

Eco-fusión. Aplicación en el intervencionismo estructural cardíaco

Miguel Ángel García Fernández
José Julián Carvajal Rivera
José Alberto de Agustín
Pedro Marcos-Alberca
Luis Nombela Franco
Pilar Jiménez Quevedo
Carlos Macaya Miguel
Leopoldo Pérez de Isla

Correspondencia

Miguel Ángel García Fernández.
Departamento Medicina.
Facultad de Medicina,
Plaza Ramón y Cajal S/N
28040 Madrid
garciafernandez@ecocardio.com

Instituto Cardiovascular Clínico. Hospital Universitario Clínico San Carlos. Madrid. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. España

Palabras clave

- ▷ Imágenes de fusión
- ▷ Enfermedades estructurales del corazón
- ▷ Guía intervencionista

Keywords

- ▷ Fusion imaging
- ▷ Structural heart disease
- ▷ Interventional guidance

RESUMEN

La evolución en el intervencionismo estructural percutáneo ha generado un desarrollo paralelo en las técnicas de imagen avanzada. La ecocardiografía en el intervencionismo estructural juega un papel básico en la selección de los pacientes, en la valoración durante el procedimiento y en el análisis inmediato de los resultados y la detección precoz de complicaciones. Las imágenes de fusión eco/fluoroscopia aparecen como una herramienta complementaria en la que dos técnicas con imágenes dinámicas se complementan en una sola imagen con el fin de orientar, disminuir el tiempo de intervención y disminuir las complicaciones.

ABSTRACT

The evolution in percutaneous structural intervention has generated a parallel development in advanced imaging techniques. Echocardiography plays a key role in structural intervention in patient selection, assessment during the fluoroscopy and immediate analysis of outcomes and early detection of complications; echo-fusion images appear as a complementary tool in which two techniques with dynamic images are complemented in a single image in order to guide, decrease intervention time and reduce complications.

Introducción

La evolución en el intervencionismo estructural percutáneo ha generado un desarrollo paralelo en las técnicas de imagen avanzada teniendo en cuenta que este tipo de procedimientos requiere una comprensión total de la anatomía cardíaca con el fin de garantizar los mejores resultados⁽¹⁾. La fluoroscopia se ha utilizado como guía en tiempo real para los procedimientos de intervención percutánea estructural complementado por ecocardiografía transesofágica tanto bidimensional como tridimensional en tiempo real⁽²⁾. Sin embargo, todas las técnicas tienen limitaciones; la fluoroscopia provee información importante como la visualización de estructuras óseas, cables y dispositivos y también un mayor campo de visión, pero con una clara limitación en la definición de tejidos blandos y en la visualización de cavidades cardíacas y tejidos adyacentes.

La ecocardiografía juega un papel básico en el control del intervencionismo estructural no sólo en la selección de los pacientes, sino en la valoración del intervencionismo tanto en el análisis inmediato de los resultados como en la detección precoz de las complicaciones. Sin duda la ecocardiografía transesofágica y, específicamente, la imagen transesofágica tridimensional se convierten en una herramienta rutinaria en los laboratorios de hemodinámica⁽³⁾.

La identificación de las estructuras en tres dimensiones en múltiples modalidades de imagen y la comunicación efectiva son piezas fundamentales en la seguridad y el éxito de las intervenciones⁽⁴⁾. Para facilitar esta tarea, las imágenes de fusión aparecen como una herramienta complementaria en la que dos

o más técnicas se complementan en una sola imagen con el fin de orientar, disminuir el tiempo de intervención y disminuir las complicaciones.

Previamente ya existían técnicas de fusión, sin embargo, en estos estudios de fusión se utilizaban imágenes estáticas⁽⁵⁻⁷⁾. Recientemente la mejoría tecnológica⁽⁸⁾ ha capacitado la integración en una misma pantalla de las imágenes de rayos X proporcionadas por la angiografía y las imágenes dinámicas de ecocardiografía en sus diferentes modalidades obtenidas por vía esofágica.

Fusión ecocardiografía 3D/fluoroscopia

Técnica

La tecnología de la eco-fusión integra dos técnicas de imágenes dinámicas de un corazón en movimiento. El adecuado registro y visualización de fluoroscopia y ecocardiografía transesofágica es la clave en la obtención de resultados óptimos. Esta sincronización se obtiene mediante un algoritmo de calibración entre la sonda transesofágica y el fluoroscopio⁽⁹⁾ gracias a que automáticamente el sistema identifica la sonda y genera una imagen sobrepuesta a la previa de fluoroscopio. Una vez se genera esta fusión, el sistema genera una imagen compuesta que sigue la rotación del brazo del fluoroscopio. La pantalla dedicada al intervencionista ofrece la posibilidad de cuatro imágenes simultáneas con diferentes funciones. La confirmación de la ubicación del registro de la sonda se puede ver representado de dos maneras, color verde si es adecuado o color rojo si no lo es (Figura 1).

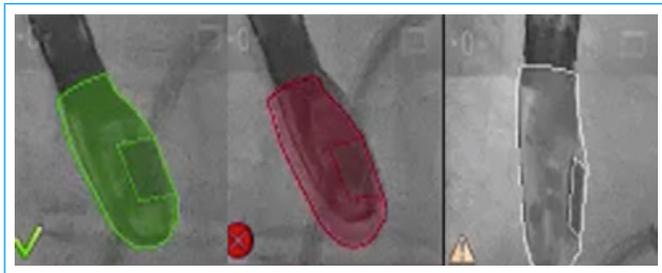


Figura 1. Registro de la sonda en la pantalla de fusión (Verde: adecuado registro; Rojo: pérdida del registro; Blanco: inactividad prolongada)

Es importante recalcar que las funciones de la ecocardiografía transesofágica se pueden emplear en sus diferentes modalidades tales como 2D, 3D y color Doppler, así como la integración de visualización en X-plane, 3D zoom y 3D full volumen.

El intervencionismo estructural, hace que la fusión de imágenes sea una herramienta muy útil⁽⁴⁾, con la posibilidad de ubicar marcadores para identificar puntos o regiones de interés para el intervencionista y al mismo tiempo trasladar la información del ecocardiografía a la imagen de fluoroscopia.

Las imágenes multiplanares tridimensionales ofrecen una localización precisa, razón por la que es la modalidad más recomendada en la práctica actual. Una vez se realiza la marcación del sitio de interés, éste aparecerá en la imagen de fluoroscopia que permanecerá fija sin importar el movimiento del arco de fluoroscopia. No obstante, se debe tener precaución con la influencia de los movimientos verticales (mesa) en la pérdida de los marcadores, lo que llevaría a un reinicio del registro y posicionamiento de la sonda.

En base a lo anterior es importante mencionar que existen tres posibles causas por las que se podría desajustar el registro. Una de ellas cuando la sonda lleva mucho tiempo sin registrarse y debido a algún movimiento del brazo o la mesa se pierden todos los puntos de referencia marcados; otra es la naturaleza estática de los marcadores, que no responden a los movimientos traslacionales como la respiración y, por último, pequeños movimientos durante el procedimiento que causan desajustes.

Teniendo en cuenta las ventajas de la imagen de fusión dinámica ecocardiografía-fluoroscopia, y la utilización de la misma en múltiples procedimientos estructurales en la actualidad^(10,11), a continuación, se presenta su utilidad clínica en cada uno de los procedimientos.

Utilidad clínica

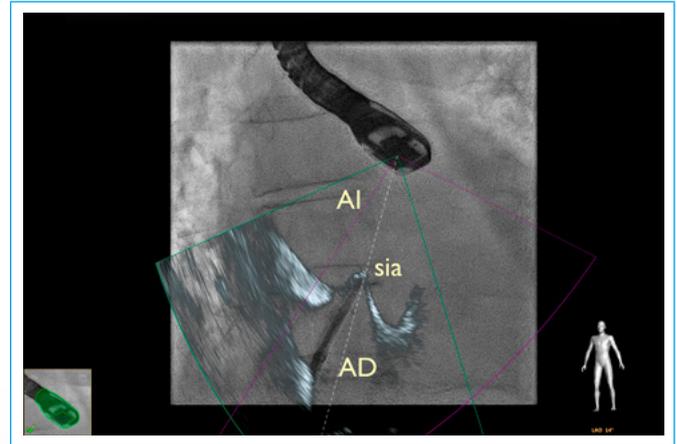
Punción transeptal

Sin duda el momento crítico en la mayoría de los procedimientos estructurales es la punción transeptal. La importancia de hacer una adecuada punción está relacionada con dos hechos (**Figura 2, Video 1**):

- Permite evitar complicaciones relacionadas por la proximidad a estructuras vitales, fundamentalmente la raíz aórtica, que es específicamente un área en ocasiones mal valorada en la angiografía⁽⁴⁾.
- En determinados procedimientos, como el implante del MitraClip®, se precisa una punción en el septo posterior y superior de la fosa al plano del anillo mitral, que sin la técnica de ecocardiografía sería muy complejo realizar con fluoroscopia.

El procedimiento más adecuado es seleccionar el punto de punción en el septo mediante la utilización de ecocardiografía transesofágica biplanar con dos planos ortogonales. Posteriormente, se realiza la marcación del

punto de referencia en la imagen de ecocardiografía biplanar. Dependiendo del procedimiento la punción se puede realizar inferoposterior (cierre de orejuela izquierda) o posterosuperior (> 4,5 cm por encima del anillo mitral en caso de la implantación de MitraClip®). Una vez definido el punto, se transfiere y valida a la imagen angiográfica, con lo que el cardiólogo intervencionista tendrá sumada a la angiografía el punto adecuado de punción en el septo.



Video 1. Imagen de fusión. Punción septal durante el procedimiento de colocación de MitraClip®. Se observa las aurículas y su relación con respecto al sitio de punción (AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; sia: septo interauricular)

Es viable emplear dos opciones de visualización, la vista bicava sobrepuesta en la fluoroscopia, que ofrece una opción rápida y segura en la punción del septo interatrial, o bien una imagen de cuatro cámaras a 0° para medir las distancias requeridas según el procedimiento. La primera opción es más frecuente con buenos resultados de seguridad⁽⁴⁾. Recientemente Afzal *et al.* evaluaron la seguridad y eficacia de la punción guiada por imagen de fusión, encontrando que no hubo efectos adversos en el empleo de la técnica y el tiempo de realización fue significativamente menor en el grupo de fusión⁽¹²⁾.

Ocasionalmente la utilización de la ecocardiografía tridimensional permite una aproximación más adecuada a zonas más precisas del septo interauricular, fundamentalmente en la localización de la fosa oval, y este dato puede ser importante en el lugar de punción en los casos de foramen oval permeable.

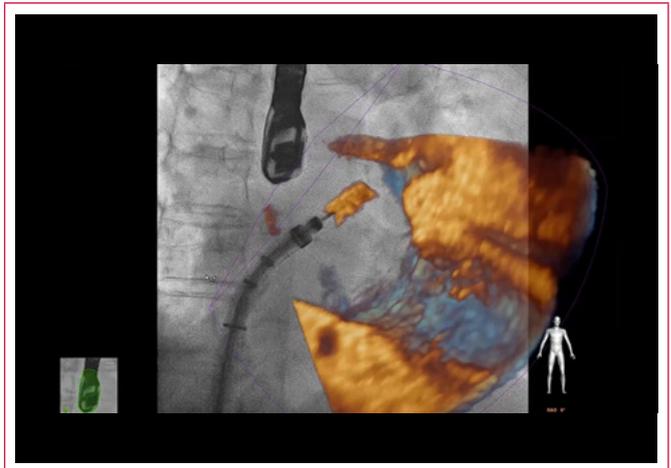
Reparación mitral transcáteter

Sin duda es el procedimiento percutáneo que tiene más dependencia de la técnica de imagen hasta el extremo que sin la ayuda de la imagen cardíaca, y específicamente la ecocardiografía transesofágica, sería imposible el implante del MitraClip® en una indicación cada vez más extendida como alternativa a la cirugía de la regurgitación mitral⁽¹³⁾.

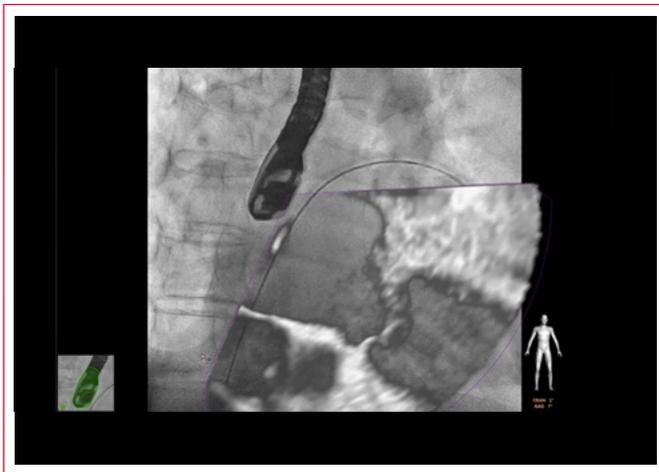
La valoración del procedimiento comienza con la localización adecuada del punto de punción transeptal. Este punto es muy crítico, puesto que se debe elegir un área de localización superior con una distancia mínima al plano de la válvula mitral de 4 cm. Esta distancia va a permitir tener suficiente campo para dirigir el catéter portador del clip después de una flexión importante de éste hacia el plano del anillo mitral (**Video 2, Video 3**).

Una vez realizada la punción, se posiciona un guía en la vena pulmonar superior izquierda. Luego, se intercambia por una guía de alto soporte y se avanza

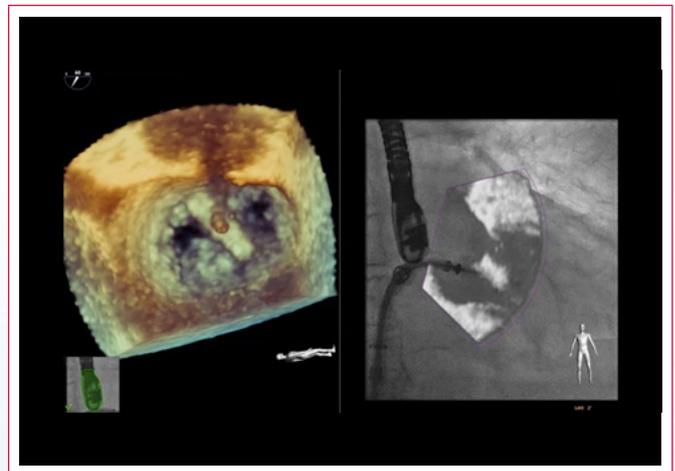
el catéter guía hasta posicionarlo en la auricular izquierda. A través del catéter guía se avanza el clip y se posiciona perpendicular a la válvula mitral a nivel de la regurgitación. La técnica de fusión permite localizar en la imagen de la ecocardiografía tridimensional tres puntos de referencia; el primero localizado en la zona de la punción transeptal, el segundo en la entrada de la vena pulmonar y el tercero en el lugar de la localización de la insuficiencia mitral. De esta manera, estos tres puntos delimitan un triángulo de seguridad que se transfiere a la imagen de angiografía para control de la anatomía y guía del hemodinamista. La técnica de fusión es igualmente útil durante el implante de los clips para localizar en el espacio angiográfico con precisión la regurgitación mitral. De nuevo, la combinación con la ecocardiografía tridimensional es fundamental para una adecuada localización del clip en relación con la línea de coaptación de los velos valvulares mitrales. Sundermann *et al.* evaluaron a 21 pacientes llevados a MitraClip® midiendo el tiempo de radiación y extensión de procedimiento y concluyeron una menor exposición a radiación, mientras que el tiempo de procedimiento no fue menor al grupo control⁽¹⁴⁾ (Video 4, Video 5, Video 6).



Video 4. Imagen de fusión. Procedimiento MitraClip®. Inicio de angulación del dispositivo dentro de la aurícula izquierda en busca de alineación con la válvula mitral



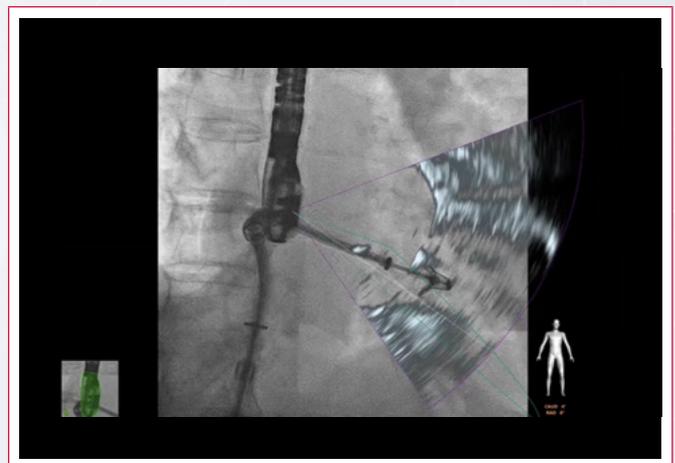
Video 2. Imagen de fusión. Procedimiento MitraClip®. Paso del catéter sobre guía a través de septo interauricular, que se encuentra alojado en vena pulmonar izquierda



Video 5. Imagen de fusión. Procedimiento MitraClip®. Se observa en ecocardiografía tridimensional el dispositivo de MitraClip® con leve giro antihorario con respecto a las festones centrales de la válvula mitral; al mismo tiempo en fluoroscopia se observa una adecuada posición del catéter guía con respecto a la válvula



Video 3. Imagen de fusión. Procedimiento MitraClip®. Catéter avanzado sobre guía en la entrada de vena pulmonar izquierda

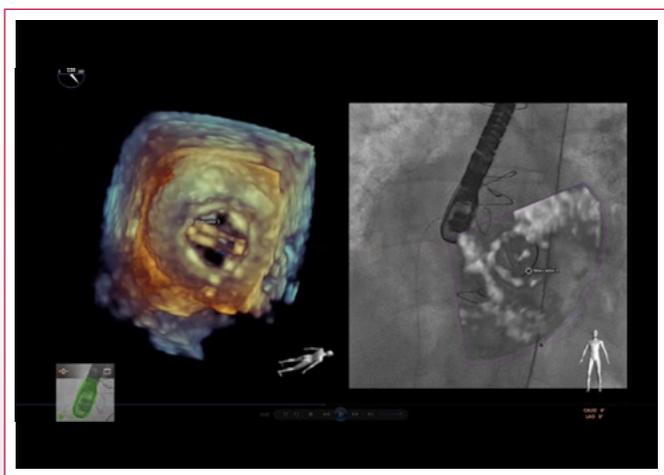


Video 6. Imagen de fusión. Procedimiento MitraClip®. Apertura del clip mitral en cavidad ventricular; se observa la relación de las estructuras

Cierre de leak perivalvular

Los leaks perivalvulares son una complicación de las prótesis cardíacas, que pueden aparecer en cerca de 10-15% de los pacientes, y con una incidencia que varía entre 0,04 a 2,75 casos por 100 pacientes por año⁽¹⁵⁾ según las series. Esta incidencia puede variar dependiendo del tipo de prótesis. La dehiscencia perivalvular se va a traducir en la presencia de una insuficiencia mitral generada a través del defecto. Las manifestaciones clínicas pueden ser de insuficiencia cardíaca o de anemia hemolítica.

Una alternativa para los pacientes con muy alto riesgo quirúrgico es el cierre percutáneo de la dehiscencia, que sigue procedimientos similares a otras técnicas percutáneas. El procedimiento de colocación de un dispositivo percutáneo en la dehiscencia puede ser laborioso y complejo, y precisa gran habilidad por el hemodinamista, que se puede ver importantemente auxiliado para la monitorización con ecocardiografía transesofágica durante el procedimiento (Video 7).



Video 7. Imagen de fusión. Cierre de leak. Colocación del marcador sobre el leak perivalvular, que es guía sobre la fluoroscopia para el intervencionista

La ETE juega un papel en la selección previa del paciente, así como durante el procedimiento y la evolución posterior. Es más, probablemente el éxito del procedimiento va a estar ligado a una correcta monitorización con ecocardiografía, como ha demostrado el grupo de los autores⁽¹⁶⁾.

Sin duda el momento más crítico es el paso de la guía a través de la dehiscencia. La ventaja de utilizar la técnica de fusión es la de poder marcar

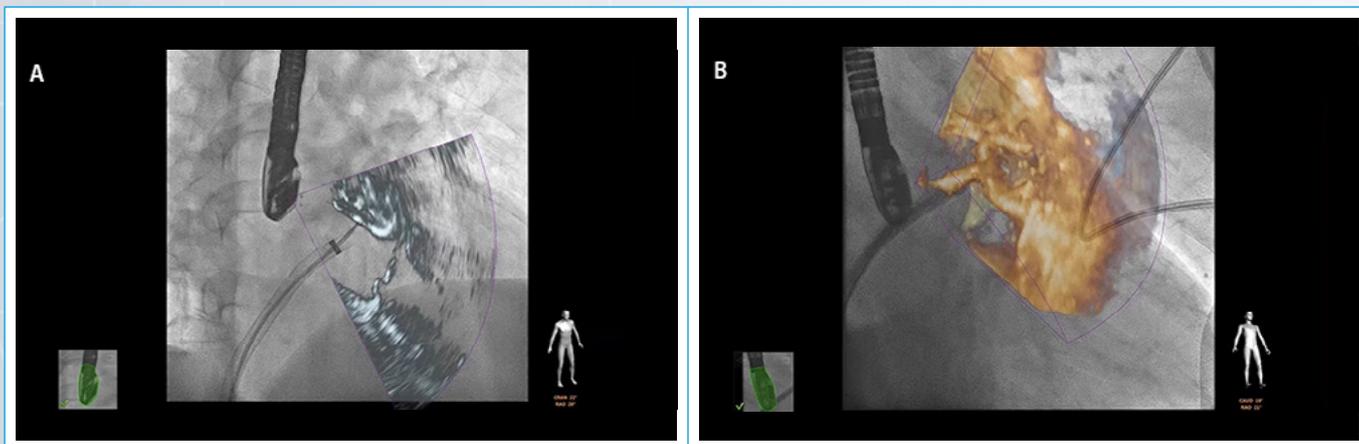
en el sitio exacto de la dehiscencia con ecocardiografía y transferir la información por medio de la fusión a la imagen de angiografía. Independientemente de que esté activada o superpuesta la imagen de fusión ecocardiográfica, la marca permanecerá localizada en la imagen de rayos X, lo que facilita al hemodinamista la localización del defecto en la circunferencia del anillo. Obviamente el procedimiento de fusión es útil tanto para las prótesis aórticas como mitrales, aunque por la dificultad inherente al procedimiento la imagen de fusión de las prótesis mitrales es la que más beneficios reporta⁽¹⁷⁾.

Oclusión de la orejuela izquierda

Las múltiples ventajas con ecocardiografía transesofágica tridimensional en este procedimiento se han demostrado en estudios recientes⁽¹³⁾. Durante este procedimiento, inicialmente se realiza la punción transeptal, como ya se ha descrito. Además, se debe considerar otras potenciales complicaciones derivadas de este procedimiento, como la perforación de la orejuela izquierda y la laceración de la arteria pulmonar, que puede llevar a taponamiento pericárdico y desenlace mortal. La guía de canulación por dos y tres dimensiones en visión multiplanar se realiza entre 70° y 90°⁽⁴⁾ a través de la aurícula izquierda, que lleva al siguiente marcador que va dirigido a localizar el orificio de entrada de la orejuela izquierda, la arteria coronaria circunfleja y/o el orificio de la vena pulmonar superior izquierda (puntos de referencia y seguridad en la realización del procedimiento). Adicionalmente a lo anterior, ofrece una imagen dinámica para la correcta orientación y posición del dispositivo^(9,14). Jungen *et al.* evaluaron un grupo de 34 pacientes a los que se les implantó un dispositivo empleando la imagen por fusión y se llegó a la conclusión de que hubo una reducción de la dosis de radiación en un 48% y de tiempo de fluoroscopia en un 33% con respecto al procedimiento habitual, y como datos adicionales la técnica no se vio afectada por aumento de complicaciones o tiempo de realización⁽¹⁸⁻²¹⁾ (Video 8).

Reemplazo aórtico transcatóter

En el implante transcatóter de la válvula aórtica es fundamental el conocimiento exacto de la anatomía de la raíz aórtica, senos de Valsalva y el ostium de las arterias coronarias. Se ha recurrido en los últimos años a la fusión de imágenes de tomografía computarizada⁽²²⁾, fluoroscopia (con el fin de obtener los puntos de referencia antes mencionados a lo largo de todo el procedimiento) y seguimiento por ecocardiografía transesofágica bidimensional y tridimensional (que puede estar limitado por la obstrucción parcial en el campo visual de la fluoroscopia). Sin embargo, se debe tener en cuenta que la imagen tomográfica es una imagen estática que tiene una compensación de movimiento



Video 8. Imagen de fusión. Se observa el catéter liberando el dispositivo en la orejuela izquierda. La imagen de la ecocardiografía tridimensional y la fluoroscopia muestra las relaciones anatómicas perfectamente

insuficiente que es susceptible a errores por movimiento traslacionales del paciente y que puede inducir a errores. En este punto, la fusión en tiempo real de ecocardiografía y fluoroscopia da en todo momento la referencia de los puntos en bisagra de la válvula aórtica alineados necesarios para una técnica precisa (Figura 2, Figura 3 y Vídeo 9).

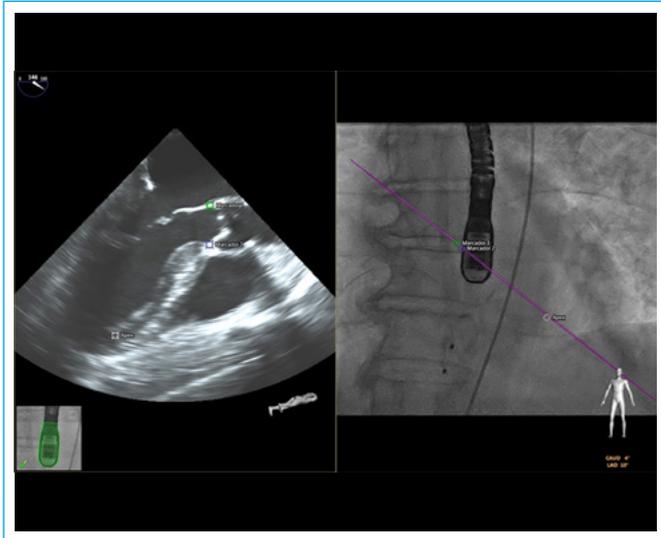
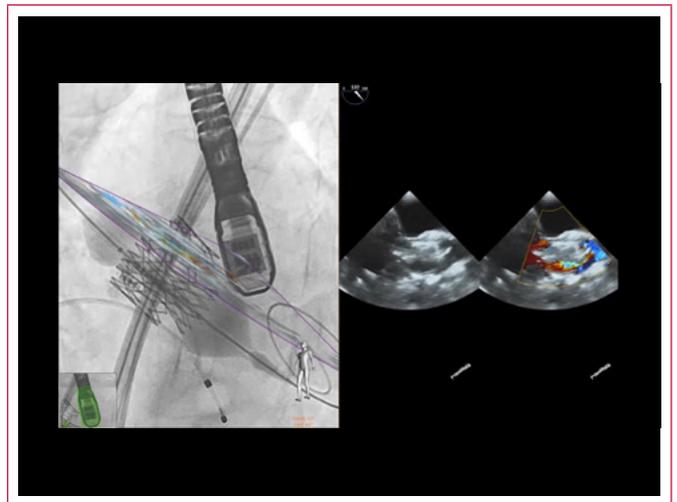


Figura 2. Imagen de fusión. Procedimiento de colocación de prótesis aórtica por vía percutánea (TAVI). Colocación de marcadores de aorta y válvula mitral

Una de las principales limitaciones de la fusión es que las incidencias angiográficas son muy poco adecuadas para un registro no sagital de la imagen del sector ecocardiográfico, lo que hace que la visualización del sector no sea la más óptima. Exige, por tanto, una interacción con el hemodinamista para situar el tubo de rayos en los cortes más adecuados. En este sentido la utilización de sectores a partir de volumen completo tridimensional puede facilitar el registro de unos planos más adecuados, pero con una pérdida de calidad al trabajar con *frame rates* más bajos.

El grupo de los autores ha encontrado un valor añadido de la fusión especialmente en procedimientos complejos, y en el implante de la prótesis percutánea en casos de prótesis mitral previamente implantada o *valve-in-valve*. En estos casos la técnica de fusión puede ser especialmente útil en el momento de la colocación de la TAVI y su valoración (Vídeo 10).



Vídeo 10. Imagen de fusión. Colocación de TAVI. Despliegue de válvula aórtica percutánea con seguimiento en simultánea en fluoroscopia y ecocardiografía tridimensional

Cardiopatías congénitas

La complejidad del intervencionismo percutáneo en las cardiopatías congénitas estructurales hace que el soporte de la imagen pueda ser fundamental en la realización de los distintos procedimientos⁽²³⁾. La ventaja del auxilio de la fusión radica en una mejoría en la interpretación de la anatomía cardíaca por parte del médico intervencionista, una fácil visualización y entendimiento de la geometría espacial y una mayor seguridad en la situación de catéteres y colocación de dispositivos. El estudio más largo de la literatura es el realizado por Jone⁽²⁴⁾ en un grupo de pacientes pediátricos en el que se confirma que la utilización de la fusión consigue reducir el tiempo de angiografía y el tiempo en la duración del intervencionismo cuando graduaban el beneficio de utilizar la monitorización con fusión frente a la monitorización convencional y encontraban un beneficio en el 86% de los casos.

La experiencia del grupo de los autores radica en las cardiopatías congénitas del adulto y, específicamente, en la comunicación interauricular es el foramen oval permeable. Sin duda la fusión permite una muy fácil integración angiografía-ecocardiografía permitiendo un control de todo el intervencionismo y en la valoración inmediata de las complicaciones (Figura 4).

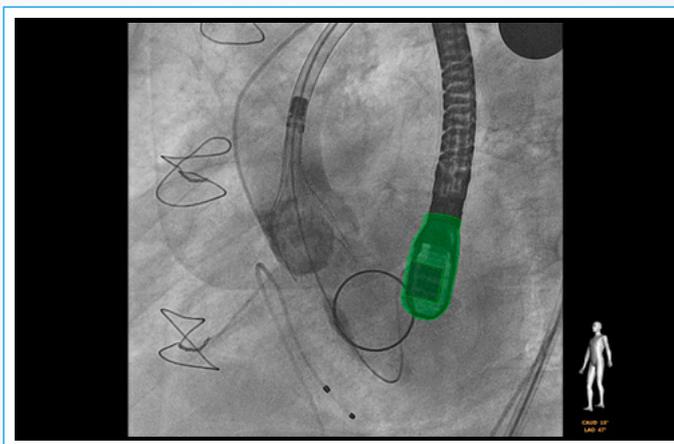


Figura 3 y Vídeo 9. Imagen de fusión. Colocación de TAVI. Guía para el intervencionista de la relación de la prótesis mitral con respecto a la colocación de la prótesis aórtica

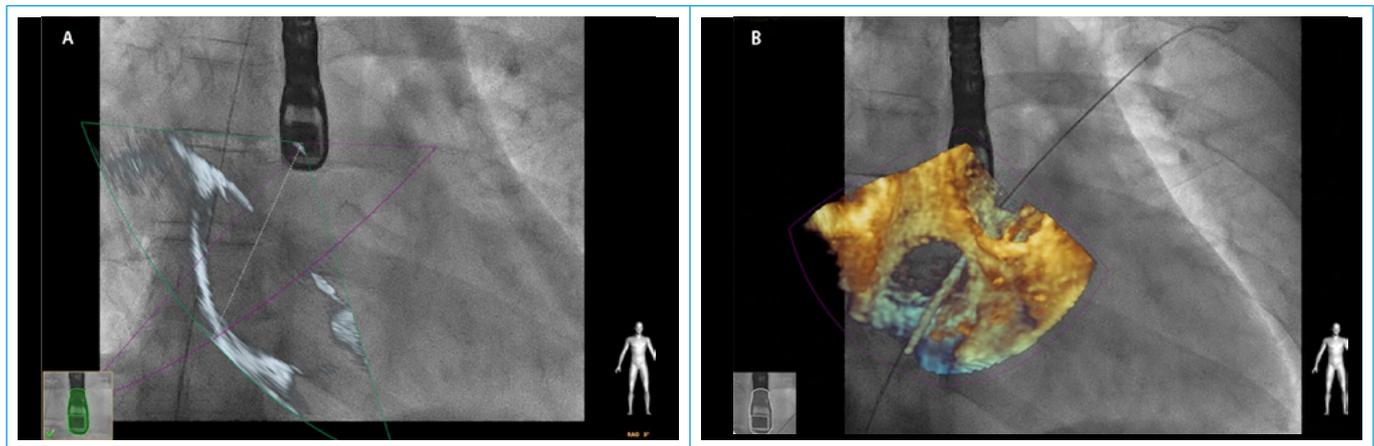
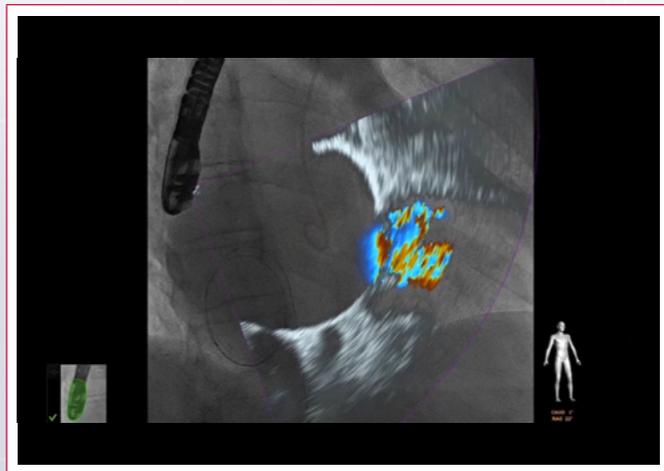


Figura 4. Imagen de fusión. Evaluación previa a la colocación de un dispositivo para el cierre de defecto interauricular. Se muestra las relaciones anatómicas necesarias para el adecuado posicionamiento

Valvuloplastia mitral

Una aplicación de gran interés y de ayuda para el hemodinamista es la fusión durante la dilatación percutánea de la estenosis mitral. Sin duda el hemodinamista muy experto está acostumbrado a la dilatación sin control ecocardiográfico, no obstante, la experiencia del grupo de los autores es que la eco-fusión permite analizar de una manera inmediata el lugar de dilatación del balón en el nivel del aparato mitral, más o menos valvular o subvalvular, facilitando y agilizando el procedimiento. Igualmente da un soporte al hemodinamista no senior, que no está habituado a la técnica, dando seguridad y acortando el aprendizaje y el tiempo de experiencia para la obtención de resultados óptimos (**Vídeo 11, Vídeo 12**).

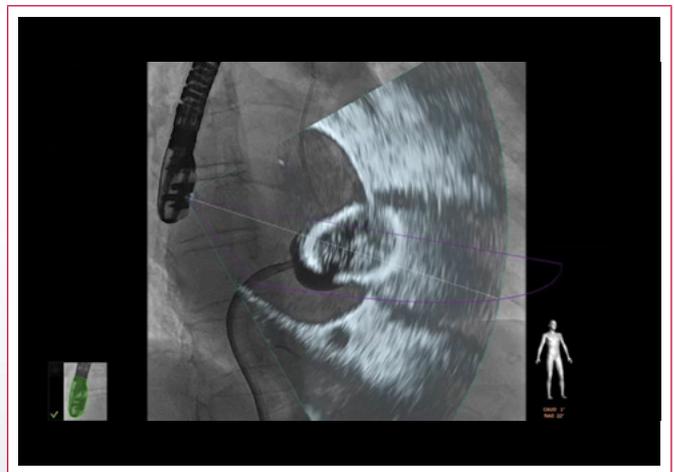


Vídeo 11. Imagen de fusión. Evaluación con Doppler color de la válvula mitral estenótica previa a la dilatación con balón. Una imagen excepcional para el hemodinamista

Conclusión

La fusión de dos imágenes dinámicas, la ecocardiografía transesofágica bidimensional/tridimensional y la fluoroscopia en tiempo real, es una herramienta viable y segura en los procedimientos de intervencionismo estructural de corazón en los que se requiere precisión⁽²⁵⁾. Sus principales ventajas son:

- Fácil integración espacial de las estructuras cardíacas y dispositivos de hemodinámica intervencionista, que facilitan la comunicación entre el especialista en imagen y el experto en imagen.
- Reducción del tiempo de escopia y duración del intervencionismo.



Vídeo 12. Imagen de fusión. Inflado del balón a nivel de válvula mitral. Se observa claramente la relación del balón con las estructuras

Sin embargo, persiste todavía una serie de inconvenientes que se irán modificando según aumente el desarrollo de la técnica. Básicamente son:

- La no incorporación directa de las imágenes en el equipo de ecocardiografía.
- Las imágenes se exportan a un visor externo, lo que hace que el cardiólogo que maneje la ecocardiografía no pueda o difícilmente pueda utilizar la fusión sin ayuda de un segundo experto en imagen, lo que complica la realización de la técnica debido a la presión asistencial.

Dentro de las técnicas de intervencionismo estructural que actualmente no están introducidas de manera rutinaria y en los que ningún grupo tiene todavía experiencia en fusión, sin duda el clip de la válvula tricúspide⁽²⁶⁾ va a ser muy altamente dependiente del control ecocardiográfico y, por tanto, muy probablemente se verá beneficiado de las técnicas de fusión. Igualmente el implante de válvulas mitrales percutáneas se muestra como una alternativa válida⁽²⁷⁾ con grandes interrogantes en los que muy probablemente la fusión ecocardiografía-angiografía será también de gran ayuda.

El futuro es esperanzador y pasa por la utilización de la inteligencia artificial en ecocardiografía que permita integrar las imágenes de modelos tridimensionales de las cavidades, anillo y vasos, facilitando de una manera sencilla una visualización espacial de los contornos límites de las estructuras cardíacas.

Ideas para recordar

- La imagen de fusión es una nueva modalidad de imagen cardíaca que permite mostrar la imagen del ecocardiograma sobre la imagen de la escopia en el intervencionismo.
- Permite valorar de forma mucho más rápida y precisa las lesiones cardíacas y sobre todo la posición de catéteres, guías y dispositivos en el espacio.
- Su uso reduce el tiempo de escopia y la duración del intervencionismo.

Bibliografía

- Clegg S, Salcedo E, Quaife R, Carrol J. *Imaging in structural heart disease*. En: Lasala J, Rogers J. *Interventional procedures for adult and structural heart disease*. 1.ª ed. Elsevier-Saunders, 2014; 7-28.
- Carminati M, Agnifili M, Arcidiacono C, et al. Role of imaging in interventions on structural heart disease. *Expert Review of Cardiovascular Therapy* 2013; 11: 1659-1676.
- Perk G, Lang RM, García-Fernández MA, et al. Use of real time three-dimensional transesophageal echocardiography in intracardiac catheter based interventions. *J Am Soc Echocardiogr* 2009; 22 (8): 865-882.
- Thaden J, Sanon S, Geske J, et al. Echocardiographic and fluoroscopic fusion imaging for procedural guidance: An overview and early clinical experience. *Journal of American Society of Echocardiography* 2016; 29: 503-512.
- Gaemperli O, Schepis T, Kalff V, et al. Validation of a new cardiac image fusion software for three-dimensional integration of myocardial perfusion SPECT and stand-alone 64-slice CT angiography. *European Journal of Nuclear and Medicine Molecular Imaging* 2007; 34: 1097-1106.
- White JA, Fine N, Gula LJ, et al. Fused whole-heart coronary and myocardial scar imaging using 3-TCMR. Implications for planning of cardiac resynchronization therapy and coronary revascularization. *JACC Cardiovascular Imaging* 2010; 3: 921-930.
- Tanis W, Scholtens A, Habets J, et al. CT angiography and (1)(8)FFDG-PET fusion imaging for prosthetic heart valve endocarditis. *JACC Cardiovascular Imaging* 2013; 6: 1008-1013.
- Arujuna A, Housden R, Ma Y, et al. Novel system for real-time integration of 3D-Echocardiography and fluoroscopy for image-guided cardiac interventions: preclinical Validation and clinical feasibility evaluation. *IEEE Journal of traslational engineering in health and medicine* 2014; 2: 110.
- Balzer J, Zeus T, Hellhammer K, et al. Initial clinical experience using the Echonavigator® – system during structural heart disease interventions. *World Journal of Cardiology* 2015; 7 (9): 562-570.
- Feldman T, Hellig F, Mollman H. Structural heart interventions: the state of the art and beyond. *Eurointervention* 2016; 12: X6.
- Palacios I, Arzamendi D. Intervencionismo en cardiopatía estructural. Más allá de la terapia valvular transcater. *Revista española de cardiología* 2012; 65 (5): 405-413.
- Afzal S, Veulemans V, Balzer J, et al. Safety and efficacy of trans-septal puncture guided by real-time fusion of echocardiography and fluoroscopy. *Netherland Heart Journal. Neth Heart J* 2017; 25 (2): 131-136.
- Vahanian A, Alfieri O, Andretti F, et al. ESC Committee for Practice Guidelines (CPG); Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC); European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). Guidelines on the management of valvular heart disease: the Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *European Journal of Cardiothoracic Surgery* 2012; 42: S1-44.
- Sundermann S, Biaggi P, Grunenfelder J, et al. Safety and feasibility of novel technology fusing echocardiography and fluoroscopy images during Mitraclip interventions. *Eurointervention* 2014; 9: 1210-1216.
- García-Fernández MA, Cortés M, García-Robles JA, et al. Utility of real-time three-dimensional transesophageal echocardiography in evaluating the success of percutaneous transcatheter closure of mitral paravalvular leaks. *J Am Soc Echocardiogr* 2010; 23 (1): 26-32.
- Franco E, Almería C, de Agustín JA, Arreo Del Val V, Gómez de Diego JJ, García Fernández MÁ, Macaya C, Pérez de Isla L, García E. Three-Dimensional Color Doppler Transesophageal Echocardiography for Mitral Paravalvular Leak Quantification and Evaluation of Percutaneous Closure Success *Journal of American Society of Echocardiography* 2014; 27 (11): 1153-1163.
- Cortés M, García E, García-Fernandez MA, et al. Usefulness of transesophageal echocardiography in percutaneous transcatheter repairs of paravalvular mitral regurgitation. *American Journal of Cardiology* 2008; 101 (3): 382-386.
- Nucifora G, Faletra FF, Regoli F, et al. Evaluation of the left atrial appendage with realtime 3-dimensional transesophageal echocardiography: implications for catheter-based left atrial appendage closure. *Circulation Cardiovascular Imaging* 2011; 4: 514-523.
- Gafoor S, Schulz P, Heuer L, et al. Use of Echo-Navigator, a novel echocardiography-fluoroscopy overlay system, for transeptal puncture and left atrial appendage occlusion. *Journal of Interventional Cardiology* 2015; 28: 215-217.
- Jungen C, Zeus T, Balzer J, et al. Left atrial appendage closure guided by integrated echocardiography and fluoroscopy imaging reduces radiation exposure. *Plos One* 2015; 10: 1-13.
- García-Fernández M, De Agustín A, Pérez de Isla L. Eco-Xray fusion in left atrial appendage closure. *Revista Española de Cardiología* 2016. Article in press.
- Kempfert J, Noetting A, John M, et al. Automatically segmented Dyna-CT: enhanced imaging during transcatheter aortic valve implantation. *Journal of American Collegue of Cardiology* 2011; 58: e211.
- Balzer J, Hall S, Rassaf T, et al. Feasibility, safety and efficacy of real-time three dimensional transoesophageal echocardiography for guiding device closure of interatrial communications: Initial clinical experience and impact on radiation exposure. *European Journal of echocardiography* 2010; 11: 1-8.
- Jone P, Ross M, Bracken J, et al. Feasibility and safety of using a fused echocardiography/Fluoroscopy imaging system in patients with congenital heart disease. *Journal of American society of echocardiography* 2016; 5: 13-21.
- Faletra FF, Pedrazzini G, Pasotti E, et al. Echocardiography-X-Ray Image Fusion. *JACC Cardiovascular imaging* 2016; 9 (9): 1114-1117.
- Avenatti E, Barker C, Little S. Tricuspid regurgitation repair with a Mitraclip device: transoesophageal echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017. Epub a head of print.
- Muller D, Farivar R, Jansz P, et al. Transcatheter mitral valve replacement for patients with symptomatic mitral regurgitation. *JACC* 2017; 69: 381-391.

