (86%), especificidad (80%) y precisión (82%) comparables con los obtenidos mediante eco-2D (el 86, el 83 y el 84%, respectivamente; $p = 1$). A esto se añade la ventaja de un tiempo de adquisición más corto mediante eco-3D, puesto que con la adquisición de sólo dos imágenes es posible obtener todos los planos necesarios para el estudio. Estudios más recientes muestran resultados contróvertidos y sólo una modesta correlación entre ambas técnicas, principalmente en el territorio de la descendente anterior, que se atribuye a las pocas imágenes por segundo de las imágenes 3D, a la mala delimitación del borde endocárdico en el ápex en las imágenes con contraste (por excesiva destrucción de las burbujas) y la dificultad de aplicar adecuadamente el transductor 3D al espacio intercostal⁹². Por otro lado, se han publicado resultados prometedores con el empleo de métodos cuantitativos de valoración de la función regional recientemente validados frente a la cardio-RM⁹³ y con ecopotenciadores⁹⁴ para mejorar la variabilidad interobservador.

Eco-3D de contraste

Opacificación del VI. Corsi et al⁹⁵ publican su reciente experiencia con eco-3D y el empleo de ecopotenciadores en imagen intermitente sincronizada con ECG y con la adquisición de imágenes en telesístole y telediástole para la detección semiautomática del borde endocárdico en el dominio 3D y para la segmentación, que permite cuantificar la función regional mediante la determinación de la dimensión radial

regional (promedio del desplazamiento de todos los vóxeles de superficie contenidos en cada segmento), en pacientes con ventana subóptima. Los autores encuentran buena correlación con los resultados obtenidos mediante cardio-RM y que la eco-3D con ecopotenenciadores mejora las limitaciones en la valoración de los segmentos apicales que tienen la cardio-RM y la eco-3D.

Perfusión miocárdica. Entre los avances presentados en la literatura científica en esta área, Lang et al⁹⁶ desarrollan un algoritmo para el análisis volumétrico del flujo miocárdico que analizan en un modelo ex vivo con flujo coronario controlado in vivo en un modelo con variaciones controladas de la perfusión coronaria y en humanos durante hiperemia inducida con adenosina.

Válvula mitral

Aunque el estudio de la válvula mitral (VM) es ya ampliamente reconocido como la aplicación más extendida de esta técnica, en este último año se ha publicado la primera experiencia con eco-3D en tiempo real en el análisis de la VM normal y la enfermedad valvular⁹⁷, que demuestra su aplicabilidad en la práctica clínica diaria. Hasta en el 78% de los pacientes, las reconstrucciones tridimensionales de la VM eran adecuadas, ya que se visualizaba completamente el velo anterior en el 84% de los pacientes y el velo posterior en el 77%. Aunque el aparato subvalvular sólo pudo estudiarse en el 76% de los pacientes, los velos, las comisuras y el orificio valvular pueden analizarse hasta en el 98% de los casos. Cuando se estudia a pacientes consecutivos no seleccionados, hasta el 70% tiene una ventana adecuada para estudiar la válvula mediante eco-3D, observándose completamente el velo anterior en el 55% de los casos (sobre todo desde la cara ventricular de las proyecciones paraesternal o apical), el posterior en el 51% (desde la proyección paraesternal principalmente) y los velos, las comisuras y el orificio valvular en el 69% (sea cual sea la proyección empleada). Por último, la técnica permite diagnosticar con precisión los festones implicados en el prolapso o la rotura de cuerdas, las perforaciones del velo posterior y la integridad de los velos posreparación, y realizar de manera adecuada la medida directa del área en válvulas estenóticas o posvalvuloplastia.

Si hay un área donde la incorporación de la eco-3D en el estudio de la VM es particularmente interesante es la valoración anatómica y funcional de la IM con vistas a la reparación quirúrgica, al conseguir imágenes que pueden ser interpretadas con facilidad por cardiólogos y cirujanos dedicados a la selección de candidatos para reparación valvular. La eco-3D presenta una excelente concordancia con la inspección quirúrgica directa, mejora la precisión diagnóstica de la ETE

en las lesiones complejas, en las lesiones del festón A1 y en los defectos comisurales, en los que las decisiones quirúrgicas son más difíciles⁹⁸. El empleo sistemático de la eco-3D, tanto transtorácica como transesofágica, mediante posprocesado y reconstrucción a partir de múltiples imágenes secuenciales adquiridas de manera sincronizada con el ECG y los movimientos respiratorios, es posible, requiere un tiempo corto de adquisición y análisis, y ha demostrado mejorar la precisión diagnóstica de las técnicas bidimensionales en la identificación de las lesiones en poblaciones no seleccionadas de pacientes con prolapso mitral tratados con reparación quirúrgica⁹⁹.

Mediante eco-3D se han estudiado también las alteraciones geométricas del anillo que ocurren en el contexto de las distintas formas de IM crónica y su importancia en la progresión y la severidad de la lesión valvular¹⁰⁰. En lo que respecta a la IM de origen isquémico, la eco-3D ha permitido profundizar en el conocimiento de los mecanismos y actualmente se reconoce que el remodelado ventricular y subvalvular desempeñan, junto con la dilatación anular, un papel destacado en la aparición de IM isquémica y funcional¹⁰¹. Watanabe et al¹⁰² utilizan un sistema de análisis volumétrico para diferenciar la configuración del anillo y de los velos valvulares en los pacientes con IM isquémica entre el infarto de localización anterior e inferior. Previamente se ha demostrado que el desplazamiento de los músculos papilares ejerce tracción sobre los velos, lo que restringe su movilidad y evita que coapten adecuadamente en sístole a nivel del anillo. Este estudio demuestra que hay diferencias geométricas en el *tenting* de los velos entre ambos grupos, y que la tracción de los velos hacia el VI es mayor en el infarto anterior, con mayor remodelado, que en el infarto inferior, con remodelado posteroinferior más localizado.

Válvula tricúspide

Constituye una estructura compleja y, a diferencia de la VM, no es posible observar sus tres velos simultáneamente mediante eco-2D, ni transtorácica ni transesofágica en eje corto, debido a la configuración espacial de esta válvula (fig. 4). Hasta en el 90% de los pacientes es posible analizar la anatomía de la válvula mediante eco-3D, identificando la forma y el tamaño del anillo y los velos, su movilidad y la coaptación de las 3 comisuras, lo que añade una descripción funcional más detallada que con el estudio bidimensional¹⁰³. Igualmente, la eco-3D permite la medida del área valvular por planimetría directa¹⁰⁴, el estudio de los mecanismos de la insuficiencia tricúspide funcional¹⁰⁵ y los cambios geométricos del anillo y el volumen de *tenting* de los velos¹⁰⁶ y la definición de la anatomía quirúrgica, las inserciones anómalas de los velos, el mecanismo de la insuficiencia y la reparabili-

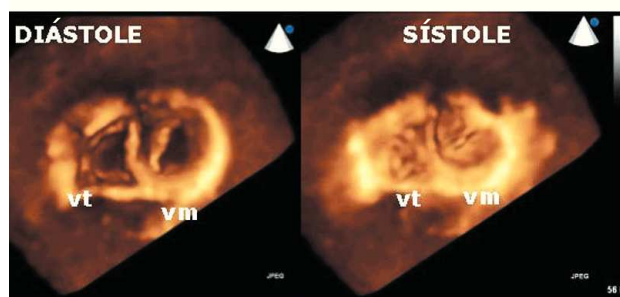


Fig. 4. Imagen de ecocardiografía tridimensional desde la cara ventricular en proyección apical que valora los velos valvulares, las comisuras y los anillos auriculoventriculares. Se usan dos planos ortogonales de referencia para localizar las estructuras dentro del volumen completo y se navega cortando por planos para obtener vistas 3D de las válvulas auriculoventriculares en diástole (imagen izquierda) y en sístole (imagen derecha).

vt: válvula tricúspide, vm: válvula mitral.

dad de la válvula tricúspide en la compleja malformación de Ebstein^{107,108}.

Cardiopatías congénitas y función ventricular derecha

La eco-3D tiene un gran potencial en el estudio de las cardiopatías congénitas (CC) por su capacidad para estudiar relaciones anatómicas complejas. Además, obtener más imágenes en menor tiempo puede reducir la necesidad de sedación de los niños durante la exploración ecocardiográfica. En pacientes con comunicación interventricular, la eco-3D ofrece, sin alargar el tiempo de exploración, una imagen anatómica con «sensación de profundidad», una visión del defecto desde el VD o el VI, en la que se aprecian sus relaciones con las válvulas AV, aórtica o pulmonar y es posible medir las dimensiones máximas del defecto desde distintos planos¹⁰⁹, tanto en la edad pediátrica como en adultos¹¹⁰. En pacientes con comunicación interauricular, el interés particular de la técnica reside en definir con exactitud los bordes del defecto del tabique con el fin de garantizar las posibilidades de éxito del cierre percutáneo, el resultado del procedimiento una vez realizado e identificar el origen del cortocircuito residual, si existe¹¹¹. Además, se han publicado resultados prometedores en el estudio 3D de cardiopatías más complejas¹¹², del canal auriculoventricular¹¹³, del tracto de salida del VI, del tracto de salida del VD¹¹⁴ y de los aneurismas del septo membranoso¹¹⁵.

Así como la cuantificación tridimensional de los volúmenes^{116,117} y la masa¹¹⁸ del VI es primordial en los pacientes adultos con cardiopatía, en el paciente pediátrico o adulto con CC es el VD el principal objetivo del estudio y, en muchas ocasiones, es éste el que actúa como ventrículo sistémico. Este análisis tiene grandes limitaciones mediante eco-2D, ya que el VD tiene una estructura piramidal y no está sujeto a mode-

los geométricos que puedan asumirse para la estimación de los volúmenes y la FE. Los resultados de aplicar la eco-3D al análisis de la función del VD son aún controvertidos y disponemos de pocos datos sobre su estudio en las CC mediante esta técnica. Aunque la cardio-RM es considerada en la actualidad como el patrón de referencia, se están haciendo numerosos avances en la eco-3D en este sentido. El método de suma- ción de múltiples proyecciones en eje corto con trazado manual o semiautomático de los bordes endocárdicos y epicárdicos se considera superior al de la rotación apical y puede ser competitivo con la cardio-RM¹¹⁹, e incluso, se han definido valores normales de referencia indexados para la superficie corporal en varones y en mujeres mediante esta técnica. Sin embargo, hasta el momento no disponemos de evidencias que apoyen el uso de la eco-3D en la práctica clínica.

Asincronía y resincronización

También se está investigando la aplicación de la eco-3D a la evaluación de la asincronía ventricular y la respuesta al tratamiento una vez implantado el dispositivo. El análisis *offline* del volumen completo con el empleo de un método de valoración mediante detección semiautomática de borde endocárdico y la subdivisión del VI en segmentos codificados en color permite obtener curvas de tiempo y volumen que representan los cambios en la función global y regional a lo largo del ciclo cardíaco¹²⁰. Kapetanakis et al¹²¹ han demostrado que en un VI perfectamente sincrónico todos los segmentos alcanzan el mínimo volumen sistólico de manera simultánea. Esto permite estimar el índice de disincronía sistólica derivado de este análisis, útil no sólo en el diagnóstico de asincronía, sino en la valoración de la respuesta al tratamiento. Burgess et al¹²² encuentran discrepancias importantes entre la eco-3D y el DTI en la valoración de la magnitud de la asincronía en pacientes con miocardiopatía dilatada de origen isquémico. Los autores discuten las posibles causas de esta discrepancia, entre otras, la diferencia entre la valoración longitudinal o radial, los artefactos de translocación y la definición subóptima del borde endocárdico y el empleo de un punto de referencia central detectado automáticamente en 3D.

Doppler color en 3D

La aplicación del Doppler color a la eco-3D permite mejorar, tanto en el caso de la IM¹²³ como de la insuficiencia aórtica (IAo)¹²⁴, la cuantificación de la severidad de las lesiones. La eco-3D nos permite analizar la región proximal de convergencia de flujo (PISA) desde distintos ángulos de visión, lo que facilita el conocimiento, en el caso de la IM, de la forma hemielíptica en lugar de la hemiesférica; asimismo, cuando ajustamos el plano de corte para hacerlo completamente per-

pendicular a la hemiesfera o hemielipse, permite comprobar que la vena contracta es generalmente no circular y asimétrica, y que la medida de su área es una valoración que se correlaciona de manera eficaz con la severidad de la IAO, lo que es de especial interés en los chorros excéntricos.

Función y volumen de la aurícula izquierda

Anwar et al¹²⁵ publican en este año su experiencia en la valoración de la AI mediante eco-3D. El estudio muestra que la técnica es fiable y reproducible para detectar los cambios cíclicos en el volumen de AI, tanto en aurículas de dimensiones normales como dilatadas, e incluso en los casos en los que la AI se deforma por dilatación de estructuras adyacentes. Aún más, la estimación del volumen es más fiable que la tradicional valoración de la dilatación con modo M o 2D, y es comparable con la obtenida con cardio-RM, probablemente por mejorar la definición de la orejuela izquierda y de porciones de venas pulmonares que podrían ser incluidas en la valoración del volumen en los estudios con ecocardiografía 2D.

RESONANCIA MAGNÉTICA EN CARDIOLOGÍA

Las enormes posibilidades diagnósticas que ofrece la aplicación de la cardio-RM han favorecido su creciente popularidad y su expansión. De hecho, las más recientes guías de práctica clínica publicadas por el American College of Cardiology (ACC) y el American College of Radiology (ACR) recomiendan la inclusión de la cardio-RM como una disciplina básica en la formación de cardiólogos y radiólogos¹²⁶.

Resonancia magnética en el estudio de la isquemia miocárdica

En el año 2006, un panel de expertos de la ACC Foundation ha elaborado las indicaciones que se consideran apropiadas para el uso de la cardio-RM de estrés y perfusión en el diagnóstico de la CI: evaluar el dolor torácico en pacientes con probabilidad intermedia de CI y evaluar el significado fisiológico de lesiones coronarias indeterminadas¹²⁷. El estudio de estrés con adenosina con el empleo de la cardio-RM ha demostrado cifras de sensibilidad (100%) y especificidad (93%) excelentes en el diagnóstico de enfermedad coronaria y un alto valor predictivo negativo de eventos cardiovasculares en el primer año en pacientes con dolor torácico, ECG y valores de troponina no diagnósticos que acuden a un servicio de urgencias¹²⁸. Recientemente se ha publicado un algoritmo de interpretación de imagen cualitativa que combina el estudio de primer paso con las imágenes de realce tardío para mejorar la especificidad (el 87 frente al 58%) y la precisión

(el 88 frente al 68%)^{129,130}. Finalmente, parece que la cardio-RM de 3 T, que incrementa la relación señal/ruido y mejora la imagen de contraste, podría incrementar el poder diagnóstico de la valoración cualitativa de la perfusión que se realiza con equipos de 1,5 T, en los que puede ser más difícil diferenciar el miocardio normal del hipoperfundido¹³¹.

Necrosis y viabilidad miocárdica

Es bien reconocido que el ECG es insensible para diagnosticar pequeños infartos, principalmente los que no tienen onda Q¹³². De manera reciente, expertos de la Sociedad Internacional de Holter y Electrocardiografía no invasiva, basándose en el análisis topográfico que permite la cardio-RM, han elaborado nuevas recomendaciones para la terminología que establece la localización del IAM según el patrón ECG¹³³: patrones a los que antes nos referíamos como IAM de localización posterior y lateral alto corresponden a necrosis en la región lateral y anterior media en el estudio con cardio-RM. Los estudios clínicos y en animales de experimentación han demostrado que el realce tardío como método de análisis de la viabilidad miocárdica es muy reproducible cuando se ajusta de manera apropiada el tiempo de inversión después de la inyección de gadolinio. De hecho, este ajuste permite la determinación precisa del tamaño del infarto en distintos tiempos desde la inyección del gadolinio¹³⁴. Además, el realce tardío como medida del tamaño del IAM, la extensión transmural de la necrosis en cada segmento y la obstrucción microvascular estudiada con análisis de las imágenes de primer paso han demostrado también el valor predictivo de la cardio-RM en la recuperación funcional postangioplastia primaria¹³⁵.

Cardiopatías congénitas

En este grupo de pacientes, la cardio-RM aporta una información muy precisa sobre la anatomía, incluso superior a la ecocardiográfica en anomalías extracardíacas, como en el síndrome de la cimitarra¹³⁶, y tiene un valor diagnóstico que, en muchos casos, es esencial para tomar decisiones clínicas. Un ejemplo muy claro de ello lo constituye la aplicación de la cardio-RM en el seguimiento de la estenosis o insuficiencia pulmonar, las ramas pulmonares, la aorta ascendente y la función VD (dilatación, disfunción y/o fibrosis) en el paciente en el que se efectúan la reparación de una tetralogía de Fallot¹³⁷. Precisamente, la fibrosis ventricular diagnosticada con cardio-RM mediante realce tardío y localizado en la región de ampliación transanular del tracto de salida VD en este grupo de pacientes ha demostrado ser un marcador de eventos clínicos adversos¹³⁸, aunque no así la fibrosis a distancia en la inserción inferior del septo interventricular. También en el seguimiento de la transposición de grandes arterias

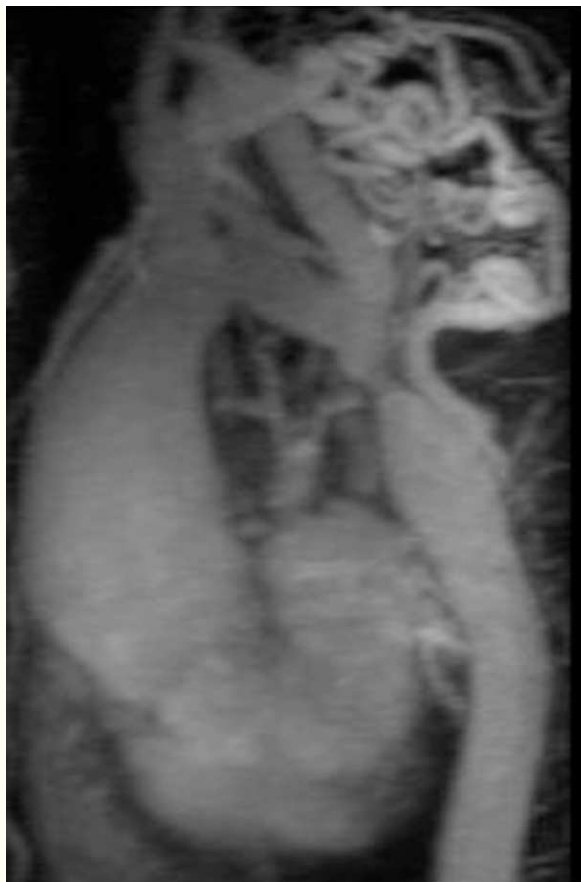


Fig. 5. Angiorresonancia magnética con gadolinio en un paciente con recoartación de aorta y aneurisma de aorta ascendente. Puede apreciarse también una leve dilatación de la aorta en la aorta poscoartación en relación con la reparación quirúrgica.

(TGA), la cardio-RM ha tenido una gran aplicación, principalmente en los casos intervenidos mediante técnicas de *switch* auricular¹³⁹, en los que la extensión de las áreas de realce tardío se relaciona con la edad, la disfunción VI, las alteraciones electrofisiológicas y los eventos clínicos. Finalmente, la coartación de aorta nativa y reparada¹⁴⁰ tiene también en la cardio-RM una de sus mejores técnicas de diagnóstico y seguimiento (fig. 5). Celermajer et al¹⁴¹ informan de que también la geometría del arco aórtico en los pacientes con una coartación reparada podría guardar relación con el remodelado vascular, la alteración de la vasorreactividad y la rigidez de la pared de aorta, que a su vez se relacionan con el riesgo cardiovascular a largo plazo.

Displasia arritmogénica del ventrículo derecho

Durante algunos años, la cardio-RM se consideró un avance importante en el diagnóstico de esta entidad mediante técnicas de imagen. Sin embargo, actualmente sabemos que constituye tan solo una técnica más, ya que hipocinesia (o discinesia) e infiltración

grasa en la pared del VD puede llegar a observarse incluso en voluntarios sanos en la región de la banda moderadora¹⁴².

Miocardopatías y miocarditis

El patrón de realce tardío ha permitido realizar el diagnóstico diferencial entre miocardopatía isquémica y no isquémica, pero además ha permitido también encontrar diferencias en los patrones de distribución del gadolinio entre las distintas etiologías, que pueden modificar el pronóstico o el tratamiento de los pacientes, como en el caso de la sarcoidosis¹⁴³. Junto con estas aplicaciones diagnósticas, la presencia de escaras o fibrosis detectadas mediante realce tardío tiene también el valor de ser un marcador de severidad de la enfermedad. Así, Debl et al¹⁴⁴ publican en *Heart* un estudio sobre la diferente distribución y extensión del realce tardío en la hipertrofia VI en la EAO y en la miocardopatía hipertrófica en el que demuestran que la severidad del remodelado se relaciona con la extensión de áreas de fibrosis y que ésta es más severa en los casos genéticamente determinados que en la hipertrofia secundaria a la sobrecarga de presión de la lesión valvular. En cuanto a la miocarditis viral, De Cobelli et al¹⁴⁵ han encontrado diferentes patrones de distribución del gadolinio en realce tardío en los pacientes con miocarditis crónica (> 6 meses de evolución) según la histología basada en los criterios de Dallas: localizaciones de gadolinio en la región media del la pared miocárdica en la miocarditis activa y subepicárdica en la miocarditis *borderline*. Estos patrones pueden servir para guiar la biopsia endomiocárdica y para establecer el pronóstico en este grupo de pacientes.

Terapia de resincronización cardíaca

Aún se continúan ensayando nuevas técnicas diagnósticas que permitan identificar en el período preimplantación qué pacientes se benefician de la TRC y las técnicas de imagen emergen como test con un destacado papel complementario. Bleeker et al¹⁴⁶ emplean el diagnóstico de necrosis en la región posterolateral mediante cardio-RM con gadolinio y realce tardío como en pacientes con disfunción VI de origen isquémico e IC, para valorar la respuesta a la TRC en los pacientes con o sin asincronía mecánica determinada mediante ecocardiografía y DTI. Los autores concluyen que la presencia de asincronía en pacientes con necrosis transmural conforma un grupo de respondedores, mientras que, en ausencia de escara, la asincronía constituye un criterio adecuado de selección de pacientes para TRC. La velocidad pico sistólica medida por Doppler tisular no constituye, en sí misma, un índice de contracción activa sino que puede traducir que el segmento se mueve de forma pasiva por arrastre de

los segmentos adyacentes. Sin embargo, y aunque la cardio-RM probablemente tenga un papel en la selección de pacientes para TRC, los autores no valoran el lugar óptimo de estimulación como un determinante importante en la respuesta clínica a la terapia.

Con el empleo de la cardio-RM, se están investigando nuevos índices de asincronía ventricular en la práctica clínica. Los datos del movimiento radial de los segmentos del VI en eje corto estudiados mediante cardio-RM se emplean para construir un mapa polar de sincronía ventricular y, a partir de éste, se obtiene el índice de sincronía (IST-cardio-RM)¹⁴⁷. Este índice se ha analizado en pacientes con IC, en los que se han comparado los que tienen un QRS > o < 120 ms, y éstos, a su vez, con voluntarios sanos. Obviamente, el índice de asincronía es mayor en el grupo de IC y complejo QRS ancho. Muy interesante es el hecho de que el IST-cardio-RM > 110 ms identifica a pacientes cuya extrema asincronía y disfunción VI los convierte en no respondedores a TRC y constituye un predictor de eventos mayores (muerte, hospitalización).

TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA CARDIACA

En los últimos años, el rápido desarrollo tecnológico de la cardio-TC ha conseguido un aumento de velocidad de rotación del *gantry* y la obtención de cortes submilimétricos (menores de 0,75 mm), con lo que ha mejorado la resolución temporal y espacial, con tiempos de adquisición que pueden ser obtenidos en una única apnea.

La utilidad clínica de la cardio-TC está centrada, hoy día, en el estudio de las arterias coronarias. La principal aplicación y la más validada ha sido la estimación de la carga de placa aterosclerótica y del riesgo coronario a través de la detección del calcio coronario. Sin embargo, el máximo interés de la cardio-TC reside actualmente en la evaluación del luminograma coronario, que permite obtener una angiografía coronaria de manera no invasiva.

En 2006, la American Heart Association (AHA) establece el grado de recomendación y el nivel de evidencia de las diferentes aplicaciones clínicas de la cardio-TC¹⁴⁸, algunas de las cuales se mencionan en este documento.

Aterosclerosis coronaria

Calcificación coronaria. Score de calcio

La calcificación de las arterias coronarias (CAC) es un marcador de aterosclerosis y se correlaciona de forma moderada con la carga total de placa, pero sólo débilmente con el grado de severidad de las estenosis coronarias, es decir, su detección implica aterosclerosis, no obstrucción.

La valoración del calcio mediante cardio-TC no precisa contraste ni premedicación, y la dosis de radiación necesaria es pequeña. En estudios histológicos se ha demostrado que valores de atenuación > 130 unidades Hounsfield (UH) se correlacionan con placas calcificadas. Su cuantificación se realiza con la obtención de una puntuación o *score*, el más conocido de los cuales es el de Agatston¹⁴⁹.

Aplicaciones clínicas. La CAC ha demostrado ser un predictor independiente de eventos coronarios como infarto de miocardio o muerte de causa cardíaca^{150,151}. En un estudio reciente de 25.253 pacientes, el *score* de calcio predice mortalidad por todas las causas más adecuadamente que los factores de riesgo coronario¹⁵². Supondría, por tanto, una información añadida a los factores de riesgo coronario convencionales. La determinación del calcio es de escasa utilidad en pacientes con riesgo bajo de cardiopatía isquémica (riesgo < 10% en 10 años). En pacientes de alto riesgo o diabetes (riesgo > 20% en 10 años), el tratamiento de los factores de riesgo es lo más importante, con independencia del *score* de calcio (recomendación de clase III, nivel de evidencia B según la AHA). Sin embargo, la medida del CAC es una opción en los pacientes con riesgo intermedio de eventos coronarios basado en los factores de riesgo tradicionales (riesgo del 10-20% a 10 años). Estos pacientes asintomáticos con factores de riesgo podrían ser los más beneficiados del estudio del calcio para reclasificar su riesgo. Así, un paciente con riesgo intermedio y un *score* de calcio > 300 tiene un riesgo 4 veces superior al que posee un *score* de 0 y se convierte en un paciente de alto riesgo. Un *score* de calcio elevado facilitaría una selección de pacientes para terapias hipolipemiantes más agresivas (recomendación de clase IIb, nivel de evidencia B).

Se ha especulado que el seguimiento de la aterosclerosis podría ser una posible aplicación de la cardio-TC. Así, la capacidad teórica de las estatinas para enlentecer o revertir la calcificación coronaria ofrece resultados contradictorios y, mientras en algunos pequeños estudios observacionales las estatinas parecen enlentecer la progresión del CAC, en un estudio reciente aleatorizado se demostró que una combinación de atorvastatina 20 mg, vitaminas C y E no tenía efecto alguno en la progresión de la CAC¹⁵³. Por tanto, el seguimiento seriado de la progresión de la aterosclerosis mediante la determinación de la calcificación coronaria con cardio-TC no está indicado hoy día (recomendación de clase III, nivel evidencia B).

Debe quedar claro que la presencia de CAC permite detectar aterosclerosis subclínica y no lesiones severas, por lo que no se recomienda la medida del CAC en pacientes asintomáticos para determinar la presencia de lesiones obstructivas, con vistas a una revascularización (recomendación de clase III, nivel evidencia C).

Por el contrario, la ausencia de calcio coronario excluye la presencia de lesiones coronarias obstructivas con un alto valor predictivo negativo (96-100%). Por ello, en pacientes sintomáticos con baja probabilidad de cardiopatía isquémica o con pruebas funcionales de detección de isquemia dudosas sería razonable la valoración del CAC, ya que su ausencia excluye cardiopatía isquémica (recomendación de clase IIb, nivel de evidencia B). Sin embargo, hay que ser cauteloso, especialmente en individuos menores de 40 años, en los que puede haber enfermedad coronaria sin calcio detectable¹⁵⁴.

La detección del CAC mediante cardio-TC puede considerarse también en el estudio etiológico de la miocardiopatía (recomendación de clase IIb, nivel de evidencia B). La utilidad potencial del cardio-TC para diferenciar la miocardiopatía isquémica (*scores* de CAC altos) de la no isquémica (*scores* bajos) reside en su buena precisión diagnóstica¹⁵⁵.

Otra potencial aplicación es la selección en unidades de dolor torácico, en pacientes con ECG no diagnóstico y marcadores cardíacos negativos (recomendación de clase IIb, nivel de evidencia B). Puede ser útil en estos pacientes, sobre todo si el *score* de calcio es 0, ya que pueden ser dados de alta precozmente, con un riesgo muy bajo de posteriores eventos¹⁵⁶.

A pesar de todas estas posibles aplicaciones, es importante constatar que el auge de la coronariografía no invasiva mediante cardio-TC en los últimos 2 años ha determinado una disminución del estudio aislado del CAC.

Caracterización de la placa

La cardio-TC permite no sólo la detección de las placas ateroscleróticas, sino su caracterización en placas calcificadas y no calcificadas. Las no calcificadas, ricas en lípidos, son las más inestables y vulnerables a la rotura, y son las causantes de la mayor parte de los síndromes coronarios agudos. Las características de las placas pueden ser estudiadas mediante cardio-TC, aspecto que la coronariografía convencional no consigue, aunque sí la ecografía endovascular (IVUS).

La caracterización de las placas mediante cardio-TC podría identificar la lesión causante e inestable en pacientes con dolor torácico¹⁵⁷. Actualmente se desconoce si la presencia de placas no calcificadas aporta información pronóstica añadida a los factores de riesgo o a la presencia de placas calcificadas, por lo que no es motivo de estudio mediante cardio-TC (recomendación de clase III, nivel de evidencia C).

Angiografía coronaria

Estenosis de las arterias coronarias

La evaluación no invasiva de las arterias coronarias ha sido posible gracias a la tecnología multidetector

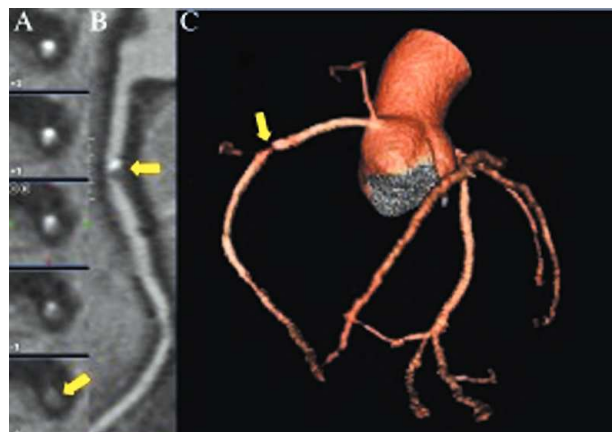


Fig. 6. Cortes secuenciales axiales (A), reconstrucción multiplanar (B) y reconstrucción volumétrica tridimensional (C) de una coronaria de- recha con una placa aterosclerótica mixta que condiciona una estenosis luminal severa (flechas).

(cardio-TCMD) (fig. 6). En un estudio prospectivo y multicéntrico realizado en 2004-2005, la cardio-TCMD de 16 cortes (cardio-TCMD-16) mostró una sensibilidad y una especificidad por paciente del 98 y el 54%, respectivamente. En estudios recientes con cardio-TCMD-64 se obtiene una sensibilidad del 95-100% en el análisis por paciente y del 93-99% en el estudio por segmentos, con una especificidad media del 92% por paciente y del 96% por segmentos. Estos estudios incluyen todo el árbol coronario, incluso segmentos con diámetros menores de 1,5-2 mm, habitualmente excluidos en los estudios con 16 cortes¹⁵⁸⁻¹⁵⁹.

Aplicaciones clínicas. Todos los estudios con escáneres de última generación coinciden en su alto valor predictivo negativo (VPN) del 98-99% para excluir estenosis coronarias significativas¹⁶⁰⁻¹⁶¹. De ahí que el escenario clínico para su aplicación más interesante sea el de los pacientes con baja probabilidad pre-test de enfermedad coronaria.

En la evaluación del dolor torácico en urgencias, la cardio-TC puede ser utilizada para estudiar simultáneamente enfermedad coronaria, disección aórtica y embolismo pulmonar (triple *rule-out*). Sin embargo, la probabilidad pretest de embolismo o disección en un dolor torácico es baja, y el número de falsos positivos puede superar al de verdaderos positivos. Además, con este protocolo coronarias-pulmón-aorta se precisa una radiación considerablemente mayor que para el estudio coronario aislado. En lo referente al estudio exclusivamente coronario y no invasivo en urgencias, Goldstein et al¹⁶² aleatorizan a los pacientes a la realización de cardio-TCMD precoz o a un protocolo convencional. Entre los pacientes aleatorizados a cardio-TCMD, en el 75% se tomó una decisión basada en el resultado del escáner (en el 67%, alta precoz por normalidad o lesiones < 25%, y en el 8%, realización de

cateterismo por lesiones $\geq 50\%$). El tiempo invertido hasta el diagnóstico definitivo fue menor en el grupo estudiado mediante cardio-TCMD.

Se estudia también su capacidad de excluir enfermedad coronaria en los pacientes que van a ser intervenidos de cirugía valvular. En 4 estudios recientes sobre un total de 205 pacientes, la sensibilidad fue del 81-100%, la especificidad del 80-92% y el VPN del 98-100%¹⁶³⁻¹⁶⁶.

La coronariografía no invasiva podría extenderse como valoración preoperatoria previa a cirugía aórtica, carotídea o cirugía mayor abdominal.

Otras aplicaciones son la detección de coronariopatía en pacientes con bloqueo de rama izquierda¹⁶⁷ o intervenidos de trasplante cardíaco¹⁶⁸.

Es importante resaltar que, entre las indicaciones apropiadas, no se incluye la cardio-TCMD como test de cribado de enfermedad coronaria en pacientes asintomáticos.

Valoración de los injertos aortocoronarios: permeabilidad y estenosis

La valoración de los injertos aortocoronarios (IAC) resulta más fácil que la de arterias coronarias nativas, por su mayor tamaño y menor movimiento. En general, los clips vasculares de los puentes arteriales de mamaria interna producen artefactos que no interfieren en la valoración de la permeabilidad, pero sí de las estenosis de los puentes, aunque menos con cardio-TCMD-64. La cardio-TC puede ser mejor en la valoración de la permeabilidad que el cateterismo, que en ocasiones no consigue cateterizar el IAC y lo da como ocluido. La sensibilidad en la detección de permeabilidad es alta ya con cardio-TCMD-4 (97-98%), con una sensibilidad del 100% y una especificidad de 99% en el caso del cardio-TCMD-16. En estudios recientes con cardio-TCMD-64 se ha encontrado una sensibilidad en la detección de oclusión o estenosis de los injertos del 97-98% y una especificidad del 89-97%, comparado con la coronariografía^{169,170}.

En un paciente operado, la dificultad estriba en valorar, además, los lechos nativos, con arterias pequeñas y calcificadas de difícil interpretación. En un estudio de 50 pacientes se comparó la cardio-TCMD-64 con la coronariografía para evaluar tanto los injertos como la circulación nativa. Todos los injertos fueron correctamente clasificados como permeables u ocluidos. La sensibilidad y la especificidad para la detección de estenosis de los IAC fueron del 100 y el 94%, respectivamente. En cuanto a la circulación nativa, en 17 pacientes al menos un segmento fue no valorable, pero fue catalogado como estenótico por precisar valoración invasiva. La sensibilidad y la especificidad de la cardio-TC en las arterias nativas fueron del 97 y el 86%, respectivamente¹⁷¹.

La indicación establecida por la AHA de seguimiento con cardio-TC tras cirugía coronaria es una recomendación de grado IIb, nivel de evidencia C.

Stents coronarios

La incidencia de reestenosis intra-stent por hiperplasia intimal es del 20-30%. Su seguimiento es fundamental y sería ideal disponer de una técnica no invasiva que obvie, en la mayor medida posible, la coronariografía invasiva. Sin embargo, los *struts* metálicos de los *stents* producen artefactos (*blooming*) y el falso estrechamiento luminal producido por el propio *stent* dificulta la estimación de la luz coronaria verdadera. Cuanto más radioluciente y mayor sea su diámetro (3,5- 4 mm), más evaluable será, ya que si el *stent* es < 3 mm, la reestenosis es más difícilmente valorable.

De manera muy reciente, Cademartiri et al¹⁷² documentan una sensibilidad, una especificidad, un VPP y un VPN para identificar reestenosis intra-stent del 95, el 93, el 63 y el 99%, respectivamente, con cardio-TCMD-64. A pesar de los avances conseguidos, y con la información disponible, no puede recomendarse el seguimiento de los *stents* mediante cardio-TCMD (recomendación de grado III, nivel evidencia C).

Anomalías de las arterias coronarias

Los pacientes con anomalías de las arterias coronarias tienen riesgo de muerte súbita cuando el segmento proximal de una coronaria anómala pasa entre la aorta y la arteria pulmonar. El trayecto anómalo puede ser visualizado mediante cardio-TC con gran exactitud y mayor precisión que mediante cateterismo¹⁷³. El estudio de anomalías coronarias mediante cardio-TC es una recomendación de grado IIa de la AHA, nivel evidencia C.

Otras aplicaciones

Electrofisiología

La cardio-TC permite definir la anatomía del sistema venoso coronario y sus variaciones^{174,175}, lo que es importante en la TRC. Sin embargo, la repercusión de esta información en la sistemática del procedimiento no ha sido establecida. Teóricamente, el conocimiento previo de la anatomía venosa ayudaría al implante, ya que acortaría el procedimiento, reduciría el contraste y la radiación necesarios, y facilitaría la colocación exitosa del electrodo.

Otra aplicación es la visualización de la AI y las anomalías individuales de las venas pulmonares mediante cardio-TC previa a la ablación de la fibrilación auricular. Puede ser útil, al acortar y aumentar el éxito del procedimiento¹⁷⁶.

Valvulopatías

Por cardio-TC puede estudiarse la imagen dinámica de apertura y cierre de las válvulas mitral y aórtica, pero no es posible el análisis de los flujos ni gradientes. Por tanto, no hay en este momento ninguna indicación para su aplicación en este tema.

Enfermedad miocárdica

Como se ha mencionado, la cardio-TC es una técnica raramente empleada en el estudio de la morfología cardíaca. El estudio de la perfusión miocárdica mediante tomografía con contraste, técnicas de primer paso y empleo de vasodilatadores coronarios es factible, pero se encuentra en fases iniciales de investigación¹⁷⁷.

En estudios preclínicos se explora la detección de zonas necróticas mediante «realce tardío» (captación de contraste en áreas de infarto) de manera similar a la CRM con gadolinio, pero utilizando TC y contraste yodado¹⁷⁸⁻¹⁸⁰.

Exposición a la radiación

En comparación con una coronariografía convencional (radiación media de 2-5 mSv), la radiación de la cardio-TC es mayor¹⁸¹. La mayor resolución del cardio-TCMD-64 se asocia con mayor radiación (dosis de 11 frente a 6,4 mSv en la cardio-TCMD-16). Con la modulación de dosis dependiente del ECG se consigue disminuir la dosis de radiación sin perjudicar la calidad de imagen un 37%, y hasta un 64% cuando se combina con la reducción del voltaje del tubo¹⁸².

Perspectivas tecnológicas

Recientemente se ha diseñado un sistema híbrido que permite valorar de manera integrada la información anatómica de las estenosis coronarias mediante cardio-TC y su repercusión funcional mediante SPECT, todo ello de manera no invasiva y en una única sesión¹⁸³. Otro sistema innovador es el que integra coronariografía no invasiva con cardio-TC y estudio funcional con la tomografía por emisión de positrones¹⁸⁴.

La posibilidad de diagnosticar o excluir enfermedad coronaria de manera incruenta mediante cardio-TC es muy atractiva. Sin embargo, es esencial establecer cuáles son sus indicaciones para utilizarla de manera responsable. Es necesario conocer, además, si la información proporcionada por la cardio-TC modificará el tratamiento clínico de los pacientes y si esto mejorará su pronóstico, es decir, si la aplicación racional de esta nueva tecnología supondrá un beneficio real para nuestros enfermos.

BIBLIOGRAFÍA

- Pearlman AS, Ryan T, Picard MH, Douglas PS. Evolving trends in the use of echocardiography. *J Am Coll Cardiol.* 2007;49:2283-91.
- Chaowalit N, Arruda AL, McCully RB, Bailey KR, Pellikka PA. Dobutamine stress echocardiography in patients with diabetes mellitus. Enhanced prognostic prediction using a simple risk score. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47:1029-36.
- Nucifora G, Badano LP, Sarraf-Zadegan N, Karavidas A, Trocino G, Scaffidi G, et al. Comparison of early dobutamine stress echocardiography and exercise electrocardiographic testing for management of patients presenting to the emergency department with chest pain. *Am J Cardiol.* 2007;100:1068-73.
- Alonso-Gómez A, Bello MC, Fernandez MA, Torres A, Alfageme M, Aizpuru F, et al. Ecocardiografía de estrés en la detección de enfermedad de la arteria descendente anterior en pacientes con infarto de miocardio inferior y test de esfuerzo positivo. *Rev Esp Cardiol.* 2006;59:545-52.
- Pellikka PA, Nagueh SF, Elhendy AA, Kuehl CA, Sawada SG. American Society of Echocardiography recommendations for performance, interpretation and application of stress echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2007;20:1021-41.
- Hoffmann R, Von Bardeleben S, Kasprzac JD, Borges AC, Ten Cate F, Firschke C, et al. Analysis of regional left ventricular function by cineventriculography, cardiac magnetic resonance imaging, and unenhanced and contrast-enhanced echocardiography. A multicenter comparison of methods. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47:121-8.
- Jeetley P, Hickman M, Kamp O, Lang RM, Thomas LD, Vannan MA, et al. Myocardial contrast echocardiography for the detection of coronary artery stenosis. A prospective multicenter study in comparison with single-photon emission computed tomography. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47:141-5.
- Dwivedi G, Janardhanan R, Hayat SA, Swinburn JM, Senior R. Prognostic value of myocardial viability detected by myocardial contrast echocardiography early after acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol.* 2007;50:327-34.
- American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. Society of Cardiovascular Anesthesiologists. Society for Cardiovascular Angiography and Interventions. Society of Thoracic Surgeons. Bonow RO, Carabello BA, Kanu C, de Leon AC, Faxon DP, Freed MD, et al. ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (writing committee to revise the 1998 Guidelines for the Management of Patients With Valvular Heart Disease): developed in collaboration with the Society of Cardiovascular Anesthesiologists; endorsed by the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions and the Society of Thoracic Surgeons. *Circulation.* 2006;114:e84-231.
- Vahanian A, Baumgartner H, Bax J, Butchart E, Dion R, Filippatos G, et al. Guía de práctica clínica sobre el tratamiento de las valvulopatías. *Rev Esp Cardiol.* 2007;60:625.e1-50.
- Danicek V, Sagie A, Vaturi M, Weisenberg DE, Rot G, Shapira Y. Relation of tricuspid inflow E-wave peak velocity to severity of tricuspid regurgitation. *Am J Cardiol.* 2006;98:399-401.
- Kim HK, Kim YJ, Park JS, Kim KH, Kim KB, Ahn H, et al. Determinants of the severity of functional tricuspid regurgitation. *Am J Cardiol.* 2006;98:236-42.
- Hachicha Z, Dumesnil JG, Bogaty P, Pibarot P. Paradoxical low-flow, low-gradient severe aortic stenosis despite preserved ejection fraction is associated with higher afterload and reduced survival. *Circulation.* 2007;115:2856-64.
- Quere JP, Monin JL, Levy F, Petit H, Baleynaud S, Chauvel C, et al. Influence of preoperative left ventricular contractile reserve on postoperative ejection fraction in low-gradient aortic stenosis. *Circulation.* 2006;113:1738-44.

15. Mohty D, Malouf JF, Girard SE, Schaff HV, Grill DE, Enriquez-Sarano ME, et al. Impact of prosthesis-patient mismatch on long-term survival in patients with small St Jude Medical mechanical prostheses in the aortic position. *Circulation*. 2006;113:420-6.
16. Tasca G, Mhagna Z, Perotti S, Centurini PB, Sabatini T, Amaducci A, et al. Impact of prosthesis-patient mismatch on cardiac events and midterm mortality after aortic valve replacement in patients with pure aortic stenosis. *Circulation*. 2006;113:570-6.
17. Paulus WJ, Tschope C, Sanderson JE, Rusconi C, Flachskampf FA, Rademakers FE, et al. How to diagnose diastolic heart failure: a consensus statement on the diagnosis of heart failure with normal left ventricular ejection fraction by the Heart Failure and Echocardiography Associations of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J*. 2007;28:2539-50.
18. Bhatia RS, Tu JV, Lee DS, Austin PC, Fang J, Haouzi A, et al. Outcome of heart failure with preserved ejection fraction in a population-based study. *N Engl J Med*. 2006;355:260-9.
19. Owan TE, Hodge DO, Herges RM, Jacobsen SJ, Roger VL, Redfield MM. Trends in prevalence and outcome of heart failure with preserved ejection fraction. *N Engl J Med*. 2006;355:251-9.
20. Liang HY, Cauduro SA, Pellikka PA, Bailey KR, Grossardt BR, Yang EH, et al. Comparison of usefulness of echocardiographic Doppler variables to left ventricular end-diastolic pressure in predicting future heart failure events. *Am J Cardiol*. 2006;97:866-71.
21. Dal-Bianco J, Redfield MM, Bell MR, Oh JK. Brain natriuretic peptide and left ventricular function in patients presenting with first time acute cardiogenic pulmonary edema [abstract]. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006;19:607.
22. Burjonrappa SC, Tong AT, Xiao LC, Johnson MM, Yusuf SW, Lenihan DJ. Cancer patients with markedly elevated B-type natriuretic peptide may not have volume overload. *Am J Clin Oncol*. 2007;30:287-93.
23. Penafiel HP, Wong RCC, Yeo TC. Left atrial volume is an independent predictor of exercise capacity in patients with isolated diastolic dysfunction [abstract]. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006;19:614.
24. Pitzalis MV, Iacoviello M, Romito R, Massari F, Rizzon B, Luzzi G, et al. Cardiac resynchronization therapy tailored by echocardiography evaluation of ventricular asynchrony. *J Am Coll Cardiol*. 2002;40:1615-22.
25. Díaz-Infante E, Sitges M, Vidal B, Mont L, Delgado V, Marigliano A, et al. usefulness of ventricular dyssynchrony measured using m-Mode echocardiography to predict response to resynchronization therapy. *Am J Cardiol*. 2007;100:84-9.
26. Vidal B, Sitges M, Marigliano A, Delgado V, Díaz-Infante E, Azqueta M, et al. Optimizing the programming of cardiac resynchronization therapy devices in patients with heart failure and left bundle branch block. *Am J Cardiol*. 2007;100:1002-6.
27. King D, Thompson SL, Steiner C, Mills NL. Secundum atrial septal defect. nonoperative closure during cardiac catheterization. *JAMA*. 1976;235:2506-9.
28. Schwerzmann M, Salehian O. Hazards of percutaneous PFO closure. *Eur J Echocardiography*. 2005;6:393-5.
29. Ortega Trujillo JR, Suárez de Lezo Herreros de Tejada J, García Quintana A, Melián Nuez F, Rodríguez Delgado R, et al. Transcatheter closure of patent foramen ovale in patients with platypnea-orthodoxia. *Rev Esp Cardiol*. 2006;59:78-81.
30. Guerin P, Lambert V, Godart F, Legendre A, Petit J, Bourlon F, et al. Transcatheter closure of patent foramen ovale in patients with platypnea-orthodoxia: results of a Multicentric French Registry. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2005;28:164-8.
31. Christen T, Mach F, Didier D, Kalangos A, Verin V, Trindade PT. Late cardiac tamponade after percutaneous closure of a patent foramen ovale. *Eur J Echocardiography*. 2005;6:465-9.
32. Khairy P, O'Donnell CP, Landzberg MJ. Transcatheter closure versus medical therapy of patent foramen ovale and presumed paradoxical thromboemboli: a systematic review. *Ann Intern Med*. 2003;139:753-60.
33. Varma C, Benson LN, Warr MR, Yeo E, Yip J, Jaigobin CS, et al. Clinical outcomes of patent foramen ovale closure for paradoxical emboli without echocardiographic guidance. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2004;6:519-25.
34. Braun M, Glicch V, Boscheri A, Schoen S, Gahn G, Reichmann H, et al. Transcatheter closure of patent foramen ovale (PFO) in patients with paradoxical embolism: periprocedural safety and mid-term follow-up results of three different device occluder systems. *Eur Heart J*. 2004;25:424-30.
35. Meissner I, Khandheria BK, Heit JA, Petty GW, Sheps SG, Schwartz GL, et al. Patent foramen ovale: innocent or guilty? Evidence from a prospective population-based study. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47:440-5.
36. Di Tullio MR, Sacco RL, Sciacca RR, Jin Z, Homma S. Patent foramen ovale and the risk of ischemic stroke in a multiethnic population. *J Am Coll Cardiol*. 2007;49:797-802.
37. Tsai TT, Evangelista A, Nienaber CA, Myrmel T, Meinhardt G, Cooper JV, et al. for the International Registry of Acute Aortic Dissection Partial Thrombosis of the False Lumen in Patients with Acute Type B Aortic Dissection. *N Engl J Med*. 2007;357:349-59.
38. Bossone E, Evangelista A, Isselbacher E, Trimarchi S, Hutchison S, Gilon D, et al. on behalf of the International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD) Investigators. Prognostic role of transesophageal echocardiography in acute type A aortic dissection. *Am Heart J*. 2007;153:101-220.
39. Lee YK, Seo JB, Jang YM, Do KH, Kim SS, Lee JS, et al. Acute and chronic complications of aortic intramural hematoma on follow-up computed tomography: incidence and predictor analysis. *J Comput Assist Tomogr*. 2007;31:435.
40. La Canna G, Ficarra E, Tsagalau E, Nardo M, Morandini A, Chieffo A, et al. Progression rate of ascending aortic dilation in patients with normally functioning bicuspid and tricuspid aortic valves. *Am J Cardiol*. 2006;98:249-53.
41. Davies RR, Kaple RK, Mandapati D, Gallo A, Botta DM Jr, Elefteriades JA, et al. Natural history of ascending aortic aneurysms in the setting of an unreplaced bicuspid aortic valve. *Ann Thorac Surg*. 2007;83:1338-44.
42. Della Corte A, De Santo LS, Montagnani S, Quarto C, Romano G, Amarelli C, et al. Spatial patterns of matrix protein expression in dilated ascending aorta with aortic regurgitation: congenital bicuspid valve versus Marfan's syndrome. *J Heart Valve Dis*. 2006;15:20-7.
43. Beique F, Ali M, Hynes M, Mackenzie S, Denault A, Martineau A, et al. Cardiovascular Section of the Canadian Anesthesiologists' Society; Canadian Society of Echocardiography. Canadian guidelines for training in adult perioperative transesophageal echocardiography. Recommendations of the Cardiovascular Section of the Canadian Anesthesiologists' Society and the Canadian Society of Echocardiography. *Can J Cardiol*. 2006;22:1015-27.
44. Mathew JP, Glas K, Troianos CA, Sears-Rogan P, Savage R, Shanewise J, et al. Council for Intraoperative Echocardiography of the American Society of Echocardiography. ASE/SCA recommendations and guidelines for continuous quality improvement in perioperative echocardiography. *Anesth Analg*. 2006;103:1416-25.
45. Gisbert A, Souliere V, Denault AY, Bouchard D, Couture P, Pellerin M, et al. Dynamic quantitative echocardiographic evaluation of mitral regurgitation in the operating department. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006;19:140-6.
46. Mihalatos DG, Gopal AS, Kates R, Toole RS, Bercow NS, Lamendola C, et al. Intraoperative assessment of mitral regurgitation: role of phenylephrine challenge. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006;19:1158-64.
47. Kongsarepong V, Shiota M, Gillinov M, Song JM, Fukuda S, McCarthy PM, et al. Echocardiographic predictors of successful versus unsuccessful mitral valve repair in ischemic mitral regurgitation. *Am J Cardiol*. 2006;98:504-8.

48. Magne J, Pibarot P, Dagenais F, Hachicha Z, Dumesnil JG, Sennechal M. Preoperative posterior leaflet angle accurately predicts outcome after restrictive mitral valve annuloplasty for ischemic mitral regurgitation. *Circulation*. 2007;115:782-91.
49. Gillham M, Diprose P, Ambler J. A comparison of the degree of residual mitral regurgitation by intraoperative echocardiography and follow-up transthoracic echocardiography following mitral valvuloplasty. *Anaesth Intensive Care*. 2007;35:194-8.
50. Brown ML, Abel MD, Click RL, Morford RG, Dearani JA, Sundt TM, et al. Systolic anterior motion after mitral valve repair: Is surgical intervention necessary? *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2007;133:136-43.
51. Serri K, Bouchard D, Demers P, Coutu M, Pellerin M, Carrier M, et al. Is a good perioperative echocardiographic result predictive of durability in ischemic mitral valve repair? *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2006;131:565-73.
52. Rigatelli G, Cardaioli P, Braggion G, Aggio S, Giordan M, Magro B, et al. Transesophageal echocardiography and intracardiac echocardiography differently predict potential technical challenges or failures of interatrial shunts catheter-based closure. *J Interv Cardiol*. 2007;20:77-81.
53. Unver S, Karadeniz U, Yamak B, Catav Z, Erdemli O. Utility of intraoperative transesophageal echocardiography in an atrial septal defect operation. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2006;20:90-3.
54. Cohen GA, Stevenson JG. Intraoperative echocardiography for atrioventricular canal: decision-making for surgeons. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Ann*. 2007;10:47-50.
55. Kühn A, Schreiber C, Vogt MO. Epicardial echocardiography during implantation of a novel injectable pulmonary valve. *Int J Cardiol*. 2006;113:e115-6.
56. Scohy TV, Gommers D, Jan Ten Harkel AD, Deryck Y, McGhie J, et al. Intraoperative evaluation of micromultiplane transesophageal echocardiographic probe in surgery for congenital heart disease. *Eur J Echocardiogr*. 2007;8:241-6.
57. Cabrera Schulmeyer MC, Delgado Saavedra P, De la Maza Calvert JC, Vega Sepúlveda R, Santelices Cuevas E, Allamand F, et al. Utilidad de la ecocardiografía transesofágica intraoperatoria durante revascularización miocárdica sin circulación extracorpórea. *Rev Esp Anestesiol Reanim*. 2006;53:25-30.
58. Gurbuz AT, Hecht ML, Arslan AH. Intraoperative transesophageal echocardiography modifies strategy in off-pump coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg*. 2007;83:1035-40.
59. Grossi EA, Crooke GA, DiGiorgi PL, Schwartz CF, Jorde U, Applebaum RM, et al. Impact of moderate functional mitral insufficiency in patients undergoing surgical revascularization. *Circulation*. 2006;114 Suppl:1573-6.
60. De Castro S, Salandin V, Cavarretta E, Salvador L, Valfre C, Caselli S, et al. Epicardial real-time three-dimensional echocardiography in cardiac surgery: a preliminary experience. *Ann Thorac Surg*. 2006;82:2254-9.
61. Pedone C, Biagini E, Galema TW, Vletter WB, Ten Cate FJ. Myocardial perfusion after percutaneous transluminal septal myocardial ablation as assessed by myocardial contrast echocardiography in patients with hypertrophic obstructive cardiomyopathy. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006;19:982-6.
62. Alfonso F, Martin D, Fernandez-Vazquez F. Intracardiac echocardiography guidance for alcohol septal ablation in hypertrophic obstructive cardiomyopathy. *J Invasive Cardiol*. 2007;19:E134-6.
63. Nikitin NP, Loh PH, Silva R, et al. Prognostic value of systolic annular velocity measured with Doppler tissue imaging in patients with chronic heart failure caused by left ventricular systolic dysfunction. *Heart*. 2006;92:775-9.
64. Wang M, Yip GW, Wang AY, Zhang MY, Ho PY, Tse MK, et al. Tissue Doppler imaging provides incremental prognostic value in patients with systemic hypertension and left ventricular hypertrophy. *J Hypertens*. 2005;23:183-91.
65. Wang M, Yip GW, Wang AY, Zhang MY, Ho PY, Tse MK, et al. Peak early diastolic annulus velocity by tissue Doppler imaging adds independent and incremental prognostic value. *J Am Coll Cardiol*. 2003;41:820-6.
66. Dokainish H, Zoghbi WA, Lakkis NM, Ambriz E, Patel R, Quinones MA, et al. Incremental predictive power of B-type natriuretic peptide and tissue Doppler echocardiography in the prognosis of patients with congestive heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45:1223-6.
67. Wang M, Yip G, Yu CM, Qing Z, Yan Z, Deko T, et al. Independent and incremental prognostic value of early mitral annulus velocity in patients with impaired left ventricular systolic function. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45:272-7.
68. Yu CM, Sanderson JE, Marwick TH, Oh JK. Tissue Doppler imaging a new prognosticator for cardiovascular diseases. *J Am Coll Cardiol*. 2007;49:1903-14.
69. Weytjens C, Cosyns B, D'hooge J, Gallez C, Droogmans S, Lahoute T, et al. Doppler myocardial imaging in adult male rats: reference values and reproducibility of velocity and deformation parameters. *Eur J Echocardiogr*. 2006;7:411-7.
70. Ledesma-Carbayo MJ, Mahia-Casado P, Santos A, Perez-David E, Garcia-Fernandez MA, Desco M. Cardiac motion analysis from ultrasound sequences using nonrigid registration: validation against Doppler tissue velocity. *Ultrasound Med Biol*. 2006;32:483-90.
71. Amundsen BH, Helle-Valle T, Edvardsen T, et al. Noninvasive myocardial strain measurement by speckle tracking echocardiography: validation against sonomicrometry and tagged magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47:789-93.
72. Skulstad H, Urheim S, Edvardsen T, Andersen K, Lyseggen E, Vartdal T, et al. Grading of myocardial dysfunction by tissue doppler echocardiography: a comparison between velocity, displacement, and strain imaging in acute ischemia. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47:1672-82.
73. Ingul CB, Stoylen A, Slordahl SA, Wiseth R, Burgess M, Marwick TH. Automated analysis of myocardial deformation at dobutamine stress echocardiography: an angiographic validation. *J Am Coll Cardiol*. 2007;49:1651-9.
74. Bjork Ingul C, Rozis E, Slordahl SA, Marwick TH. Incremental value of strain rate imaging to wall motion analysis for prediction of outcome in patients undergoing dobutamine stress echocardiography. *Circulation*. 2007;115:1252-9.
75. Weidemann F, Jung P, Hoyer C, Broschei TJ, Voélker W, Ertl G, et al. Assessment of the contractile reserve in patients with intermediate coronary lesions: a strain rate imaging study validated by invasive myocardial fractional flow reserve. *Eur Heart J*. 2007;28:1425-32.
76. Hanekom L, Cho G-Y, Leano R, Jeffries L, Marwick TH. Comparison of two-dimensional speckle and tissue Doppler strain measurement during dobutamine stress echocardiography: an angiographic correlation. *Eur Heart J*. 2007;28:1765-72.
77. Chan J, Hanekom L, Wong C, Leano R, Cho GY, Marwick TH. Differentiation of subendocardial and transmural infarction using two-dimensional strain rate imaging to assess short-axis and long-axis myocardial function. *J Am Coll Cardiol*. 2006;48:2026-33.
78. Becker M, Hoffmann R, Kuhl HP, Grawe H, Katoh M, Kramann R, et al. Analysis of myocardial deformation based on ultrasonic pixel tracking to determine transmural infarction in chronic myocardial infarction. *Eur Heart J*. 2006;27:2560-6.
79. Vartdal T, Brunvand H, Pettersen E, Smith HJ, Lyseggen E, Helle-Valle T, et al. Early prediction of infarct size by strain Doppler echocardiography after coronary reperfusion. *J Am Coll Cardiol*. 2007;49:1715-21.
80. Kim HK, Sohn DW, Lee SE, Choi SY, Park JS, Kim YJ, et al. Assessment of left ventricular rotation and torsion with two-dimensional speckle tracking echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2007;20:45-53.
81. Takeuchi M, Nishikage T, Nakai H, Kokumai M, Otani S, Lang RM. The assessment of left ventricular twist in anterior wall myocardial infarction using two-dimensional speckle tracking imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2007;20:36-44.

82. Pirat B, McCulloch ML, Zoghbi WA. Evaluation of global and regional right ventricular systolic function in patients with pulmonary hypertension using a novel speckle tracking method. *Am J Cardiol.* 2006;68:699-704.
83. Borges AC, Knebel F, Eddicks S, Pande AS, Schetke S, Witt C, et al. Right ventricular function assessed by two-dimensional strain and tissue Doppler echocardiography in patients with pulmonary arterial hypertension and effect of vasodilator therapy. *Am J Cardiol.* 2006;98:530-4.
84. Lang R, Mor-Avi V, Sugeng L, Neiman PS, Sahn DJ. Three-dimensional echocardiography: the benefits of the additional dimension. *J Am Coll Cardiol.* 2006;48:2053-69.
85. Hung J, Lang R, Flachskampf F, Shernan SK, McCulloch ML, Adams DB, et al. Three dimensional echocardiography: a review of the current status and future directions. *J Am Soc Echocardiogr.* 2007;20:213-33.
86. Jacobs LS, Salgo IS, Goonewardena S, Weinert L, Coon P, Bardo D, et al. Rapid on line quantification of left ventricular volumes from real time three dimensional echocardiographic data. *Eur Heart J.* 2006;27:460-8.
87. Soliman OI, Krenning BJ, Geleijnse ML, Nemes A, Bosch JG, Van Geuns RJ, et al. Quantification of left ventricular volumes and function in patients with cardiomyopathies by real-time three-dimensional echocardiography: a head-to-head comparison between two different semiautomated endocardial border detection algorithms. *J Am Soc Echocardiogr.* 2007. En prensa.
88. Mor-Avi V, Sugieng L, Weinert L, MacEneany P, Caiani EG, Kolgt R, et al. Fast measurement of left ventricular mass with real-time three-dimensional echocardiography: comparison with magnetic resonance imaging. *Circulation* 2004;110:1814-8.
89. Caiani EG, Corsi C, Sugeng L, MacEneany P, Weinert L, Mor-Avi V, et al. Improved quantification of left ventricular mass based on endocardial and epicardial surface detection with real-time three-dimensional echocardiography. *Heart.* 2006;92:213-9.
90. Nesser HJ, Sugeng L, Corsi C, Weinert L, Niel J, Ebner C, et al. Volumetric analysis of regional left ventricular resonance and clinical utility testing echocardiography: validation by magnetic function with real-time three-dimensional. *Heart.* 2007;93:572-8.
91. Matsumura Y, Hozimi T, Arai K, Sugioka K, Ujino K, Takemoto Y, et al. Non-invasive assessment of myocardial ischaemia using new real time three dimensional dobutamine stress echocardiography: comparison with two-dimensional methods. *Eur Heart J.* 2005;26:1625-32.
92. Takeuchi M, Otani S, Weinert L, Spencer KT, Lang R. Comparison of contrast-enhanced real time live three dimensional dobutamine stress echocardiography with contrast two dimensional echocardiography for detecting stress induced wall motion abnormalities. *J Am Soc Echocardiogr.* 2006;19:294-9.
93. Walimbe V, Garcia M, Lalude O, Thomas J, Shekhar R. Quantitative real-time 3-dimensional stress echocardiography: a preliminary investigation of feasibility and effectiveness. *J Am Soc Echocardiogr.* 2007;20:13-22.
94. Nemes A, Geleijnse ML, Krenning BJ, Soliman OI, Anwar AM, Vletter WB, et al. Usefulness of Ultrasound Contrast Agent to Improve Image Quality During Real-Time Three-dimensional stress echocardiography. *Am J Cardiol.* 2007;99:275-8.
95. Corsi C, Coon P, Goonewardena S, Weinert L, Sugeng L, Polosi T, et al. Quantification of regional left ventricular wall motion from real time three dimensional echocardiography in patients with poor acoustic windows: effects of contrast enhancement tested against cardiac magnetic resonance. *J Am Soc Echocardiogr.* 2006;19:886-93.
96. Toledo E, Lang R, Collins K, Lammert G, Williams U, Weinert L, et al. Imaging and quantification of myocardial perfusion using real time three dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47:146-54.
97. Sugeng L, Coon P, Weinert L, Jolly N, Lammert G, Bednarz J, et al. Use of real time three dimensional transthoracic echocardiography in the evaluation of the mitral valve disease. *J Am Soc Echocardiogr.* 2006;19:413-20.
98. Garcia Orta R, Moreno E, Vidal M, Ruiz Lopez F, Oyonarte JM, Lara J, et al. Three-dimensional versus two-dimensional transesophageal echocardiography in mitral valve repair. *J Am Soc Echocardiogr.* 2007;20:4-12.
99. Pepi M, Tamborini G, Maltagliati A, Galli CA, Sisillo E, Salvi L, et al. Head-to-head comparison of two and three-dimensional transthoracic and transesophageal echocardiography in the localization of mitral valve prolapse. *J Am Coll Cardiol.* 2006;48:2524-30.
100. Mihalatos DG, Joseph S, Gopal A, Bercow N, Toole R, Passick M, et al. Mitral annular remodeling with varying degrees and mechanisms of chronic mitral regurgitation. *J Am Soc Echocardiogr.* 2007;20:397-404.
101. Ryan L, Jackson B, Parish L, Sakamoto H, Plappert T, Sutton MS, et al. Quantification and localization of mitral valve tenting in ischemic mitral regurgitation using real-time three-dimensional echocardiography. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2007;31:839-4.
102. Watanabe N, Ogasawara Y, Yamaura Y, Yamamoto K, Wada N, Kawamoto T, et al. Geometric differences of the mitral valve tenting between anterior and inferior myocardial infarction with significant ischemic mitral regurgitation: quantification by novel software system with transthoracic real time three dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2006;19:71-5.
103. Anwar A, Geleijnse ML, Soliman OI, McGhie JS, Frowijn R, Nemes A, et al. Assessment of normal tricuspid valve in adults by real time three dimensional echocardiography. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2007;23:717-24.
104. Faletra F, De Marquesina U, Bragaato R, De Chiara F. Three dimensional transthoracic echocardiographic images of tricuspid stenosis. *Heart.* 2005;91:499.
105. Park YH, Song JM, Lee EY, Kim YJ, Kang DH, Song JK. Geometric and hemodynamic determinants of functional tricuspid regurgitation: A real-time three-dimensional echocardiography study. *Int J Cardiol.* 2007. En prensa.
106. Sukmawan R, Watanabe N, Ogasawara Y, Yamaura Y, Yamamoto K, Wada N, et al. Geometric changes of tricuspid valve tenting in tricuspid regurgitation secondary to pulmonary hypertension quantified by novel system with transthoracic real-time 3-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2007;20:470-6.
107. Acar P, Abadir S, Roux D, Taktak A, Dulac Y, Glock Y, et al. Ebstein anomaly assessed by real time three dimensional echocardiography. *Ann Thorac Surg.* 2006;82:731-3.
108. Parranon S, Abadir S, Acar P. New insights into the tricuspid valve in Ebstein anomaly using three dimensional echocardiography. *Heart.* 2006;92:1627.
109. Chen FL, Hsiung MC, Nanda N, Hsieh KS, Chih Chou M. Real time three dimensional echocardiography in assessing ventricular septal defect: an echocardiographic-surgical correlative study. *Echocardiograph.* 2006;23:562-8.
110. Mehmood F, Milller AP, Nanda N, Patel V, Singh A, Duncan K, et al. Usefulness of live/real time three dimensional transthoracic echocardiography in characterization of ventricular septal defect in adults. *Echocardiograph.* 2006;23:421-8.
111. Roman KS, Nii M, Golding F, Benson LN, Samllhorn JF. Images in cardiovascular medicine. Real time subcostal 3-dimensional echocardiography for guided percutaneous atrial defect closure. *Circulation.* 2004;109:e320-1.
112. Seliem MA, Fedec A, Cohen MS, Ewing S, Farrell Jr PE, Rychik J, et al. Real-time 3-dimensional echocardiographic imaging of congenital heart disease using matrix-array technology: freehand real-time scanning adds instant morphologic details not well delineated by conventional 2-dimensional imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2006;19:121-9.

113. Takahashi K, Guerra V, Roman KS, Nii M, Redington A, Smallhorn JF. Three-dimensional echocardiography improves the understanding of the mechanisms and site of left atrioventricular valve regurgitation in atrioventricular septal defect. *J Am Soc Echocardiogr.* 2006;19:1502-10.
114. Anwar A, Soliman O, Van den Bosh A, McGhie J, Geleijnse M, Ten Cate F, et al. Assessment of pulmonary valve and right ventricular outflow tract with real time three dimensional echocardiography. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2007;23:167.
115. Hsu JH, Wu JR, Dai ZK, Lee MH. Real time three dimensional echocardiography novel and useful anatomical insights of perimembranous ventricular septal defect. *Int J Cardiol.* 2007; 118:326-31.
116. Van den Bosch AE, Robbers-Visser D, Krenning BJ, Voormolen MM, McGhie JS, Helbing WA, et al. Real-time transthoracic three-dimensional echocardiographic assessment of left ventricular volume and ejection fraction in congenital heart disease. *J Am Soc Echocardiogr.* 2006;19:1-6.
117. Riehle TJ, Mahle WT, Parks WJ, Sallee D, 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.
118. Van den Bosch AE, Robbers-Visser D, Krenning BJ, McGhie JS, Helbing WA, Meijboom FJ, et al. Comparison of real-time three-dimensional echocardiography to magnetic resonance imaging for assessment of left ventricular mass. *Am J Cardiol.* 2006;97:113-7.
119. Gopal AS, Chukwu EO, Iwuchukwu CJ, Katz AS, Toole RS, Schapiro W, et al. Normal values of right ventricular size and function by real-time 3-dimensional echocardiography: comparison with cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2007;20:445-55.
120. Zamorano J, Perez de Isla L, Roque C, Khanderia BJ. The role of echocardiography in the assessment of mechanical dyssynchrony and its importance in predicting response to prognosis after cardiac resynchronization therapy. *J Am Soc Echocardiogr.* 2007;20:91-9.
121. Kapetanakis S, Kearney MT, Siva A, Gall N, Cooklin M, Monaghan MJ. Real-time three-dimensional echocardiography: a novel technique to quantify global left ventricular mechanical dyssynchrony. *Circulation.* 2005;112:992-1000.
122. Burgess MI, Jenkins J, Chan J, Marwick TH. Measurement of left ventricular dyssynchrony in patients with ischaemic cardiomyopathy: a comparison of real-time three-dimensional and tissue doppler echocardiography. *Heart.* 2007;93:1191-6.
123. Yosefy C, Levine RA, Solis J, Vaturi M, Handschumacher MD, Hung J. Proximal flow convergence region as assessed by real-time 3-dimensional echocardiography: challenging the hemispheric assumption. *J Am Soc Echocardiogr.* 2007;20:389-96.
124. Fang L, Hsiung MC, Miller AP, Nanda NC, Yin WH, Young MS, et al. Assessment of aortic regurgitation by live three-dimensional transthoracic echocardiographic measurements of vena contracta area: usefulness and validation. *Echocardiography.* 2005;22:775-81.
125. Anwar AM, Soliman OI, Geleijnse ML, Nemes A, Vletter WB, Ten Cate FJ. Assessment of left atrial volume and function by real-time three-dimensional echocardiography. *Int J Cardiol.* 2008;123:155-61.
126. Pohost GM, Kim RJ, Kramer CM, Maming NJ. Task Force 12: training in advanced cardiovascular imaging (cardiovascular magnetic resonance [CMR]): endorsed by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47:910-4.
127. Hendel RC, Patel MR, Kramer CM, Poom M. ACCF/ ACR / SCCT / SCMR / ASNC / NASCI / SCAI / SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group. *J Am Coll Cardiol.* 2006;48:1475-97.
128. Ingkanisorn WP, Kwong RY, Bohme NS, Geller NH, Rhoads KL, Dyke CK, et al. Prognosis of negative adenosine stressmagnetic resonance in patients presenting to an emergency department with chest pain. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47:1427-32.
129. Klem I, Heitner JF, Shah DJ, Sketch MH, Behar V, Weinsaft J, et al. Improved detection of coronary artery disease by stress perfusion cardiovascular magnetic resonance with the use of delayed-enhancement infarction imaging. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47:1630-8.
130. Cury RC, Cattani CA, Gabure LA, Racy DJ, De Gois JM, Siebest U, et al. Diagnostic performance of stress perfusion and delayed enhancement MR imaging in patients with coronary artery disease. *Radiology.* 2006;240:39-45.
131. Cheng ASH, Pegg TJ, Karamitsos TD, Searle N, Jerosch-Herold M, Choudhury RP, et al. cardiovascular magnetic resonance perfusion imaging at 3-tesla for the detection of coronary artery disease. A comparison with 1.5-Tesla. *J Am Coll Cardiol.* 2007; 49:2440-9.
132. Moon JC, De Arenaza DP, Elkington AG, Taneja AK, John AS, Wang D, et al. The pathologic basis of Q-wave and non-Q-wave myocardial infarction: a cardiovascular magnetic resonance study. *J Am Coll Cardiol.* 2004;44:554-60.
133. Bayes de Luna A, Wagner G, Birnbaum Y, Nikus K, Fiol M, Gorgels A, et al. A new terminology for left ventricular walls and location of myocardial infarction that present Q wave based on the standard cardiac magnetic resonance imaging: a statement for healthcare professionals from a committee appointed by the international society for Holter and noninvasive electrocardiography. *Circulation.* 2006;114:1755.
134. Wagner A, Mahrholdt H, Thomson L, Hager S, Meinhardt G, Kewald W, et al. Effects of time, dose, and inversion time for acute myocardial infarct size measurements based on magnetic resonance imaging-delayed contrast enhancement. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47:2027-33.
135. Tarantini G, Razzolini R, Cacciavillani L, Bilato C. Influence of transmural, infarct size, and severe microvascular obstruction on left ventricular remodeling and function after primary coronary angioplasty. *Am J Cardiol.* 2006;98:1033-40.
136. Perez David E, Mahía P, Garcia Fernandez MA. Síndrome de la cimitarra. Aplicaciones de la angiorresonancia magnética. *Rev Esp Cardiol.* 2006;59:1330.
137. Thomas Oosterhof T, Mulder BJM, Vliegen HW, De Roos A. Cardiovascular magnetic resonance in the follow-up of patients with corrected tetralogy of Fallot: a review. *Am Heart J.* 2006;151:265-72.
138. Babu-Narayan SV, Kilner PJ, Li W, Moon JC, Goktekin O, Daulouros PA, et al. Ventricular fibrosis suggested by cardiovascular magnetic resonance in adults with repaired tetralogy of fallot and its relationship to adverse markers of clinical outcome. *Circulation.* 2006;113:405-13.
139. Babu-Narayan SV, Goktekin O, Moon JC, Broberg CS, Pantely GA, Pennell DJ, et al. Late gadolinium enhancement cardiovascular magnetic resonance of the systemic right ventricle in adults with previous atrial redirection surgery for transposition of the great arteries. *Circulation.* 2005;111:2091-8.
140. Nielsen JC, Powell AJ, Gauvreau K, et al. Magnetic resonance imaging predictors of coarctation severity. *Circulation.* 2005;111:622-8.
141. Ou P, Celermajer DS, Mousseaux E, Giron A, Aggoun Y, Szezepanski I, et al. Vascular remodeling after «successful» repair of coarctation impact of aortic arch geometry. *J Am Coll Cardiol.* 2007;49:883-90.
142. Peters S. Advances in the diagnostic management of arrhythmogenic right ventricular dysplasia-cardiomyopathy. *Int J Cardiol.* 2006;113:4-11.
143. Schulz-Menger J, Wassmuth R, Abdel-Aty H, Siegel I, Franke A, Dietz R, et al. Patterns of myocardial inflammation and scarring in sarcoidosis as assessed by cardiovascular magnetic resonance. *Heart.* 2006;92:399-400.

144. Debl K, Djavidani B, Buchner S, Lipke C, Nitz W, Feuerbach S, et al. Delayed hyperenhancement in magnetic resonance imaging of left ventricular hypertrophy caused by aortic stenosis and hypertrophic cardiomyopathy: visualisation of focal fibrosis. *Heart*. 2006;92:1447-51.
145. De Cobelli F, Pieroni M, Esposito A, Chimenti C, Belloni E, Mellone R, et al. Delayed gadolinium-enhanced cardiac magnetic resonance in patients with chronic myocarditis presenting with heart failure or recurrent arrhythmias. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47:1649-54.
146. Bleeker GB, Kaandorp TAM, Lamb HJ, Boersma E, Steendijk P, De Roos A, et al. Effect of posterolateral scar tissue on clinical and echocardiographic improvement after cardiac resynchronization therapy. *Circulation*. 2006;113:969-76.
147. Chalil S, Stegemann B, Muhyaldeen S, Khadjooi K, Smith REA, Jordan PJ, et al. Intraventricular dyssynchrony predicts mortality and morbidity after cardiac resynchronization therapy a study using cardiovascular magnetic resonance tissue synchronization imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2007;50:243-52.
148. Budoff MJ, Achenbach S, Blumenthal RS, Carr JJ, Goldin JG, Greenland P, et al. American Heart Association Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention; American Heart Association Council on Cardiovascular Radiology and Intervention; American Heart Association Committee on Cardiac Imaging, Council on Clinical Cardiology. Assessment of coronary artery disease by cardiac computed tomography: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, and Committee on Cardiac Imaging, Council on Clinical Cardiology. *Circulation*. 2006;114:1761-91.
149. Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, Zusmer NR, Viamonte M Jr, Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 1990;15:827-32.
150. Greenland P, LaBree L, Azen SP, Doherty TM, Detrano RC. Coronary artery calcium score combined with Framingham score for risk prediction in asymptomatic individuals. *JAMA*. 2004;291:210-5.
151. Mieres JH, Shaw LJ, Arai A, Budoff MJ, Flamm SD, Hundley WG, et al.; Cardiac Imaging Committee, Council on Clinical Cardiology, and the Cardiovascular Imaging and Intervention Committee, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, American Heart Association. Role of noninvasive testing in the clinical evaluation of women with suspected coronary artery disease: Consensus statement from the Cardiac Imaging Committee, Council on Clinical Cardiology, and the Cardiovascular Imaging and Intervention Committee, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, American Heart Association. *Circulation*. 2005;111:682-96.
152. Budoff MJ, Shaw LJ, Liu ST, Weinstein SR, Mosler TP, Tseng PH, et al. Long-term prognosis associated with coronary calcification: observations from a registry of 25,253 patients. *J Am Coll Cardiol*. 2007;49:1860-70.
153. Arad Y, Spadaro LA, Roth M, Newstein D, Guerci AD. Treatment of asymptomatic adults with elevated coronary calcium scores with atorvastatin, vitamin C, and vitamin E: the St. Francis Heart Study randomized clinical trial. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46:166-72.
154. Knez A, Becker A, Leber A, White C, Becker CR, Reiser MF, et al. Relation of coronary calcium scores by electron beam tomography to obstructive disease in 2,115 symptomatic patients. *Am J Cardiol*. 2004;93:1150-2.
155. Budoff MJ, Shaville DM, Lamont DH, Kim HT, Akinwale P, Kennedy JM, et al. Usefulness of electron beam computed tomography scanning for distinguishing ischemic from nonischemic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol*. 1998;32:1173-8.
156. Georgiou D, Budoff MJ, Kaufer E, Kennedy JM, Lu B, Brundage BH. Screening patients with chest pain in the emergency department using electron beam tomography: a follow-up study. *J Am Coll Cardiol*. 2001;38:105-10.
157. Motoyama S, Kondo T, Sarai M, Sugiura A, Harigaya H, Sato T, et al. Multislice computed tomographic characteristics of coronary lesions in acute coronary syndromes. *J Am Coll Cardiol*. 2007;50:319-26.
158. Ropers D, Rixe J, Anders K, Kuttner A, Baum U, Bautz W, et al. Usefulness of multidetector row spiral computed tomography with 64- × 0.6-mm collimation and 330-ms rotation for the noninvasive detection of significant coronary artery stenoses. *Am J Cardiol*. 2006;93:343-8.
159. Fine JJ, Hopkins CB, Ruff N, Newton FC. Comparison of accuracy of 64-slice cardiovascular computed tomography with coronary angiography in patients with suspected coronary artery disease. *Am J Cardiol*. 2006;97:173-4.
160. Leschka S, Alkadhi H, Plass A, Desbiolles L, Grunfelder J, Marincek B, et al. Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience. *Eur Heart J*. 2005;26:1482-7.
161. Leber AW, Knez A, Von Ziegler F, Becker A, Nikolaou K, Paul S, et al. Quantification of obstructive and nonobstructive coronary lesions by 64-slice computed tomography: a comparative study with quantitative coronary angiography and intravascular ultrasound. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46:147-54.
162. Goldstein JA, Gallagher MJ, O'Neill WW, Ross MA, O'Neil BJ, Raff GL. A randomized controlled trial of multi-slice coronary computed tomography for evaluation of acute chest pain. *J Am Coll Cardiol*. 2007;49:863-71.
163. Gilard M, Cornily JC, Pennec PY, Joret C, Le Gal G, Mansourati J, et al. Accuracy of multislice computed tomography in the preoperative assessment of coronary disease in patients with aortic valve stenosis. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47:2020-4.
164. Manghat NE, Morgan-Hughes GJ, Broadley AJ, Undy MB, Wright D, Marshall AJ, et al. 16-detector row computed tomographic coronary angiography in patients undergoing evaluation for aortic valve replacement: comparison with catheter angiography. *Clin Radiol*. 2006;61:749-57.
165. Meijboom WB, Mollet NR, Van Mieghem CA, Kluin J, Weustink AC, Pugliese F, et al. Pre-operative computed tomography coronary angiography to detect significant coronary artery disease in patients referred for cardiac valve surgery. *J Am Coll Cardiol*. 2006;48:1658-65.
166. Reant P, Brunot S, Lafitte S, Serri K, Leroux L, Cornéloup O, et al. Predictive value of noninvasive coronary angiography with multidetector computed tomography to detect significant coronary stenosis before valve surgery. *Am J Cardiol*. 2006;97:1506-10.
167. Ghostine S, Caussin C, Daoud B, Habis M, Perrier E, Pesenti-Rossi D, et al. Non-invasive detection of coronary artery disease in patients with left bundle branch block using 64-slice computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 2006;48:1929-34.
168. Sigurdsson G, Carrascosa P, Yamani MH, Greenberg NL, Perrone S, Lev G, et al. Detection of transplant coronary artery disease using multidetector computed tomography with adaptive multisegment reconstruction. *J Am Coll Cardiol*. 2006;48:772-8.
169. Pache G, Saueressig U, Frydrychowicz A, Foell D, Ghanem N, Kotter E, et al. Initial experience with 64-slice cardiac CT: non-invasive visualization of coronary artery bypass grafts. *Eur Heart J*. 2006;27:976-80.
170. Meyer TS, Martinoff S, Hadamitzky M, Will A, Kastrati A, Schomig A, et al. Improved noninvasive assessment of coronary artery bypass grafts with 64-slice computed tomographic angiography in an unselected patient population. *J Am Coll Cardiol*. 2007;49:946-50.
171. Ropers D, Pohle FK, Kuettner A, Pflederer T, Anders K, Daniel WG, et al. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography in patients after bypass surgery using 64-slice spiral computed tomography with 330-ms gantry rotation. *Circulation*. 2006;114:2334-41.

172. Cademartiri F, Schuijf JD, Pugliese F, Mollet NR, Jukema JW, Maffei E, et al. Usefulness of 64-slice multislice computed tomography coronary angiography to assess in-stent restenosis. *J Am Coll Cardiol.* 2007;49:2204-10.
173. Schmid M, Achenbach S, Ludwig J, Baum U, Anders K, Pohle K, et al. Visualization of coronary artery anomalies by contrast-enhanced multi-detector row spiral computed tomography. *Int J Cardiol.* 2006;111:430-5.
174. Mao S, Shinbane JS, Ginsky MJ, Child J, Carson S, Oudiz RJ, et al. Coronary venous imaging with electron beam computed tomographic angiography: three-dimensional mapping and relationship with coronary arteries. *Am Heart J.* 2005;150:315-22.
175. Van de Veire NR, Schuijf JD, De Sutter J, Devos D, Bleeker GB, De Roos A, et al. Non-invasive visualization of the cardiac venous system in coronary artery disease patients using 64-slice computed tomography. *J Am Coll Cardiol.* 2006;48:1832-8.
176. Wazni OM, Tsao HM, Chen SA, Chuang HH, Saliba W, Natale A, et al. Cardiovascular imaging in the management of atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol.* 2006;48:2077-84.
177. George RT, Silva C, Cordeiro MA, DiPaula A, Thompson DR, McCarthy WF, et al. Multidetector computed tomography myocardial perfusion imaging during adenosine stress. *J Am Coll Cardiol.* 2006;48:153-60.
178. Gerber BL, Belge B, Legros GJ, Lim P, Poncelet A, Pasquet A, et al. Characterization of acute and chronic myocardial infarcts by multidetector computed tomography: comparison with contrast-enhanced magnetic resonance. *Circulation.* 2006;113:823-33.
179. Baks T, Cademartiri F, Moelker AD, Weustink AC, Van Geuns RJ, Mollet NR, et al. Multislice computed tomography and magnetic resonance imaging for the assessment of reperfused acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol.* 2006;48:144-52.
180. Lardo AC, Cordeiro MA, Silva C, Amado LC, George RT, Sallaris AP, et al. Contrast-enhanced multidetector computed tomography viability imaging after myocardial infarction: characterization of myocyte death, microvascular obstruction, and chronic scar. *Circulation.* 2006;113:394-404.
181. Coles DR, Smail MA, Negus IS, Wilde P, Oberhoff M, Karsch KR, et al. Comparison of radiation doses from multislice computed tomography coronary angiography and conventional diagnostic angiography. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47:1840-5.
182. Hausleiter J, Meyer T, Hadamitzky M, Huber E, Zankl M, Martinoff S, et al. Radiation dose estimates from cardiac multislice computed tomography in daily practice: impact of different scanning protocols on effective dose estimates. *Circulation.* 2006;113:1305-10.
183. Rispler S, Keidar Z, Ghersin E, Roguin A, Soil A, Dragu R, et al. Integrated single-photon emission computed tomography and computed tomography coronary angiography for the assessment of hemodynamically significant coronary artery lesions. *J Am Coll Cardiol.* 2007;49:1059-67.
184. Di Carli MF, Hachamovitch R. New technology for noninvasive evaluation of coronary artery disease. *Circulation.* 2007;115:1464-80.