

Puesta al día: Imagen cardiaca (V)

Imagen cardiovascular en la sala de electrofisiología



Laura Sanchis, Susanna Prat y Marta Sitges*

Instituto Cardiovascular, Hospital Clínic, IDIBAPS, Universidad de Barcelona, IDIBAPS-Institut d'Investigacions Biomèdiques August Pi i Sunyer, Barcelona, España

Historia del artículo:

On-line el 20 de abril de 2016

Palabras clave:
Imagen cardiovascular
Electrofisiología
Ablación
Ecocardiografía

RESUMEN

La rápida evolución tecnológica producida en los últimos años ha permitido la aparición de nuevos procedimientos en electrofisiología que no habrían sido posibles sin el desarrollo en paralelo de las técnicas de imagen que sirven para planificar, guiar y monitorizar el resultado posterior de dichos procedimientos. Entre las intervenciones con mayor necesidad de apoyo con técnicas de imagen, se encuentra la ablación de la fibrilación auricular. La ecocardiografía permite seleccionar a los candidatos y detectar trombos que contraindicarían la intervención, y la resonancia cardiaca y la tomografía computarizada son también básicos para su planificación a través del estudio detallado de la anatomía de las venas pulmonares. Por otra parte, en la terapia de resincronización cardiaca la ecocardiografía tiene un papel central tanto para la selección de pacientes como posteriormente para el ajuste del dispositivo y evaluar la efectividad de la técnica. Más recientemente, la ablación de taquicardias ventriculares se ha consolidado como una alternativa de tratamiento que no habría sido posible sin planificarla mediante estudio con resonancia magnética cardiaca de las cicatrices en el miocardio.

© 2016 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Cardiovascular Imaging in the Electrophysiology Laboratory

ABSTRACT

Keywords:
Cardiovascular imaging
Electrophysiology
Ablation
Echocardiography

In recent years, rapid technological advances have allowed the development of new electrophysiological procedures that would not have been possible without the parallel development of imaging techniques used to plan and guide these procedures and monitor their outcomes. Ablation of atrial fibrillation is among the interventions with the greatest need for imaging support. Echocardiography allows the appropriate selection of patients and the detection of thrombi that would contraindicate the intervention; cardiac magnetic resonance imaging and computed tomography are also essential in planning this procedure, by allowing a detailed anatomical study of the pulmonary veins. In addition, in cardiac resynchronization therapy, echocardiography plays a central role in both patient selection and, later, in device adjustment and in assessing the effectiveness of the technique. More recently, ablation of ventricular tachycardias has been established as a treatment option; this would not be possible without planning using an imaging study such as cardiac magnetic resonance imaging of myocardial scarring.

Full English text available from: www.revespcardiol.org/en

© 2016 Sociedad Española de Cardiología. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la electrofisiología ha experimentado una rápida expansión con aumento de la complejidad y el número de técnicas realizadas. Esto no habría sido posible sin el desarrollo en paralelo de las técnicas de imagen cardiovascular no invasivas que permiten el estudio preciso de la anatomía cardiaca y el complejo funcionamiento cardiaco. Las técnicas de imagen cardiaca permiten mejorar la selección de pacientes, planificar los procedimientos de manera individualizada, guiar su realización detectando precozmente posibles complicaciones y, por último, comprobar los resultados de la terapia en el seguimiento a largo plazo. Esta revisión se centra en la utilidad de las técnicas de imagen en

algunos de los procedimientos más complejos, como la ablación de la fibrilación auricular (FA), la terapia de resincronización cardiaca (TRC) y la ablación de taquicardias ventriculares.

IMAGEN CARDIOVASCULAR DE PACIENTES CON FIBRILACIÓN AURICULAR TRATADOS CON ABLACIÓN

La FA es la arritmia más frecuente en la población general, y su prevalencia aumenta con la edad¹. En la patogenia de la FA suele estar implicado un foco ectópico en las venas pulmonares. Asimismo existe un sustrato anatómico que favorece la génesis y la perpetuación de la arritmia, que es detectable por técnicas de imagen y básicamente se reconoce por la dilatación² y la disfunción auriculares³. La ecocardiografía transtorácica es la primera técnica de imagen utilizada para la identificación de dicho sustrato y, por lo tanto, la selección de los pacientes candidatos al tratamiento de

* Autor para correspondencia: Instituto Cardiovascular, Hospital Clínic, Villarroel 170, 08036 Barcelona, España.

Correo electrónico: msitges@clinic.ub.es (M. Sitges).

Abreviaturas

- AI: aurícula izquierda
- FA: fibrilación auricular
- RMC: resonancia magnética cardiaca
- TC: tomografía computarizada
- TRC: terapia de resincronización cardíaca
- TV: taquicardia ventricular
- VI: ventrículo izquierdo

de AI determinadas por ecocardiografía convencional 2D. Otro parámetro de reciente introducción es el índice de esfericidad determinado mediante RMC⁹: el remodelado esférico de la AI aumenta el riesgo de recurrencia de FA y discrimina mejor que el tamaño auricular.

La función de la AI puede dividirse en tres fases (reservorio, conducto y bomba) que se pueden estudiar mediante ecocardiografía tanto con medidas volumétricas (2D y 3D) como con imagen de deformación miocárdica (*strain* y *strain-rate*)¹⁰ (figura 1). La reducción tanto de la función reservorio^{4,11} como de la función contráctil o de bomba¹² de la AI se han relacionado con la aparición de FA y con el éxito de la ablación. La capacidad de predecir en qué pacientes la ablación va a poder eliminar la arritmia mediante el estudio de la función de la AI se ha demostrado tanto en pacientes con FA tratados con una primera ablación como en los tratados con un segundo procedimiento¹³.

Por otro lado, la RMC con realce tardío está despertando un interés creciente para la detección de fibrosis auricular, considerada indicadora del sustrato arritmogénico en la FA. Un estudio prospectivo multicéntrico (estudio DECAAF)¹⁴ mostró asociación entre el grado de fibrosis y la recurrencia de la FA después de la ablación de FA. Se clasificó a los pacientes según el grado de fibrosis (estadios Utah), y se observó que las recurrencias estaban significativamente asociadas al grado de fibrosis inicial (estadio I, el 15,3%; estadio II, el 32,6%; estadio III, el 45,9%, y estadio IV, el 51,1%). La detección de la fibrosis mediante RMC podría ser de gran utilidad para estratificar el riesgo de presentar FA o recurrencia de FA tras la ablación¹⁵, pero no se puede olvidar que aún hay algunas limitaciones técnicas para su estandarización. La RMC tiene una resolución espacial limitada y la pared auricular es muy fina; además, se necesita una buena segmentación de la pared auricular, y actualmente hay distintos algoritmos para definir los umbrales de intensidad de señal que definen la fibrosis¹⁶.

Las técnicas de imagen también permiten detectar posibles fuentes de complicación que contraindiquen la técnica. La

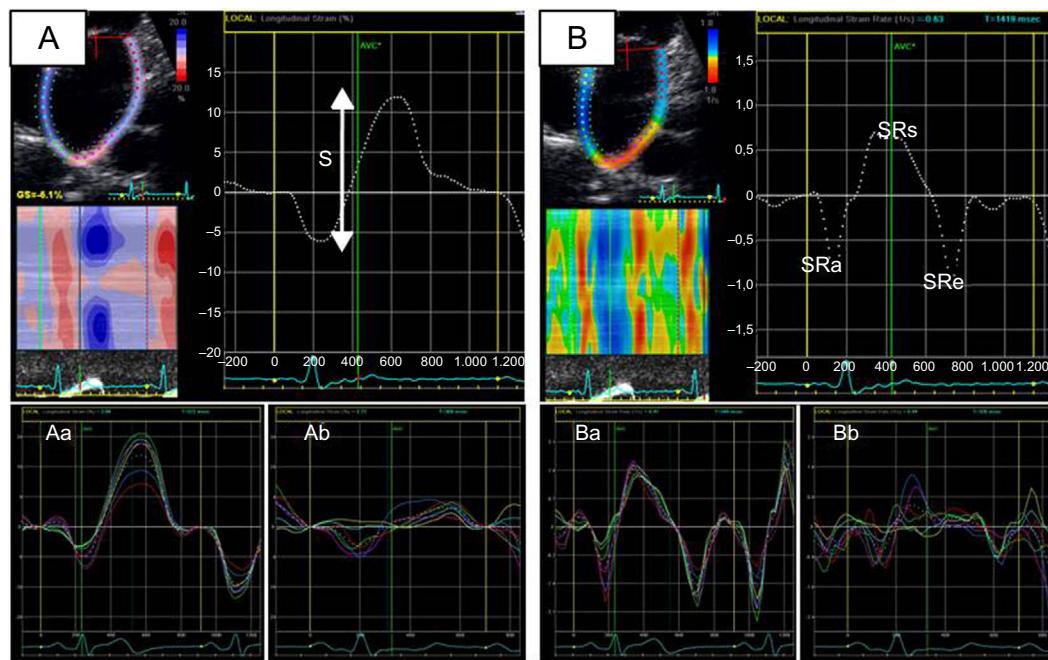


Figura 1. Estudio de la función auricular izquierda mediante deformación miocárdica derivada de ecocardiografía bidimensional (*speckle-tracking strain*). A: strain auricular izquierdo (a: paciente con *strain* auricular izquierdo normal; b: paciente con *strain* auricular izquierdo reducido). B: *strain-rate* auricular izquierdo (a: paciente con *strain-rate* auricular izquierdo normal; b: paciente con *strain-rate* auricular izquierdo reducido). S: *strain* global de la aurícula izquierda; SRa: *strain-rate* durante la contracción auricular (función contráctil); SRe: *strain-rate* durante la fase de llenado precoz ventricular (función de conducción); SRs: *strain-rate* durante la sístole ventricular (función reservorio).

detección de trombo en la orejuela izquierda mediante ecocardiografía transesofágica es una de las contraindicaciones más conocidas para el procedimiento (figura 2); existen factores de riesgo de trombosis, como el sexo femenino, la presencia de cardiopatía estructural, la dilatación de la AI o la FA no paroxística; su presencia incrementa de forma sumatoria el riesgo de trombo en la orejuela izquierda¹⁷. De la misma manera, la puntuación CHADS₂ (insuficiencia cardíaca congestiva, hipertensión, edad, diabetes, ictus [doble]) es directamente proporcional a la probabilidad de su aparición¹⁸. Está en discusión la necesidad de realizar una ecocardiografía transesofágica a los pacientes sin factores de riesgo; sin embargo, hasta en un 24% de los pacientes con puntuación CHADS₂ 0 se detectó ecocontraste espontáneo en la orejuela, lo que indica estasis sanguínea y se considera equivalente de trombo intraauricular¹⁸. Por lo tanto, su realización previamente a la ablación permite aumentar la seguridad del procedimiento. La orejuela izquierda también se puede visualizar de manera no invasiva mediante la TC con contraste centrada en la AI; distintos estudios avalan su buena precisión diagnóstica para la detección de trombos¹⁹. Así, en pacientes con contraindicación o intolerancia a la ecografía transesofágica, la TC puede ser una buena alternativa.

Guía intraprocedimiento

Una vez indicada la ablación, las técnicas de imagen permiten su planificación. En el caso de la ablación de FA, presenta especial interés el conocimiento de la anatomía de las venas pulmonares²⁰. Aunque su anatomía también se puede estudiar mediante ecocardiografía transesofágica, la mayor resolución y la visualización 3D con TC y RMC hacen que estas se realicen en la mayoría de los centros sistemáticamente antes del procedimiento, especialmente para obtener imágenes de fusión con los sistemas de navegación electroanatómicos que permiten realizar de manera más rápida y sencilla las aplicaciones de radiofrecuencia. Además, permiten conocer la presencia de variantes anatómicas como una vena pulmonar intermedia derecha o un tronco común izquierdo que podrían asociarse con más recurrencias de la FA^{21,22}.

En algunos centros se utiliza la ecocardiografía intracardíaca como guía del procedimiento²³; esta es útil como guía de punción transeptal, posición de los catéteres y anatomía. Sin embargo, su uso aumenta la complejidad y el coste del procedimiento.

Por otra parte, la ablación de la FA no está exenta de riesgos. La ecocardiografía permite el rápido diagnóstico del taponamiento cardíaco que puede ocurrir hasta en el 5% de las intervenciones²⁴.

Seguimiento (impacto de la terapia)

La función auricular presenta cambios a largo plazo tras la ablación de FA, y se objetiva reducción de los volúmenes auriculares estudiados tanto por ecocardiografía 3D²⁵ como por RMC²⁶ o TC²⁷. En un metanálisis²⁸ se describió que, tras la ablación, las dimensiones de la AI solo se redujeron de manera significativa en los pacientes sin recurrencia de la arritmia; en cambio, la función auricular medida como fracción de eyección o fracción de vaciado activo de la AI no mostraron diferencias en los pacientes sin recurrencia, pero sí se redujo en los pacientes con recurrencia de la FA. Diferentes estudios resumidos en dicho metanálisis muestran que la cicatriz y la retracción volumétrica de la AI inducida por la lesión producida durante la ablación se contrarrestan por el efecto benéfico de la recuperación del ritmo sinusal. Así, aunque se produzca reducción de volumen de la AI en pacientes con y sin ablación efectiva en cuanto a restauración del ritmo sinusal, solo en aquellos que se mantiene el ritmo sinusal no empeora o incluso mejora la función de la AI²⁸.

En pacientes con recurrencia de su FA, las discontinuidades en las líneas de ablación son uno de los mecanismos principales de la reconexión de las venas pulmonares. La RMC con realce tardío puede localizar estas discontinuidades y guiar el segundo procedimiento de ablación²⁹ (figura 3).

A largo plazo, una de las complicaciones más importantes de la ablación de la FA es la estenosis de venas pulmonares, que puede darse hasta en un tercio de los casos³⁰, sobre todo la vena pulmonar izquierda (incidencia de estenosis grave de hasta el 1%^{30,31}). La TC sería la técnica de elección para confirmar el diagnóstico, pero la RMC proporciona la misma información sin radiación ni

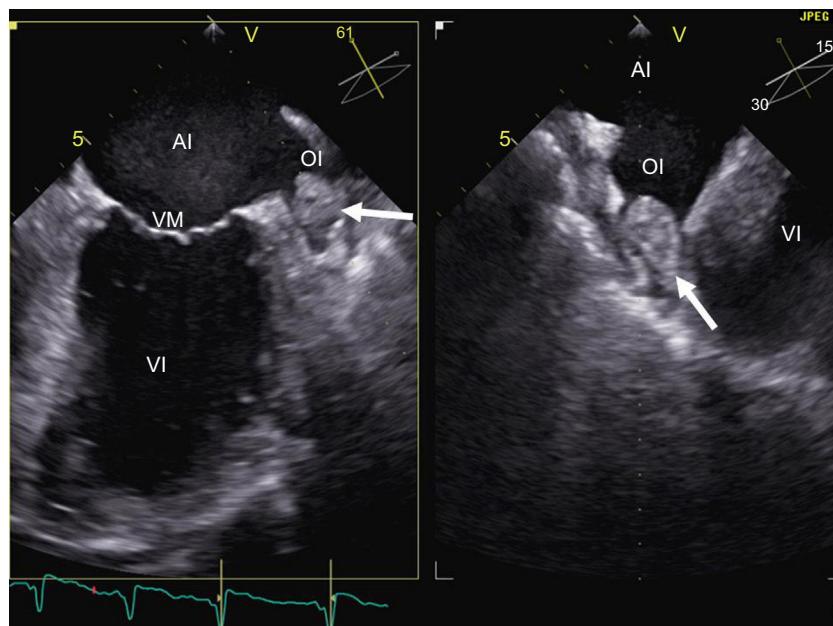


Figura 2. Imagen con ecocardiograma transesofágico de dos planos de estudio a 60° y 150° que muestran un trombo (flecha) en la orejuela izquierda. AI: aurícula izquierda; OI: orejuela izquierda; VI: ventrículo izquierdo; VM: válvula mitral.

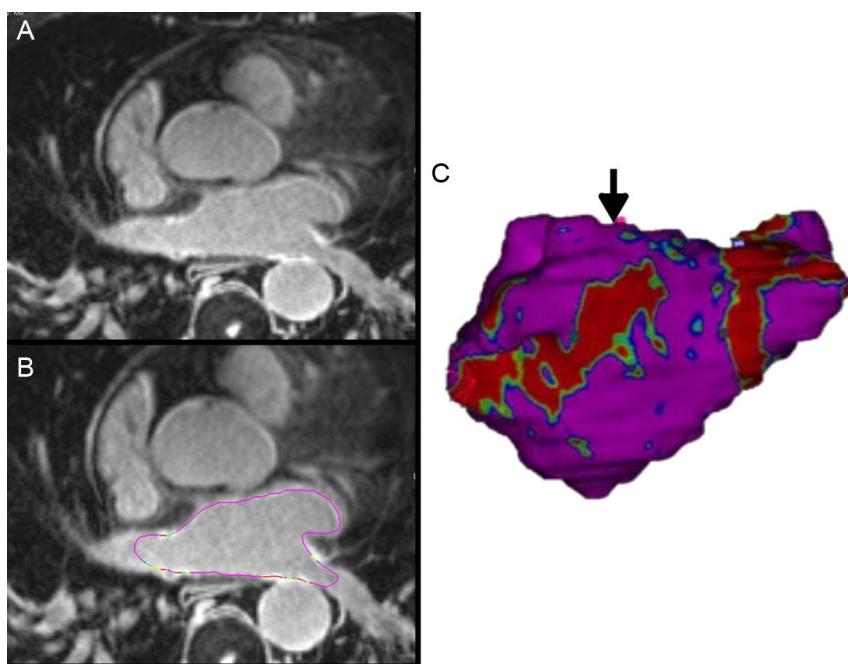


Figura 3. A: resonancia magnética cardiaca con realce tardío en tres dimensiones de la aurícula izquierda de un paciente con ablación previa. B: se trazan los márgenes epicárdicos y endocárdicos para la segmentación de la aurícula izquierda; en este caso, a partir de la intensidad de señal del realce normalizada por la intensidad de señal de la sangre, se obtiene una razón de intensidad de señal y el tejido fibroso se detecta y se cuantifica. C: imagen tridimensional *volume rendering* a partir de la segmentación de la aurícula izquierda donde el tejido fibroso se proyecta a la superficie del modelo; en rojo, zona con cicatriz y zona de discontinuidad, *gap* anatómico (flecha) que servirá de guía para el catéter de ablación. Esta figura se muestra a todo color solo en la versión electrónica del artículo.

contraste yodado. Los pacientes de más edad, con venas de mayor tamaño y las venas inferiores izquierdas tienen mayor probabilidad de dicha estenosis³⁰.

La tabla 1 resume las principales aportaciones de la imagen cardiaca a la ablación de la FA.

IMAGEN CARDIOVASCULAR EN LA RESINCRONIZACIÓN CARDIACA

La descoordinación de la mecánica cardíaca secundaria a la presencia de asincronía eléctrica tiene efecto deletéreo en la función cardíaca debido a la reducción de los tiempos de llenado y eyeción, con ineficiencia en la contracción ventricular y auricular, desarrollo de insuficiencia mitral y aumento de las presiones de llenado del ventrículo izquierdo (VI)³². La TRC pretende la corrección de estos mecanismos (corrección de la disincronía mecánica) mediante la estimulación eléctrica que detiene el remodelado adverso causado por ellos e incluso consigue revertirlo; como consecuencia de ello, se ha demostrado una mejora significativa en la calidad de vida, el número de hospitalizaciones y la mortalidad de los pacientes con insuficiencia cardíaca y disfunción ventricular izquierda tratados con TRC³³. La respuesta a la TRC está determinada por múltiples factores, que pueden resumirse en la existencia de un mecanismo de descoordinación mecánica corregible eléctricamente a la vez que un miocardio capaz de responder (con reserva contráctil)³⁴.

Selección de candidatos

La asincronía mecánica corregible eléctricamente incluye varias situaciones clínicas que se puede identificar con ecocardiografía. De las asincronías interauricular³⁵, auriculoventricular³⁶, interventricular e intraventricular³², las últimas tres pueden mejorar

Tabla 1
Utilidad de las técnicas de imagen en la ablación de la fibrilación auricular

| Selección de candidatos | |
|-------------------------|--|
| Evaluación clínica | Cardiopatía de base (ecocardiografía, TC, RMC) |
| Predicción de éxito | Tamaño de la aurícula izquierda – Ecocardiografía 2D ⁷ – Ecocardiografía 3D ⁴ – TC ⁸ – RMC ⁵ |
| | Función auricular izquierda – Ecocardiografía 3D ⁴ – Speckle-tracking strain ¹³ |
| | Fibrosis auricular izquierda – RMC ¹⁴ |
| | Geometría auricular izquierda – Esfericidad por RMC ⁹ |
| Contraindicación | Trombo en orejuela izquierda – Ecografía transesofágica ¹⁸ – TC ¹⁹ |
| Guía para la ablación | |
| Anatomía | TC ²² , RMC ²¹ , ecografía intracardíaca ²³ |
| Complicaciones | Durante el procedimiento – Ecografía 2D |
| Seguimiento | |
| Impacto de la terapia | Reducción del volumen auricular izquierdo – Ecocardiografía ²⁵ – TC ²⁷ – RMC ²⁶ |
| | Mejora de la función auricular izquierda – RMC ²⁶ |
| Complicaciones | Largo plazo (estenosis pulmonar) – RMC ³¹ |

2D: bidimensional; 3D: tridimensional; RMC: resonancia magnética cardiaca; TC: tomografía computarizada.

mediante la TRC con el implante de marcapasos tricameral, y existe ya alguna experiencia inicial de estimulación biauricular para corregir la asincronía interauricular³⁷.

Según la última guía europea³⁸, la TRC está indicada para pacientes que, pese a terapia médica óptima, persisten al menos en clase funcional II de la *New York Heart Association* y electrocardiograma con bloqueo de rama izquierda y duración del QRS > 120 ms y fracción de eyección del ventrículo izquierdo ≤ 35%³⁹. Por lo tanto, como premisa básica para el implante, es necesaria una técnica de imagen para determinar la fracción de eyección del ventrículo izquierdo, que suele ser la ecocardiografía 2D. Pese a que la indicación de la TRC se base en estos criterios, hasta un 30-45% de los pacientes no responden a esta terapia⁴⁰. Por ello, se ha intentado seleccionar a los pacientes con un perfil más favorable para la TRC aplicando técnicas de imagen, especialmente la ecocardiografía.

La asincronía auriculoventricular se puede estudiar mediante la duración del Doppler pulsado transmitral (tiempo de llenado del VI) respecto a la duración total del ciclo cardíaco, de forma que si es < 40%, se considera que hay asincronía auriculoventricular. Para la asincronía interventricular, el Doppler pulsado aplicado en el tracto de salida de los ventrículos permite medir el periodo preeyectivo (tiempo desde el inicio del QRS al inicio del flujo en cada ventrículo). Una diferencia entre los tiempos del ventrículo derecho y el VI > 40 ms o un periodo preeyectivo del VI > 140 ms se consideran indicadores de asincronía interventricular⁴¹.

La asincronía intraventricular izquierda es la más ampliamente estudiada, y se han propuesto multitud de parámetros para evaluarla. La ecocardiografía en modo M del VI (plano paraesternal en eje largo)⁴² es la manera más simple de analizarla (método de Pitzalis). Una diferencia entre la contracción máxima septal y posterior ≥ 130 ms predice disminución del diámetro telesistólico tras la TRC⁴³. Sin embargo, destaca su limitación en presencia de anomalías en la motilidad segmentaria (p. ej., cardiopatía isquémica) y la gran variabilidad en su interpretación⁴⁴. El Doppler tisular permite determinar el pico de velocidad miocárdica de segmentos contralaterales durante la fase de eyección (entre la apertura y el cierre de la válvula aórtica)⁴⁵. Para ello se requiere un

correcto alineamiento con el haz de ultrasonido (técnica dependiente del ángulo) y gran resolución temporal. Una diferencia ≥ 65 ms entre los picos de velocidad miocárdica de los segmentos basales de la pared septal y lateral del VI en el plano apical de cuatro cámaras (figura 4) se ha relacionado con respuesta a la TRC⁴⁶, según la experiencia de algunos autores, aunque es un método muy controvertido. De modo similar, el índice de Yu⁴⁷ analiza los 12 segmentos miocárdicos estudiados a partir de los planos apicales de dos, tres y cuatro cámaras. Por último, la diferencia temporal entre los picos máximos de deformación miocárdica determinada a partir de ecocardiografía 2D (*speckle-tracking strain*) también se ha mostrado útil para predecir la respuesta a la TRC. El *strain* radial parece ser superior al longitudinal o circunferencial para la predicción de la respuesta⁴⁸; una diferencia ≥ 130 ms entre el pico de deformación del segmento septal del VI respecto al posterior predice remodelado inverso del VI tras la TRC⁴⁹ (figura 5). La combinación del Doppler tisular pulsado con el *strain* radial determinado por *speckle-tracking* podría aumentar la capacidad predictiva⁵⁰. El *speckle-tracking strain* también podría ser útil para determinar el segmento con activación miocárdica más tardía, que sería el lugar donde el implante del electrodo del VI tendría su máxima eficiencia⁵¹. Por último, la ecocardiografía 3D también permite determinar el índice de disincronía sistólica (desviación estándar de los intervalos requeridos por los diversos segmentos del VI para alcanzar el mínimo volumen al final de la sístole). Se expresa como porcentaje, y se ha propuesto un punto de corte del 9,8% para la predicción de respuesta a la TRC⁵². Como limitación, este método no diferencia las alteraciones segmentarias de la contractilidad o zonas necróticas de las zonas mecánicamente retrasadas por un trastorno eléctrico, que sí son susceptibles de TRC⁵³. El Doppler tisular pulsado también es aplicable a la ecocardiografía 3D y permite comparar simultáneamente el retraso de velocidades de los diferentes segmentos del VI⁵⁴. El *speckle-tracking strain* a partir de ecocardiografía 3D permitiría diferenciar entre miocardio viable y cicatriz⁵⁵, pero es aún una técnica con baja resolución temporal que, por lo tanto, no permite una adecuada aplicación para estudiar fenómenos tan rápidos como los que ocurren en un ciclo cardíaco.

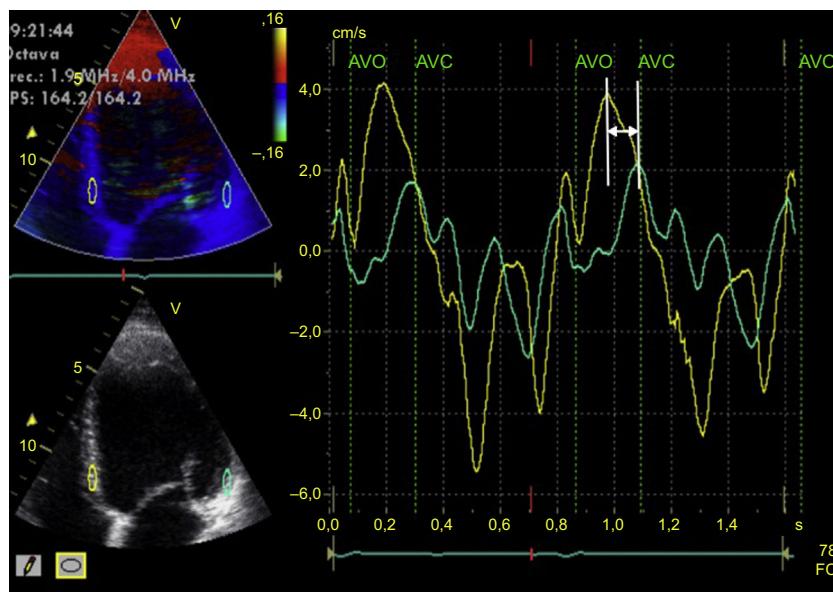


Figura 4. Estudio de la sincronía intraventricular izquierda con Doppler tisular. A partir de la imagen apical de cuatro cámaras del ventrículo izquierdo (paneles izquierdos) adquirida con Doppler tisular codificado en color, se posprocesa la imagen y se obtienen curvas de velocidad miocárdica a lo largo de dos ciclos cardíacos consecutivos del segmento lateral basal (línea verde) y del segmento septal basal (línea amarilla) (panel central). Puede verse que las dos curvas no están superpuestas y que hay una diferencia temporal entre los dos picos de velocidad máxima de cada segmento miocárdico (flecha). AVC: cierre de la válvula aórtica; AVO: apertura de la válvula aórtica; FC: frecuencia cardíaca. Esta figura se muestra a todo color solo en la versión electrónica del artículo.

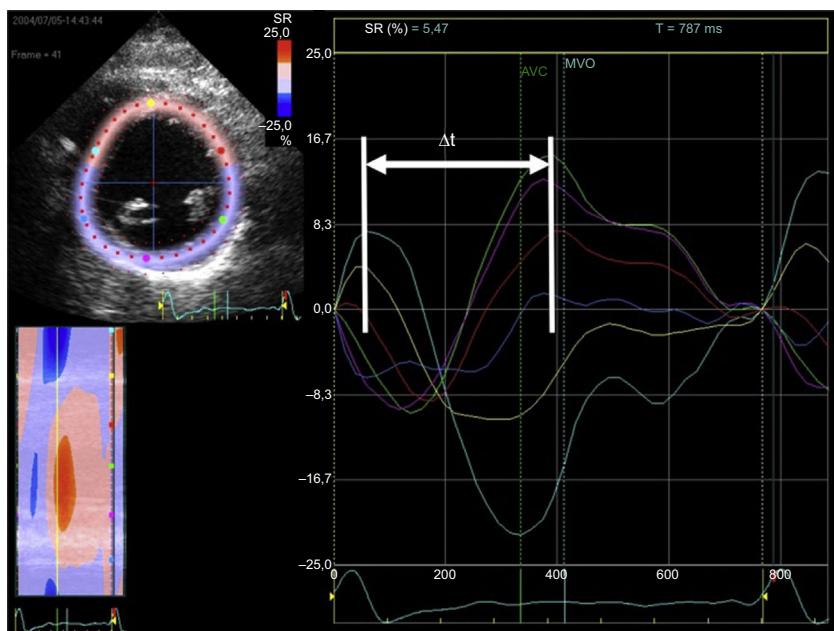


Figura 5. Estudio de la sincronía intraventricular izquierda con imagen ecocardiográfica de deformación miocárdica (*strain*). A partir de la imagen en eje corto del ventrículo izquierdo a nivel de los músculos papilares obtenida con ecocardiografía bidimensional (panel izquierdo), se traza el endocardio y, con un software dedicado, se obtienen curvas de deformación miocárdica en dirección radial (valores positivos) para cada segmento del ventrículo izquierdo (seis segmentos) a lo largo del ciclo cardíaco (panel central). Se calcula la diferencia temporal entre la deformación máxima de los segmentos septales (trazo turquesa y amarillo) y del segmento inferolateral (trazo verde). Puede verse que las curvas no están superpuestas y que hay una diferencia temporal entre los picos de deformación miocárdica máxima de cada segmento miocárdico (flecha). Δt : diferencia temporal; AVC: apertura de la válvula mitral; MVO: apertura de la válvula mitral; SR: strain radial. Esta figura se muestra a todo color solo en la versión electrónica del artículo.

La **tabla 2** resume las principales medidas ecocardiográficas propuestas para la selección de candidatos a TRC.

El estudio multicéntrico PROSPECT⁵⁶ intentó validar dichas técnicas de imagen para la predicción de respuesta a la TRC, pero los resultados fueron claramente negativos. Los parámetros previamente presentados, de manera individual y en centros únicos, habían demostrado valor pronóstico en cuanto a predicción de respuesta a TRC, pero no confirmaron su valor cuando se trasladaron al ámbito multicéntrico. Esto generó gran controversia sobre el papel del estudio ecocardiográfico de la asincronía mecánica previo al implante de TRC. Los resultados del estudio PROSPECT se justificaron en parte por la baja reproducibilidad de las medidas y la gran dificultad para definir de manera precisa la

respuesta positiva a la TRC; en realidad, todos los estudios que intentan demostrar la utilidad pronóstica de un determinado parámetro para predecir la respuesta a la TRC utilizan una variable dicotómica para definir respuesta o falta de respuesta; sin embargo, la realidad clínica es diferente, puesto que la respuesta a la TRC es variable e incluye una gama de respuestas que van desde la mejoría clínica sin remodelado inverso hasta el remodelado inverso extenso (superrespondedores)⁵⁷. Por ello, la indicación de la TRC no debería basarse en único parámetro, ya que la función cardiaca es compleja y hay múltiples parámetros implicados en la respuesta a la TRC³⁴. Por otro lado, las metodologías anteriormente descritas tienen muchas limitaciones técnicas y no siempre expresan un problema de disincronía

Tabla 2

Detección de asincronía cardiaca corregible con terapia de resincronización cardiaca mediante ecocardiografía

| Asincronía auriculovenricular | |
|---|---|
| Doppler pulsado | Duración del Doppler pulsado transmitral respecto al total del ciclo cardíaco < 40% |
| Asincronía interventricular | |
| Doppler pulsado | Medición del periodo preeyectivo a nivel de los tractos de salida del VI y el VD. Hay asincronía si es > 40 ms entre ellos o si el periodo preeyectivo del VI es > 140 ms ⁴¹ |
| Asincronía intraventricular | |
| Modo M | Método de Pitzalis. Diferencia entre la contracción máxima septal y posterior \geq 130 ms ⁴² |
| Doppler tisular | En plano apical de cuatro cámaras, diferencia entre pico de velocidad miocárdica de segmento basal de pared septal y lateral del VI \geq 65 ms ⁴⁶ |
| Índice de Yu. Análisis de los 12 segmentos miocárdicos (cuatro, tres y dos cámaras), desviación estándar \geq 33 ms ⁴⁷ | |
| Deformación miocárdica (speckle-tracking strain) | Strain radial. Diferencia \geq 130 ms entre pico de deformación del segmento septal y posterior ⁴⁹ |
| Ecocardiografía 3D | Desviación estándar de los segmentos > 9,8% ⁵² |
| Otras | Doppler tisular pulsado en ecocardiografía 3D ⁵⁴ |
| | Deformación miocárdica aplicada a ecocardiografía 3D ⁵⁵ |

3D: tridimensional; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo.

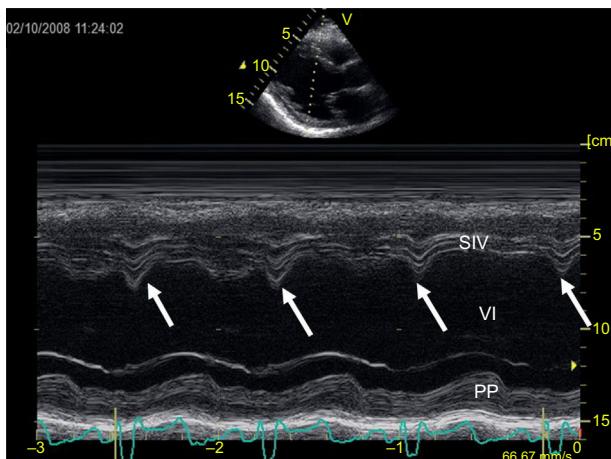


Figura 6. Imagen de registro en modo M de ecografía transtorácica a nivel ventricular izquierdo en eje paraesternal largo. Las flechas verticales señalan la presencia de *septal flash*, que es un rápido movimiento del septo hacia la cavidad ventricular durante la duración del QRS. PP: pared posterior del ventrículo izquierdo; SIV: septo interventricular; VI: ventrículo izquierdo.

mecánica corregible eléctricamente (es decir, no diferencian necrosis de retraso mecánico por activación eléctrica enlentecida). En pacientes con función ventricular normal, hay buena correlación entre los tiempos mecánicos y eléctricos, pero se pierde en pacientes con disfunción ventricular. La TRC mejora dicha correlación, pero en los pacientes con cicatriz miocárdica no siempre es posible corregir las alteraciones mecánicas⁵⁸. Así, algunos autores han propuesto un enfoque multimodal⁵⁹ que incluya parámetros clínicos y ecocardiográficos. En este sentido, objetivar por ecocardiografía convencional una anormalidad corregible por TRC se ha relacionado con respuesta a la TRC y mejora de la supervivencia; por orden de valor predictivo: el movimiento anómalo septal durante la contracción isovolumétrica (*septal flash*), las alteraciones en el llenado ventricular como la presencia de onda A truncada (intervalo auriculoventricular corto), fusión de ondas E y A (intervalo auriculoventricular largo) y, por último, la interdependencia ventricular exagerada⁶⁰. Estos parámetros son fácilmente identificables con ecocardiografía convencional. Así, el *septal flash* se identifica en el ecocardiograma 2D o en un simple modo M (figura 6) como un movimiento rápido del septo hacia la cavidad ventricular durante la fase de contracción isovolumétrica (dentro del QRS del electrocardiograma) y un rápido retroceso por la contracción activa y retrasada de la pared lateral. Las alteraciones del llenado (fusión de ondas E y A o interrupción precoz de la onda A) son también fácilmente reconocibles con el Doppler pulsado del flujo de entrada del VI. Finalmente, la interacción ventricular exagerada se reconoce tanto en el examen 2D como por la diferencia de períodos preeyectorios entre el ventrículo derecho y el VI. Siguiendo un algoritmo de determinación de estos parámetros, puede establecerse la probabilidad de respuesta a la TRC con base en la existencia de una alteración mecánica que puede corregirse eléctricamente. La extensión o el grado de respuesta, además, estarán determinados por el estado de base de la cardiopatía subyacente y otros factores clínicos como la insuficiencia renal⁶⁰. A pesar de que cada vez hay más evidencia de que en manos experimentadas un enfoque integral del paciente con QRS ancho y disfunción ventricular puede mejorar la tasa de respuesta a la TRC, las guías^{38,39} siguen indicando únicamente la anchura del QRS como el criterio para indicarla.

Por otro lado, la RMC ofrece información del tamaño y la función del VI y presencia de cicatriz miocárdica en pacientes candidatos a

TRC. Además, también puede informar de la disincronía del VI. Utilizando la secuencia de cine y a partir del análisis del acortamiento radial de los segmentos de la pared, se realizan mapas polares y se calcula el índice de sincronización tisular⁶¹. También permite el análisis de deformación miocárdica mediante el seguimiento de marcas específicas (*tagging*) en el miocardio⁶². Con ambas técnicas, algunos autores han demostrado que se puede predecir la respuesta a la TRC^{61,62}. También se ha descrito el uso de la RMC con codificación de la velocidad para el estudio de la disincronía midiendo el movimiento de la pared miocárdica a lo largo del ciclo cardíaco, lo que proporciona curvas de tiempo en función de la velocidad similares a las de la imagen de Doppler tisular⁶³, pero aún no hay datos que prueben la utilidad de esta metodología para predecir la respuesta a largo plazo tras la TRC. La aplicación de técnicas de RMC al estudio de la sincronía cardíaca está limitada tanto por el procesamiento complejo de las imágenes como por su baja resolución temporal. Sin embargo, la RMC con realce tardío aporta información relevante sobre presencia de cicatriz, su localización y transmuralidad, todos ellos predictores independientes de respuesta a la TRC. La carga total de cicatriz surge como predictor independiente de respuesta a la TRC; aunque aún no hay consenso sobre el valor de corte a partir del cual no se debería indicar esta terapia, oscila entre el 10 y el 15%⁶⁴. En cuanto a la transmuralidad (presencia de realce tardío > 51% del grosor de la pared), se demuestra que tiene una relación inversamente proporcional con la respuesta a la TRC⁶⁵. Finalmente, la localización de la cicatriz en la cara posterolateral, sobre todo si es transmural, se asocia a menor respuesta a la TRC⁶⁶. La presencia, el tamaño y la heterogeneidad de la cicatriz evaluada con RMC también predicen la incidencia de arritmias ventriculares en pacientes portadores de TRC, por lo que podría ser de utilidad a la hora de decidir si asociar o no un desfibrilador a la TRC⁶⁷.

Por otro lado, la TC es una alternativa no invasiva a la venografía que se suele realizar en el mismo momento del procedimiento para evaluar la anatomía de las venas cardíacas con vistas al implante del electrodo en el VI. Las imágenes de TC permiten ver si existen venas apropiadas para el implante del electrodo y planificar adecuadamente la intervención⁶⁸.

Mediante técnicas de medicina nuclear, también es posible determinar la función sistólica del VI, la presencia de cicatrices y la disincronía mecánica⁶⁹, así como el punto de activación más tardío para guiar el implante del electrodo del VI⁷⁰. Sin embargo, es una técnica de baja resolución espacial, con radiación y procesado complejo, por lo que se utiliza escasamente en la práctica clínica.

OPTIMIZACIÓN DE DISPOSITIVOS

La optimización del intervalo auriculoventricular e interventricular puede ser útil para algunos pacientes con falta de respuesta a la TRC, aunque no se recomienda su uso sistemático³⁸. En la optimización del intervalo auriculoventricular, el método iterativo es el más utilizado. Mediante el Doppler pulsado del llenado del VI, se calcula el tiempo de llenado diastólico desde el inicio de la onda E hasta el final de la onda A; se parte de un intervalo largo que se va reduciendo hasta que aparece la onda A truncada; luego se aumenta lentamente hasta que desaparece la onda A truncada, lo cual se considera como el intervalo óptimo (figura 7). Para la optimización del intervalo interventricular, se utiliza también un método empírico que busca el intervalo VV que proporcione la mayor integral velocidad-tiempo del flujo en el tracto de salida del VI como indicador del volumen latido⁷¹. Asimismo puede optimizarse el intervalo entre ambos ventrículos buscando el que genera mayor sincronía mediante el Doppler tisular aplicado a paredes opuestas del VI; ambos métodos de optimización muestran una buena correlación y mejora en el gasto cardíaco⁷².

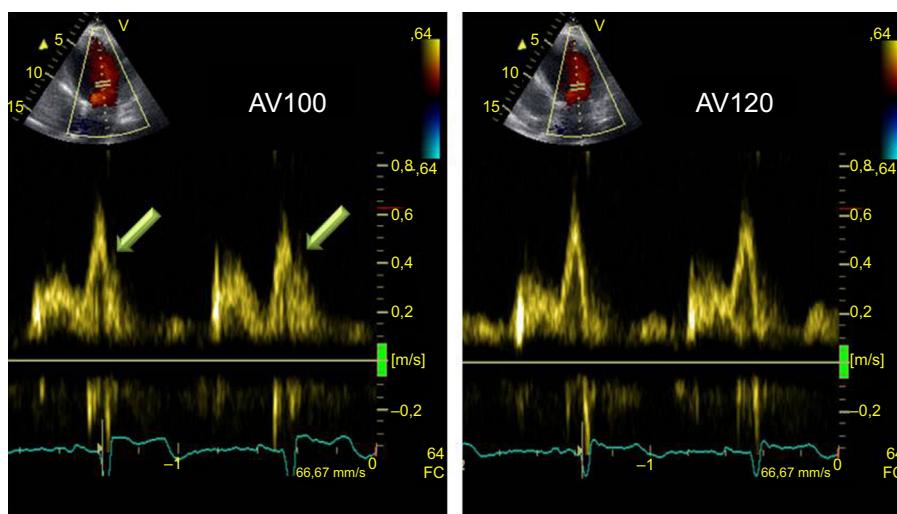


Figura 7. Optimización del intervalo auriculoventricular. Registro de Doppler pulsado espectral del flujo de llenado del ventrículo izquierdo en función del ajuste del intervalo auriculoventricular. Izquierda: con intervalo auriculoventricular de 100 ms, se observa onda A truncada (flechas) al inicio de la sístole. Derecha: tras alargar el intervalo auriculoventricular a 120 ms, se observa desaparición de la onda A truncada. AV: auriculoventricular; FC: frecuencia cardiaca.

La optimización de los dispositivos de TRC induce mejoría clínica de los pacientes tratados con TRC⁷³, aunque su impacto en la supervivencia aún está por demostrarse.

Seguimiento

En el seguimiento de pacientes tratados con TRC, la ecocardiografía es la técnica de imagen cardiaca más empleada, ya que, debido al implante del dispositivo de TRC, el uso de RMC está limitado. La reversión del remodelado cardíaco que se observa en el seguimiento de los pacientes que responden a la TRC se relaciona de manera significativa con la mejoría clínica y la disminución de eventos clínicos en el seguimiento³³. Mediante la ecocardiografía convencional (2D), se ha demostrado que la TRC reduce los volúmenes del VI y mejora la función sistólica⁷⁴ y diastólica⁵⁷ de ambos ventrículos⁷⁵. Asimismo la TRC puede mejorar la insuficiencia mitral, dada la mejora aguda de la sincronía en la contracción de músculos papilares y la mejora a largo plazo del remodelado inverso ventricular⁷⁶ (figura 8).

IMAGEN CARDIOVASCULAR DE PACIENTES CON TAQUICARDIA VENTRICULAR

En algunos pacientes con taquicardia ventricular (TV) sostenida recurrente pese a tratamiento médico, la ablación de la TV se ha convertido en una de las opciones terapéuticas que mejora los síntomas y el pronóstico de los pacientes⁷⁷. Las técnicas de imagen cardiaca también contribuyen a optimizar los resultados de esta terapia.

Selección de candidatos

En el estudio de pacientes con TV, es importante discriminar entre aquellos con corazón estructuralmente normal y los que tienen enfermedad miocárdica (saber si existe cicatriz/fibrosis), ya que esta se asocia a TV peor toleradas y que pueden derivar en fibrilación ventricular. La primera aproximación se hará mediante ecocardiografía convencional pero, ya en los últimos años, distintos estudios se han centrado en la utilización de la RMC con realce tardío para identificar la zona necrótica/fibrótica, estratificar el riesgo de TV, planificar procedimientos de ablación y guiar el procedimiento⁷⁸.

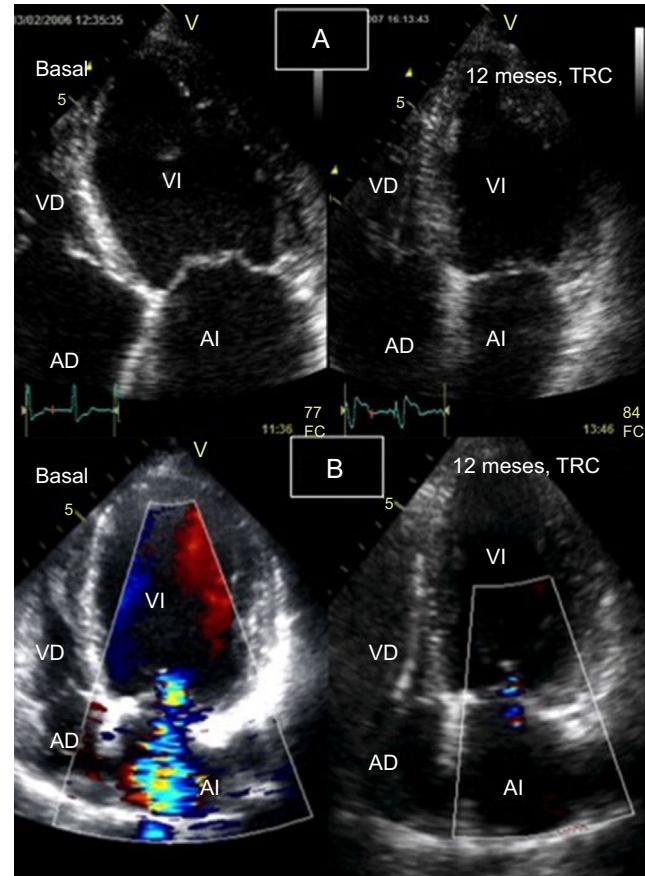


Figura 8. Monitorización de respuesta a la terapia de resincronización cardiaca mediante ecocardiografía bidimensional con Doppler color. A: ventrículo izquierdo en telesistole (desde plano apical de cuatro cámaras), basal (izquierda) y control a los 12 meses (derecha); se objetiva una reducción significativa del volumen telesistólico del ventrículo izquierdo. B: plano apical de cuatro cámaras durante la diástole con Doppler color basal (izquierda), en el que se objetiva insuficiencia mitral grave, y de control a los 12 meses (derecha), que muestra resolución de la insuficiencia mitral y reducción del volumen del ventrículo izquierdo. AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; FC: frecuencia cardiaca; TRC: terapia de resincronización cardiaca; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo.

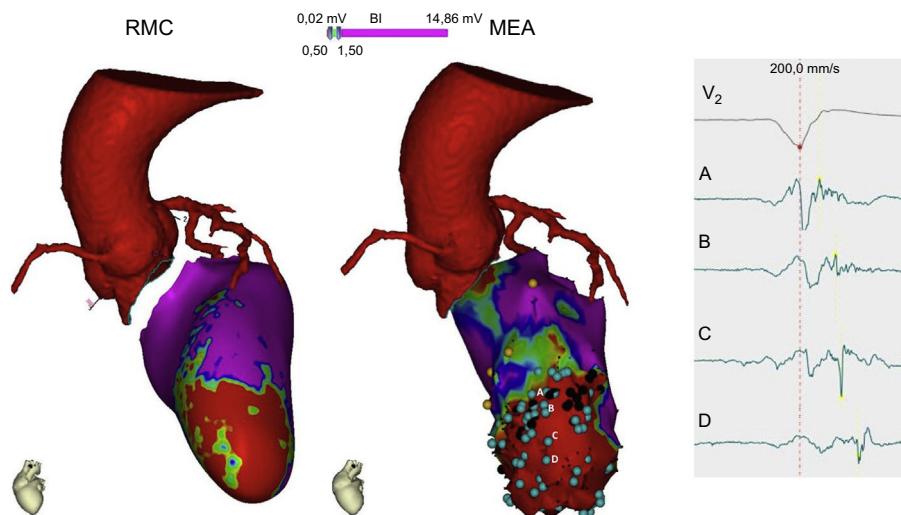


Figura 9. Imagen multimodal con una tomografía computarizada cardiaca para delimitar el trayecto de las arterias coronarias cuando se plantea un abordaje epicárdico de la ablación y con una resonancia magnética cardiaca que demuestra una cicatriz anteroseptal apical (rojo) con un zona de tejido viable en su interior (verde). El mapa electroanatómico endocárdico demuestra una zona de cicatriz densa apical, donde se detectan unos puntos (azules) que crean un canal de conducción lenta desde A hasta D, con retraso progresivo en el electrogramma. Será este canal el sustrato y objetivo de la ablación. MEA: mapa electroanatómico; RMC: resonancia magnética cardiaca. Esta figura se muestra a todo color solo en la versión electrónica del artículo.

Es muy importante identificar el origen de la TV antes de la ablación. La presencia de áreas de necrosis/fibrosis con zonas de tejido viable circundantes es la base de la formación de los circuitos de reentrada de las TV⁷⁹. La RMC con realce tardío se ha convertido en la técnica de elección para identificar y caracterizar este tejido necrótico/fibrótico. La presencia y sobre todo el grado de heterogeneidad de la cicatriz estudiada por RMC con realce tardío se asocian con la incidencia de arritmias ventriculares y con peor pronóstico tanto en pacientes con infarto de miocardio como en aquellos con cardiomiopatías no isquémicas^{67,80}. Además, la distribución del realce tardío en las imágenes de RMC permite diferenciar el origen endocárdico y/o epicárdico de las TV, lo que facilita la planificación y la aproximación (epicárdica, endocárdica o ambas) de la ablación⁸¹.

Guía intraprocedimiento

De la misma manera que pasa en la ablación de la FA, las imágenes posprocesadas de la RMC con realce tardío se pueden integrar dentro de los sistemas de navegación para guiar la ablación de la TV y han mostrado buena correlación con los mapeos electroanatómicos⁸². Se ha podido identificar por RMC con realce 3D canales de conducción entre las células viables de la cicatriz para poder guiar los procedimientos de ablación⁸³ (figura 9). Sin embargo, hay aún algunas limitaciones técnicas (escasa resolución espacial) y falta estandarizar los algoritmos de posprocesado de la señal que definen la zona perinfarto (*borderzone*) y la fibrosis/necrosis. Cabe añadir que muchos de estos pacientes ya son portadores de dispositivos automáticos implantables en el momento que se plantea la ablación de la TV, lo cual actualmente dificulta el estudio por RMC, a pesar de las constantes mejoras tecnológicas⁸⁴. Otra alternativa es realizar una TC cardiaca que permita visualizar la cicatriz y fusionar las imágenes en 3D con el sistema de mapeo para guiar la ablación⁸⁵.

Seguimiento

En cuanto el seguimiento de estos pacientes, el papel de las técnicas de imagen estaría relegado a detectar complicaciones durante el procedimiento, como el taponamiento cardíaco, que se

diagnosticarían con la ecocardiografía transtorácica. Después de la ablación se podría realizar una RMC para detectar alguna complicación poco frecuente, como el *steampop* (daño miocárdico por excesivo calentamiento secundario a la radiofrecuencia) o el grado de lesión tras la ablación (su transmuralidad), aunque hay poca bibliografía al respecto.

En cuanto a las líneas futuras en este campo, la RMC en tiempo real sería una alternativa para guiar los estudios electrofisiológicos, sin exposición a radiación y con monitorización directa de la lesión que se está generando, en contraposición a los procedimientos estándares con fluoroscopia⁸⁶.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

BIBLIOGRAFÍA

1. Go AS, Hylek EM, Phillips KA, Chang Y, Henault LE, Selby JV, et al. Prevalence of diagnosed atrial fibrillation in adults: national implications for rhythm management and stroke prevention: the AnTicoagulation and Risk Factors in Atrial Fibrillation (ATRIA) Study. JAMA. 2001;285:2370–5.
2. Sitges M, Teijeira VA, Scalise A, Vidal B, Tamborero D, Collvinent B, et al. Is there an anatomical substrate for idiopathic paroxysmal atrial fibrillation? A case-control echocardiographic study. Europace. 2007;9:294–8.
3. Tsai WC, Lee CH, Lin CC, Liu YW, Huang YY, Li WT, et al. Association of left atrial strain and strain rate assessed by speckle tracking echocardiography with paroxysmal atrial fibrillation. Echocardiography. 2009;26:1188–94.
4. Montserrat S, Gabrielli L, Borras R, Poyatos S, Berreuxo A, Bijnens B, et al. Left atrial size and function by three-dimensional echocardiography to predict arrhythmia recurrence after first and repeated ablation of atrial fibrillation. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2014;15:515–22.
5. Mor-Avi V, Yodwut C, Jenkins C, Kuhl H, Nesser HJ, Marwick TH, et al. Real-time 3D echocardiographic quantification of left atrial volume: multicenter study for validation with CMR. JACC Cardiovasc Imaging. 2012;5:769–77.
6. Parkash R, Green MS, Kerr CR, Connolly SJ, Klein GJ, Sheldon R, et al. The association of left atrial size and occurrence of atrial fibrillation: a prospective cohort study from the Canadian Registry of Atrial Fibrillation. Am Heart J. 2004;148:649–54.
7. Berreuxo A, Tamborero D, Mont L, Benito B, Tolosana JM, Sitges M, et al. Pre-procedural predictors of atrial fibrillation recurrence after circumferential pulmonary vein ablation. Eur Heart J. 2007;28:836–41.
8. Parikh SS, Jons C, McNitt S, Daubert JP, Schwarz KQ, Hall B. Predictive capability of left atrial size measured by CT, TEE, and TTE for recurrence of atrial fibrillation

- following radiofrequency catheter ablation. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2010;33:532–40.
9. Bisbal F, Guiu E, Calvo N, Marin D, Berzueto A, Arbelo E, et al. Left atrial sphericity: a new method to assess atrial remodeling. Impact on the outcome of atrial fibrillation ablation. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2013;24:752–9.
 10. Hoit BD. Left atrial size and function: role in prognosis. *J Am Coll Cardiol.* 2014;63:493–505.
 11. Abhayaratna WP, Fatema K, Barnes ME, Seward JB, Gersh BJ, Bailey KR, et al. Left atrial reservoir function as a potent marker for first atrial fibrillation or flutter in persons ≥65 years of age. *Am J Cardiol.* 2008;101:1626–9.
 12. Hirose T, Kawasaki M, Tanaka R, Ono K, Watanabe T, Iwama M, et al. Left atrial function assessed by speckle tracking echocardiography as a predictor of new-onset non-valvular atrial fibrillation: results from a prospective study in 580 adults. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2012;13:243–50.
 13. Montserrat S, Gabrielli L, Bijnen B, Borras R, Berzueto A, Poyatos S, et al. Left atrial deformation predicts success of first and second percutaneous atrial fibrillation ablation. *Heart Rhythm.* 2015;12:11–8.
 14. Marrouche NF, Wilber D, Hindricks G, Jais P, Akoum N, Marchlinski F, et al. Association of atrial tissue fibrosis identified by delayed enhancement MRI and atrial fibrillation catheter ablation: the DECAF study. *JAMA.* 2014;311:498–506.
 15. Higuchi K, Akkaya M, Akoum N, Marrouche NF. Cardiac MRI assessment of atrial fibrosis in atrial fibrillation: implications for diagnosis and therapy. *Heart.* 2014;100:590–6.
 16. Karim R, Housden RJ, Balasubramaniam M, Chen Z, Perry D, Uddin A, et al. Evaluation of current algorithms for segmentation of scar tissue from late gadolinium enhancement cardiovascular magnetic resonance of the left atrium: an open-access grand challenge. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2013;15:105.
 17. Calvo N, Mont L, Vidal B, Nadal M, Montserrat S, Andreu D, et al. Usefulness of transesophageal echocardiography before circumferential pulmonary vein ablation in patients with atrial fibrillation: is it really mandatory? *Europace.* 2011;13:486–91.
 18. Puwanat S, Varr BC, Shrestha K, Hussain SK, Tang WH, Gabriel RS, et al. Role of the CHADS₂ score in the evaluation of thromboembolic risk in patients with atrial fibrillation undergoing transesophageal echocardiography before pulmonary vein isolation. *J Am Coll Cardiol.* 2009;54:2032–9.
 19. Zou H, Zhang Y, Tong J, Liu Z. Multidetector computed tomography for detecting left atrial/left atrial appendage thrombus: a meta-analysis. *Intern Med J.* 2015;45:1044–53.
 20. Mansour M, Holmvang G, Sosnovik D, Migrino R, Abbara S, Ruskin J, et al. Assessment of pulmonary vein anatomic variability by magnetic resonance imaging: implications for catheter ablation techniques for atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2004;15:387–93.
 21. Mulder AA, Wijffels MC, Wever EF, Boersma LV. Pulmonary vein anatomy and long-term outcome after multi-electrode pulmonary vein isolation with phased radiofrequency energy for paroxysmal atrial fibrillation. *Europace.* 2011;13:1557–61.
 22. Den Uijl DW, Tops LF, Delgado V, Schuijf JD, Kroft LJ, De Roos A, et al. Effect of pulmonary vein anatomy and left atrial dimensions on outcome of circumferential radiofrequency catheter ablation for atrial fibrillation. *Am J Cardiol.* 2011;107:243–9.
 23. Schmidt M, Daccarett M, Marschang H, Ritscher G, Turschner O, Brachmann J, et al. Intracardiac echocardiography improves procedural efficiency during cryoballoon ablation for atrial fibrillation: a pilot study. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2010;21:1202–7.
 24. Terasawa T, Balk EM, Chung M, Garlitski AC, Alsheikh-Ali AA, Lau J, et al. Systematic review: comparative effectiveness of radiofrequency catheter ablation for atrial fibrillation. *Ann Intern Med.* 2009;151:191–202.
 25. Delgado V, Vidal B, Sitges M, Tamborero D, Mont L, Berzueto A, et al. Fate of left atrial function as determined by real-time three-dimensional echocardiography study after radiofrequency catheter ablation for the treatment of atrial fibrillation. *Am J Cardiol.* 2008;101:1285–90.
 26. Perea RJ, Tamborero D, Mont L, De Caralt TM, Ortiz JT, Berzueto A, et al. Left atrial contractility is preserved after successful circumferential pulmonary vein ablation in patients with atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2008;19:374–9.
 27. Lemola K, Snider M, Desjardins B, Case I, Chugh A, Hall B, et al. Effects of left atrial ablation of atrial fibrillation on size of the left atrium and pulmonary veins. *Heart Rhythm.* 2004;1:576–81.
 28. Jeevanantham V, Ntimp W, Navaneethan SD, Shah S, Johnson AC, Hall B, et al. Meta-analysis of the effect of radiofrequency catheter ablation on left atrial size, volumes and function in patients with atrial fibrillation. *Am J Cardiol.* 2010;105:1317–26.
 29. Bisbal F, Guiu E, Cabanas-Grandio P, Berzueto A, Prat-Gonzalez S, Vidal B, et al. CMR-guided approach to localize and ablate gaps in repeat AF ablation procedure. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2014;7:653–63.
 30. Martín-Garre S, Pérez-Castellano N, Quintanilla JG, Ferreiros J, Pérez-Villacastín J. Predictores de pérdida luminal de venas pulmonares tras ablación por radiofrecuencia. *Rev Esp Cardiol.* 2015;68:1085–91.
 31. Gupta A, Perera T, Ganeshan A, Sullivan T, Lau DH, Roberts-Thomson KC, et al. Complications of catheter ablation of atrial fibrillation: a systematic review. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2013;6:1082–8.
 32. Rihal CS, Nishimura RA, Hatle LK, Bailey KR, Tajik AJ. Systolic and diastolic dysfunction in patients with clinical diagnosis of dilated cardiomyopathy. Relation to symptoms and prognosis. *Circulation.* 1994;90:2772–9.
 33. Santangeli P, Di Biase L, Pelargonio G, Dello Russo A, Casella M, Bartoletti S, et al. Cardiac resynchronization therapy in patients with mild heart failure: a systematic review and meta-analysis. *J Interv Card Electrophysiol.* 2011;32:125–35.
 34. Parsai C, Bijnen B, Sutherland GR, Baltabaeva A, Claus P, Marcinak M, et al. Toward understanding response to cardiac resynchronization therapy: left ventricular dyssynchrony is only one of multiple mechanisms. *Eur Heart J.* 2009;30:940–9.
 35. Eicher JC, Laurent G, Mathe A, Barthez O, Bertaux G, Philip JL, et al. Atrial dyssynchrony syndrome: an overlooked phenomenon and a potential cause of 'diastolic' heart failure. *Eur J Heart Fail.* 2012;14:248–58.
 36. Galderisi M, Cattaneo F, Mondillo S. Doppler echocardiography and myocardial dyssynchrony: a practical update of old and new ultrasound technologies. *Cardiovasc Ultrasound.* 2007;5:28.
 37. Laurent G, Eicher JC, Mathe A, Bertaux G, Barthez O, Debin R, et al. Permanent left atrial pacing therapy may improve symptoms in heart failure patients with preserved ejection fraction and atrial dyssynchrony: a pilot study prior to a national clinical research programme. *Eur J Heart Fail.* 2013;15:85–93.
 38. Brignole M, Auricchio A, Baron-Esquivias G, Bordachar P, Boriani G, Breithardt OA, et al. 2013 ESC Guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy: the Task Force on cardiac pacing and resynchronization therapy of the European Society of Cardiology (ESC). Developed in collaboration with the European Heart Rhythm Association (EHRA). *Eur Heart J.* 2013;34:2281–329.
 39. Grupo de Trabajo de la SEC para la guía de la ESC 2013 sobre estimulación cardíaca y terapia de resincronización cardíaca, revisores expertos para la guía de la ESC 2013 sobre estimulación cardíaca y terapia de resincronización cardíaca y Comité de Guías de la SEC. Comentarios a la guía de práctica clínica de la ESC 2013 sobre estimulación cardíaca y terapia de resincronización cardíaca. *Rev Esp Cardiol.* 2014;67:6–14.
 40. Delgado V, Van Bommel RJ, Bertini M, Borleffs CJ, Marsan NA, Arnold CT, et al. Relative merits of left ventricular dyssynchrony, left ventricular lead position, and myocardial scar to predict long-term survival of ischemic heart failure patients undergoing cardiac resynchronization therapy. *Circulation.* 2011;123:70–8.
 41. Cazeau S, Bordachar P, Jauvert G, Lazarus A, Alonso C, Vandrell MC, et al. Echocardiographic modeling of cardiac dyssynchrony before and during multisite stimulation: a prospective study. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2003;26:137–43.
 42. Pitzalis MV, Iacoviello M, Romito R, Massari F, Rizzon B, Luzzi G, et al. Cardiac resynchronization therapy tailored by echocardiographic evaluation of ventricular asynchrony. *J Am Coll Cardiol.* 2002;40:1615–22.
 43. Pitzalis MV, Iacoviello M, Romito R, Guida P, De Tommasi E, Luzzi G, et al. Ventricular asynchrony predicts a better outcome in patients with chronic heart failure receiving cardiac resynchronization therapy. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:65–9.
 44. Diaz-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.
 45. Yu CM, Bax JJ, Gorcsan 3rd J. Critical appraisal of methods to assess mechanical dyssynchrony. *Curr Opin Cardiol.* 2009;24:18–28.
 46. Yu CM, Gorcsan 3rd J, Bleeker GB, Zhang Q, Schalij MJ, Suffoletto MS, et al. Usefulness of tissue Doppler velocity and strain dyssynchrony for predicting left ventricular reverse remodeling response after cardiac resynchronization therapy. *Am J Cardiol.* 2007;100:1263–70.
 47. Yu CM, Fung JW, Zhang Q, Chan CK, Chan YS, Lin H, et al. Tissue Doppler imaging is superior to strain rate imaging and postsystolic shortening on the prediction of reverse remodeling in both ischemic and nonischemic heart failure after cardiac resynchronization therapy. *Circulation.* 2004;110:66–73.
 48. Delgado V, Ypenburg C, Van Bommel RJ, Tops LF, Mollema SA, Marsan NA, et al. Assessment of left ventricular dyssynchrony by speckle tracking strain imaging comparison between longitudinal, circumferential, and radial strain in cardiac resynchronization therapy. *J Am Coll Cardiol.* 2008;51:1944–52.
 49. Suffoletto MS, Dohi K, Cannesson M, Saba S, Gorcsan 3rd J. Novel speckle-tracking radial strain from routine black-and-white echocardiographic images to quantify dyssynchrony and predict response to cardiac resynchronization therapy. *Circulation.* 2006;113:960–8.
 50. Gorcsan 3rd J, Tabane M, Bleeker GB, Suffoletto MS, Thomas NC, Saba S, et al. Combined longitudinal and radial dyssynchrony predicts ventricular response after resynchronization therapy. *J Am Coll Cardiol.* 2007;50:1476–83.
 51. Saba S, Marek J, Schwartzman D, Jain S, Adelstein E, White P, et al. Echocardiography-guided left ventricular lead placement for cardiac resynchronization therapy: results of the Speckle Tracking Assisted Resynchronization Therapy for Electrode Region trial. *Circ Heart Fail.* 2013;6:427–34.
 52. Kleijn SA, Aly MF, Knol DL, Terwee CB, Jansma EP, Abd El-Hady YA, et al. A meta-analysis of left ventricular dyssynchrony assessment and prediction of response to cardiac resynchronization therapy by three-dimensional echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2012;13:763–75.
 53. Delgado V, Sitges M, Vidal B, Silva E, Azqueta M, Tolosana JM, et al. Estudio de la asincronía ventricular izquierda con ecocardiografía tridimensional en tiempo real. *Rev Esp Cardiol.* 2008;61:825–34.
 54. Van de Veire NR, Bleeker GB, Ypenburg C, De Sutter J, Ajmone Marsan N, Holman ER, et al. Usefulness of triplane tissue Doppler imaging to predict acute response to cardiac resynchronization therapy. *Am J Cardiol.* 2007;100:476–82.
 55. Tatsumi K, Tanaka H, Tsuji T, Kaneko A, Ryo K, Yamawaki K, et al. Strain dyssynchrony index determined by three-dimensional speckle area tracking can predict response to cardiac resynchronization therapy. *Cardiovasc Ultrasound.* 2011;9:11.

56. Chung ES, Leon AR, Tavazzi L, Sun JP, Nihoyannopoulos P, Merlino J, et al. Results of the Predictors of Response to CRT (PROSPECT) trial. *Circulation.* 2008;117:2608–16.
57. Doltra A, Bijnens B, Tolosana JM, Gabrielli L, Castel MA, Berreuzo A, et al. Effect of cardiac resynchronization therapy on left ventricular diastolic function: implications for clinical outcome. *J Card Fail.* 2014;20: 377.e1–7.
58. Silva E, Bijnens B, Berreuzo A, Mont L, Doltra A, Andreu D, et al. Integración de la imagen mecánica, estructural y eléctrica para entender la respuesta a la terapia de resincronización cardíaca. *Rev Esp Cardiol.* 2014;67:813–21.
59. Khatib M, Tolosana JM, Trucco E, Borras R, Castel A, Berreuzo A, et al. EAARN score, a predictive score for mortality in patients receiving cardiac resynchronization therapy based on pre-implantation risk factors. *Eur J Heart Fail.* 2014;16:802–9.
60. Doltra A, Bijnens B, Tolosana JM, Borras R, Khatib M, Penela D, et al. Mechanical abnormalities detected with conventional echocardiography are associated with response and midterm survival in CRT. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2014;7:969–79.
61. Chalil S, Stegemann B, Muhyaldeen S, Khadjooi K, Smith RE, 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.
62. Bilchick KC, Dimaano V, Wu KC, Helm RH, Weiss RG, Lima JA, et al. Cardiac magnetic resonance assessment of dyssynchrony and myocardial scar predicts function class improvement following cardiac resynchronization therapy. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2008;1:561–8.
63. Westenberg JJ, Lamb HJ, Van der Geest RJ, Bleeker GB, Holman ER, Schalij MJ, et al. Assessment of left ventricular dyssynchrony in patients with conduction delay and idiopathic dilated cardiomyopathy: head-to-head comparison between tissue doppler imaging and velocity-encoded magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47:2042–8.
64. Leyva F, Foley PW, Chalil S, Ratib K, Smith RE, Prinzen F, et al. Cardiac resynchronization therapy guided by late gadolinium-enhancement cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2011;13:29.
65. Chalil S, Foley PW, Muhyaldeen SA, Patel KC, Yousef ZR, Smith RE, et al. Late gadolinium enhancement-cardiovascular magnetic resonance as a predictor of response to cardiac resynchronization therapy in patients with ischaemic cardiomyopathy. *Europace.* 2007;9:1031–7.
66. Bleeker GB, Kaandorp TA, 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.
67. Fernandez-Armenta J, Berreuzo A, Mont L, Sitges M, Andreu D, Silva E, et al. Use of myocardial scar characterization to predict ventricular arrhythmia in cardiac resynchronization therapy. *Europace.* 2012;14:1578–86.
68. Catanzaro JN, Makaryus JN, Jadonath R, Makaryus AN. Planning and guidance of cardiac resynchronization therapy-lead implantation by evaluating coronary venous anatomy assessed with multidetector computed tomography. *Clin Med Insights Cardiol.* 2014;8:43–50.
69. Botvinick EH. Scintigraphic blood pool and phase image analysis: the optimal tool for the evaluation of resynchronization therapy. *J Nucl Cardiol.* 2003;10:424–8.
70. Boogers MJ, Chen J, Van Bommel RJ, Borleffs CJ, Dibbets-Schneider P, Van der Hiel B, et al. Optimal left ventricular lead position assessed with phase analysis on gated myocardial perfusion SPECT. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2011;38:230–8.
71. Porciani MC, Dondina C, Macioce R, Demarchi G, Cappelli F, Lilli A, et al. Temporal variation in optimal atrioventricular and interventricular delay during cardiac resynchronization therapy. *J Card Fail.* 2006;12:715–9.
72. Silva E, Sitges M, Mont L, Delgado V, Tamborero D, Vidal B, et al. Quantification of left ventricular asynchrony throughout the whole cardiac cycle with a computed algorithm: application for optimizing resynchronization therapy. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2009;20:1130–6.
73. Mullens W, Grimm RA, Verga T, Dresing T, Starling RC, Wilkoff BL, et al. Insights from a cardiac resynchronization optimization clinic as part of a heart failure disease management program. *J Am Coll Cardiol.* 2009;53:765–73.
74. Linde C, Leclercq C, Rex S, Garrigue S, Lavergne T, Cazeau S, et al. Long-term benefits of biventricular pacing in congestive heart failure: results from the MULTisite STimulation in cardiomyopathy (MUSTIC) study. *J Am Coll Cardiol.* 2002;40:111–8.
75. D'Andrea A, Salerno G, Scarafale R, Riegler L, Gravino R, Castaldo F, et al. Right ventricular myocardial function in patients with either idiopathic or ischemic dilated cardiomyopathy without clinical sign of right heart failure: effects of cardiac resynchronization therapy. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2009;32: 1017–29.
76. Sitges M, Vidal B, Delgado V, Mont L, Garcia-Alvarez A, Tolosana JM, et al. Long-term effect of cardiac resynchronization therapy on functional mitral valve regurgitation. *Am J Cardiol.* 2009;104:383–8.
77. Izquierdo M, Ruiz-Granell R, Ferrero A, Martinez A, Sanchez-Gomez J, Bonanad C, et al. Ablation or conservative management of electrical storm due to monomorphic ventricular tachycardia: differences in outcome. *Europace.* 2012;14:1734–9.
78. Zimmerman SL, Nazarian S. Cardiac MRI in the treatment of arrhythmias. *Expert Rev Cardiovasc Ther.* 2013;11:1843–51.
79. De Bakker JM, Van Capelle FJ, Janse MJ, Wilde AA, Coronel R, Becker AE, et al. Reentry as a cause of ventricular tachycardia in patients with chronic ischemic heart disease: electrophysiologic and anatomic correlation. *Circulation.* 1988;77:589–606.
80. Wu E, Ortiz JT, Tejedor P, Lee DC, Bucciarelli-Ducci C, Kansal P, et al. Infarct size by contrast enhanced cardiac magnetic resonance is a stronger predictor of outcomes than left ventricular ejection fraction or end-systolic volume index: prospective cohort study. *Heart.* 2008;94:730–6.
81. Andreu D, Ortiz-Perez JT, Bousy T, Fernandez-Armenta J, De Caralt TM, Perea RJ, et al. Usefulness of contrast-enhanced cardiac magnetic resonance in identifying the ventricular arrhythmia substrate and the approach needed for ablation. *Eur Heart J.* 2014;35:1316–26.
82. Andreu D, Berreuzo A, Ortiz-Perez JT, Silva E, Mont L, Borras R, et al. Integration of 3D electroanatomic maps and magnetic resonance scar characterization into the navigation system to guide ventricular tachycardia ablation. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2011;4:674–83.
83. Fernandez-Armenta J, Berreuzo A, Andreu D, Camara O, Silva E, Serra L, et al. Three-dimensional architecture of scar and conducting channels based on high resolution ce-CMR: insights for ventricular tachycardia ablation. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2013;6:528–37.
84. Stevens SM, Tung R, Rashid S, Gima J, Cote S, Pavez G, et al. Device artifact reduction for magnetic resonance imaging of patients with implantable cardioverter-defibrillators and ventricular tachycardia: late gadolinium enhancement correlation with electroanatomic mapping. *Heart Rhythm.* 2014;11: 289–98.
85. Tian J, Jeudy J, Smith MF, Jimenez A, Yin X, Bruce PA, et al. Three-dimensional contrast-enhanced multidetector CT for anatomic, dynamic, and perfusion characterization of abnormal myocardium to guide ventricular tachycardia ablations. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2010;3:496–504.
86. Sommer P, Grothoff M, Etzel C, Gaspar T, Piorkowski C, Gutberlet M, et al. Feasibility of real-time magnetic resonance imaging-guided electrophysiology studies in humans. *Europace.* 2013;15:101–8.