



FMUC FACULDADE DE MEDICINA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA – TRABALHO FINAL

CAROLINA ISABEL DUARTE NOBRE

Imagem de Fusão em Cardiologia de Intervenção

ARTIGO DE REVISÃO

ÁREA CIENTÍFICA DE CARDIOLOGIA

Trabalho realizado sob orientação de:
PROFESSOR DOUTOR LINO GONÇALVES
DR. MANUEL OLIVEIRA SANTOS

FEVEREIRO/2019

Imagem de Fusão em Cardiologia de Intervenção

Carolina Isabel Duarte Nobre^a, Manuel Oliveira Santos, MD^{a,b}, Lino Gonçalves, MD, PhD^{a,b}

^a Faculdade de Medicina, Universidade de Coimbra, Portugal

^b Serviço de Cardiologia, Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra, Portugal

Carolina Isabel Duarte Nobre
Azinhaga de Santa Comba, Celas
3000-548 Coimbra, Portugal
carolinaduartenovre@gmail.com

Resumo

O número e a complexidade das intervenções percutâneas no tratamento de doenças cardíacas estruturais tem vindo a aumentar na prática clínica, estando associado ao desenvolvimento de novas tecnologias de imagem para intervenções mais precisas e seguras. A utilização de modalidades de imagem complementares é comumente utilizada, contudo exige um esforço de reconstrução mental por parte da equipa de intervenção.

O conceito de imagem de fusão, onde duas modalidades de imagem são fundidas em tempo real e num só monitor, vem colmatar essas limitações. O *software* EchoNavigator®, através da fusão em tempo real da fluoroscopia clássica com a imagem da ecocardiografia transesofágica, revela-se uma ferramenta importante para a monitorização das intervenções percutâneas, associando uma correta visualização dos cateteres, fios-guia e dispositivos utilizados a uma melhor resolução espacial e definição anatómica. Permite também a marcação de pontos de referência com interesse anatómico para o procedimento.

Alguns estudos revelam a diminuição da duração de procedimento e da dose total de radiação; contudo, persiste a necessidade de obtenção de dados com metodologia científica mais robusta para aferir o impacto desta tecnologia na prática clínica.

Esta revisão pretende abordar o conceito e os princípios básicos da imagem de fusão, as suas principais aplicações clínicas, bem como algumas considerações acerca do futuro promissor desta tecnologia de imagem.

Palavras-chave

Imagem de Fusão – EchoNavigator® – Fluoroscopia – Ecocardiografia Transesofágica – Intervenção Percutânea – Doença Cardíaca Estrutural.

Abstract

The number and complexity of transcatheter interventions in the treatment of structural heart diseases has been increasing in clinical practice and has been associated with the development of new imaging technologies, to make these interventions more accurate and secure. Complementary imaging modalities are commonly used, but it requires an additional mental reconstruction effort by the interventional team.

The concept of fusion imaging, where two different modalities are fused in real time and on a single monitor, aims to solve these limitations. The EchoNavigator[®] software, through the real-time fusion of classical fluoroscopy and the image of transesophageal echocardiography, is an important tool to guide percutaneous interventions, enabling a good visualization of catheters, guidewires and devices employed, with enhanced spatial resolution and anatomical definition. It also allows the marking of anatomical reference points of interest for the procedure.

Some studies show decreased procedural time and total radiation dose with fusion imaging; however, there is a need to obtain data with more robust scientific methodology to assess the impact of this technology in clinical practice.

The aim of this review is to describe the concept and basic principles of fusion imaging, its main clinical applications and some considerations about the promising future of this imaging technology.

Keywords

Fusion Imaging – EchoNavigator[®] – Fluoroscopy – Echocardiography, Transesophageal – Percutaneous Interventions – Structural Heart Disease.

Índice

Introdução	6
Métodos	7
Imagem de fusão.....	8
Estática.....	8
Dinâmica.....	10
Estática <i>versus</i> dinâmica	12
Aplicações clínicas em intervenções percutâneas.....	14
Punção transeptal.....	14
Encerramento do apêndice auricular esquerdo.....	16
Reparação da válvula mitral.....	18
Correção de <i>leaks</i> paravalvulares.....	20
Substituição valvular aórtica trans-cateter.....	21
Cardiopatias congénitas	23
Discussão.....	27
Conclusão	30
Agradecimentos	31
Referências bibliográficas	32

Introdução

A intervenção percutânea é uma área de relevo em Medicina Cardiovascular, assumindo um papel fundamental no diagnóstico e terapêutica de um número crescente de patologias cardiovasculares. Sendo esta uma área em grande desenvolvimento, são cada vez mais os procedimentos realizados por via percutânea, nomeadamente o encerramento do apêndice auricular esquerdo (AAE), a substituição valvular aórtica trans-cateter (TAVR), entre outros. Quando comparados com a cirurgia cardíaca, estes procedimentos são minimamente invasivos, constituindo assim excelentes opções de sucesso em doentes com comorbilidades e/ou elevado risco cirúrgico¹⁻³, associadas por vezes a uma menor mortalidade e morbidade pós-intervenção.^{2,4}

A par com a evolução das técnicas de intervenção percutânea surge a necessidade de as tornar cada vez mais seguras, e para isso é fundamental a constante melhoria na aquisição de imagens em tempo real.^{2,4} A fluoroscopia é o principal método de imagem utilizado para guiar os procedimentos percutâneos. Esta permite uma boa visualização dos dispositivos utilizados e a injeção de contraste para avaliação de estruturas cardíacas, sendo contudo limitada para uma avaliação anatómica precisa.

A base do conceito de imagem de fusão é a sobreposição, no mesmo ecrã, de uma modalidade de imagem com melhor definição de tecidos moles, por exemplo ecocardiografia transesofágica (ETE) bidimensional (2D) e/ou tridimensional (3D), ecografia intracardíaca, tomografia computadorizada (TC) multi-corte, a ressonância magnética (RM) cardíaca, entre outras, à imagem fornecida pela fluoroscopia, de modo a colmatar a sua reduzida precisão anatómica.^{1,5}

Esta revisão da literatura pretende abordar o conceito e os princípios básicos da imagem de fusão, bem como as suas principais aplicações e resultados clínicos descritos na literatura, nomeadamente na punção transeptal, encerramento do AAE, encerramento de *leaks* paravalvulares, reparação da válvula mitral, TAVR e correção de cardiopatias congénitas.

Métodos

A pesquisa bibliográfica da qual decorre esta revisão foi realizada em duas bases de dados online, a PubMed e a Embase. Os filtros de pesquisa foram a data (publicações dos últimos cinco anos), a língua (publicações em inglês, português, francês, espanhol e italiano) e a espécie (humanos). Na Embase, além dos critérios acima referidos, a bibliografia foi também filtrada pelo tipo de estudo, tendo sido apenas selecionados os artigos originais, as revisões e os artigos *ahead of print*.

A pesquisa foi efetuada de duas formas: através da equação de pesquisa ("fusion imaging" OR "hybrid imaging" OR "multimodality imaging") associada às palavras-chave *fluoroscopy*, *transesophageal echocardiography*, *computed tomography*, *magnetic resonance* e também através da palavra-chave EchoNavigator®. Na PubMed não foi realizada a pesquisa MeSH uma vez que o conceito de imagem de fusão ainda não tem termo MeSH atribuído.

Procedeu-se à pesquisa, à leitura dos títulos dos artigos e, se relevantes, à posterior leitura do resumo. Quando este se mostrava relevante, foi obtido e lido o artigo completo na sua totalidade. Foram também incluídos outros artigos não resultantes das pesquisas supracitadas, porém, considerados de interesse para o tema em estudo.

Imagem de fusão

Estática

O sucesso e precisão das intervenções percutâneas realizadas em cardiologia depende, em grande parte, da segurança fornecida pelas técnicas de imagem a elas associadas. A fluoroscopia tem sido a técnica de imagem *gold standard*⁶, sendo uma excelente opção para a visualização dos equipamentos utilizados (cateteres, fios guia, dispositivos e material protésico) e calcificações⁵⁻⁷, permitindo a otimização do processo de navegação intra-vascular e intra-cardíaco.² No entanto, a fluoroscopia fornece imagens bidimensionais, e ainda que sejam obtidas em tempo real, não transmitem de forma satisfatória a complexa anatomia cardíaca, limitando assim, de certa forma, a precisão de determinadas intervenções.⁵ Além disso, necessita da utilização de contraste e radiação ionizante⁵⁻⁷, o que pode ser cumulativamente deletério quer para o doente quer para a equipa de intervenção.

Um dos fatores que contribuiu para o desenvolvimento das técnicas percutâneas foi a implementação de diferentes modalidades de imagem, como a ecografia (transtorácica, transesofágica ou intracardíaca). Contudo, estas imagens são exibidas em ecrãs diferentes, o que requer um esforço adicional de coordenação e comunicação entre a equipa de intervenção.⁴ Por forma a tornar as intervenções cada vez mais precisas e seguras surgiu então a imagem de fusão, na qual duas ou mais modalidades de imagem se sobrepõem numa só, associando uma melhor visualização anatómica à visualização dos equipamentos utilizados.^{4,8}

O recurso à fusão de diferentes modalidades de imagem estática não é novo; Cintigrafia de Perfusão Miocárdica com TC e Tomografia por Emissão de Positrões-TC⁴ são alguns exemplos das fusões de imagens estáticas já estabelecidas na prática clínica.^{4,8,9} A utilização destas modalidades de imagem em procedimentos de intervenção em tempo real é, contudo, bastante limitada, dada a sua natureza puramente estática e dado que são adquiridas previamente aos procedimentos, para diagnóstico e para melhor estudo anátomo-funcional cardíaco.^{2,4,9}

As modalidades de imagem estática previamente obtidas podem também ser utilizadas na sala de hemodinâmica. Aí, são integradas/fundidas com as imagens dinâmicas de fluoroscopia com vista a uma melhor orientação do procedimento decorrente de um mapeamento anatómico mais preciso.^{2,8} Isto pressupõe que a aquisição prévia dessas mesmas imagens ocorra na mesma posição em que o doente fará a intervenção percutânea

(p.e decúbito dorsal, braços ao longo do corpo,...) para que a sobreposição seja anatomicamente correta.⁹

A modalidade de imagem estática que mais comumente é associada à fluoroscopia é a TC multi-corte, e as intervenções em que se aplica com maior frequência é a TAVR, o encerramento percutâneo de *leaks* valvulares e o encerramento percutâneo do AAE², as quais serão exploradas mais adiante. A Angiografia Rotacional com Reconstrução Tridimensional (AR-3D) é outra modalidade de imagem cardíaca que pode ser previamente adquirida e posteriormente fundida em tempo real com a fluoroscopia. Pressupõe a aquisição de imagem, a segmentação num modelo 3D, marcação de pontos de interesse anatómico/planeamento virtual, e posteriormente o co-registo do modelo 3D com a fluoroscopia para sobreposição de imagem. Desta forma, o modelo 3D previamente obtido e os pontos de interesse marcados mover-se-ão de forma sincronizada com o arco em “C” da fluoroscopia, melhorando a resolução anatómica e espacial dos procedimentos realizados.^{5,9}

Glöckler *et al.* analisaram 78 intervenções percutâneas com orientação por imagem 3D (AR-3D, RM e TC multi-corte), das quais 12 colocações de *stent* por coartação da aorta em crianças. Nestas, através de um estudo prospetivo observacional, compararam o tempo de fluoroscopia, a dose de radiação e a dose de contraste utilizado com 20 casos-controlo de coorte histórica, estes últimos orientados por fluoroscopia *standard*. Não se verificaram diferenças significativas nas doses de radiação e de contraste, mas mostrou-se uma redução no tempo de fluoroscopia (8,33 vs. 10,2 min; $p=0,04$)¹⁰ Esta modalidade de imagem de fusão pode ser utilizada em intervenções coronárias, angioplastias da artéria pulmonar, intervenções da válvula pulmonar e também na TAVR, nesta última para determinação do ângulo de implantação, medição do anel aórtico e da distância aos ostia coronários e para avaliação da expansão valvular pós-implantação.^{2,4}

Outro exemplo de fusão de imagem estática e dinâmica é a RM-Fluoroscopia, tendo esta como principal vantagem a ausência de radiação ionizante na aquisição das imagens de RM, o que leva a uma diminuição da dose total de radiação a que se expõe o doente.^{2,11} Também a capacidade que a RM tem para incorporar o movimento cardíaco e respiratório é uma vantagem que permite melhorar a eficácia do procedimento por um melhor alinhamento entre as duas imagens.¹² Algumas das aplicações clínicas desta modalidade de imagem são a orientação de biópsias miocárdicas (parede ventricular direita)⁵ e a orientação de procedimentos de ablação de circuitos arritmogénicos em eletrofisiologia cardíaca. Para além de reduzir a exposição do doente e da equipa à radiação, pela sua excelente resolução espacial e temporal permite melhorar o processo de identificação do local da ablação e permite também avaliar o sucesso da intervenção.¹³

Apesar das inúmeras vantagens no planeamento e na execução de intervenções percutâneas cardíacas, existem também algumas limitações em termos de precisão e monitorização.⁸ Existe a possibilidade de ocorrer um alinhamento imperfeito entre as duas imagens, o que leva automaticamente a um erro de co-registo. Outro fator que pode também levar a erros são os movimentos cardíacos, respiratórios e as próprias oscilações de posição do doente durante o procedimento.^{2,4,8,9} O facto de estarmos perante imagens previamente adquiridas limita a avaliação de possíveis complicações intra-procedimento.²

Dinâmica

Como referido anteriormente, uma das principais limitações da imagem de fusão é o facto da modalidade de imagem estática, previamente adquirida, não acompanhar os movimentos que ocorrem em tempo real. Desta forma, surgiu a necessidade de proceder à fusão de duas modalidades de imagem dinâmicas, como a fusão da ETE com a fluoroscopia em tempo real. Assim, consegue-se obter uma caracterização anatómica em tempo real, tendo em conta os movimentos cardíacos e pulmonares, a par com a monitorização dos dispositivos durante o procedimento.²

Cada uma destas modalidades de imagem tem as suas vantagens e as suas limitações, sendo que juntas se complementam. A ETE, bi e tridimensional, fornece uma visualização de alta resolução das estruturas anatómicas, em múltiplos planos e com boa definição, sem necessidade de contraste e/ou de radiação ionizante.⁵ Possibilita também uma avaliação funcional pela utilização concomitante de avaliação doppler.⁷ Contudo, tem uma resolução espacial limitada (ainda assim, 3D melhor do que 2D)⁵, é dependente do operador e tem uma capacidade muito limitada para detetar os equipamentos utilizados durante a intervenção.^{2,5,6} A fluoroscopia, como referido anteriormente, melhora o processo de navegação durante o procedimento e fornece uma excelente visualização dos dispositivos utilizados^{2,5-7}.

Inicialmente, a aquisição destas duas modalidades de imagem era feita de forma independente, isto é, cada uma delas era manipulada e obtida por um operador diferente, sendo exibidas lado a lado, em ecrãs e orientações diferentes.^{3,6} Isto exigia uma integração da informação obtida e uma reconstrução mental importante por parte dos operadores.³ Em 2014 foi desenvolvida a segunda versão do *software* EchoNavigator® (Philips Healthcare, Best, The Netherlands) a qual possibilita a fusão no mesmo ecrã da ETE com a imagem da fluoroscopia.^{2,13} Desta forma, após o co-registo automático da sonda de ETE, a alteração da

posição do arco em “C” leva a que as imagens fluoroscópicas e as imagens ecocardiográficas (2D, 3D, com *Doppler*) se movam forma sincronizada, sem prejuízo da sua sobreposição.⁴⁻⁷

O processo de co-registo é feito segundo um algoritmo de calibração entre a sonda de ETE e o fluoroscópio, sendo que o sistema identifica a ponta da sonda e gera uma imagem de sobreposição com as duas modalidades orientadas na mesma direção.⁸ Isto é automático e bastante preciso (erro médio de 1-2mm)³, podendo ser otimizado pela colocação da sonda ETE no centro do ecrã da imagem fluoroscópica, com os seguintes ângulos do arco: 0°, 45° oblíquo anterior esquerdo e 45° oblíquo anterior direito.³ Após conclusão do registo, todas as mudanças da sonda de ETE (posição, rotação e angulação) são automaticamente detetadas pelo sistema e a imagem atualizada no ecrã, juntamente com a fluoroscopia. Concomitantemente, as mudanças na orientação do arco em “C” também alteram a orientação das imagens de ETE.^{2,3,7}

A marcação de pontos virtuais de interesse anatómico considerados relevantes para a intervenção constitui uma das vantagens deste novo *software*.^{3,7} Depois do co-registo da sonda de ETE acima descrito, podem ser marcados vários pontos na imagem de ETE, quer em 2D³ quer em 3D.^{7,8} Depois de marcados, estes são automaticamente sincronizados com a imagem da fluoroscopia, onde permanecem fixos independentemente das alterações de posição da sonda ETE.^{3,7,8} Não obstante, estão também associados a algumas limitações. Importa ter em atenção os movimentos verticais relativos à mesa e ao posicionamento do doente, uma vez que podem levar à perda dos pontos já marcados e até mesmo à necessidade de novo co-registo da sonda de ETE.^{3,8} Também o facto da sonda de ETE, após o registo inicial, estar por longos períodos de tempo sem ser utilizada pode levar a perda desses marcadores virtuais.^{7,8} A sua natureza estática acaba por ser uma limitação, uma vez que não respondem aos movimentos translacionais do doente (respiração, posicionamento) nem à interação dispositivo-tecido (p.e deformação).^{7,8}

O *software* de imagem de fusão em tempo real permite a visualização de diferentes modos de imagem: vista eco, vista arco em “C”, vista radiográfica e vista livre (Fig. 1). Na vista eco é mostrada a imagem de ETE, e esta está exclusivamente a cargo do operador da sonda de ETE.^{3,5,7,8} Na vista arco em “C” é também mostrada a imagem de ETE, porém com a orientação do arco em “C”. Na vista radiográfica obtém-se a verdadeira imagem de fusão do ETE com a fluoroscopia clássica, com ou sem as marcações previamente realizadas. De notar que todas as mudanças de posição na sonda ETE são automaticamente registadas e atualizadas na fluoroscopia.⁸ Por fim, na vista livre adquire-se a imagem de ETE sem uma orientação específica, o que permite que as imagem possam ser rodadas, modificadas e

reorientadas diretamente durante a intervenção para o plano que for tecnicamente mais favorável.^{3,5-7,14}

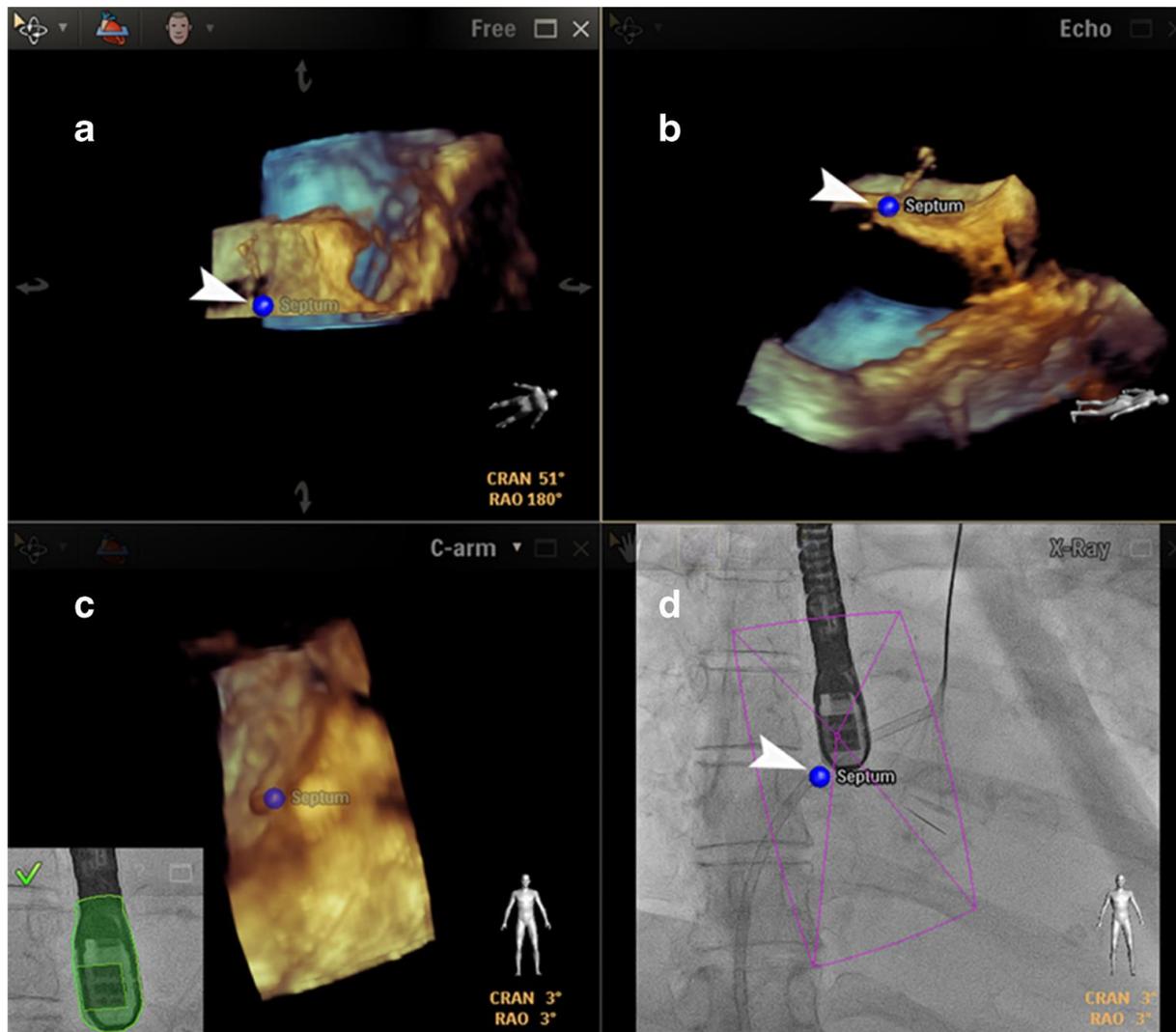


Figura 1 – Imagem de fusão na punção transeptal, com quatro modos de visualização distintos: a) vista livre; b) vista eco; c) vista “arco em c”; d) vista radiográfica. Em todas é possível verificar o local de punção ótimo, marcado com um ponto azul e assinalado com uma seta. Imagem de Basman *et al*⁶, reproduzida com autorização.

Estática *versus* dinâmica

Cada uma das modalidades de fusão de imagem acima descritas tem potencialidades e limitações distintas. A imagem de fusão dinâmica é excelente pois através dela tem-se uma visualização em tempo real das estruturas e do procedimento. Isto permite ao operador não só visualizar mudanças anatómicas durante o procedimento, como também monitorizar a

possibilidade de ocorrência de complicações intra-procedimento e avaliar alguns resultados pós-procedimento (p.e no encerramento de *leaks* paravalvulares).² No entanto, importa referir que as reconstruções 3D da imagem ETE têm uma resolução espacial limitada quando comparadas com a TC multi-corte e/ou com a RM, o que torna a fusão dessas imagens estáticas um bom método de imagem para orientação de intervenções percutâneas.²

Aplicações clínicas em intervenções percutâneas

Punção transeptal

A punção transeptal é um dos passos iniciais comum a várias intervenções percutâneas em cardiologia, nomeadamente no encerramento do AAE, na reparação da válvula mitral e no encerramento percutâneo de *leaks* valvulares.^{3,15} É considerado um procedimento crucial nas intervenções percutâneas, pois para além dele depender o sucesso da restante intervenção⁷, se não for corretamente realizado pode levar a complicações, nomeadamente lesão da aorta e tamponamento cardíaco.⁵

A punção transeptal deve ser efetuada na *fossa ovalis* e, de acordo com a intervenção que a sucede, a punção pode ser realizada em diferentes posições; a título de exemplo, inferoposterior se a intervenção em curso for o encerramento do AAE e anterosuperior (a quatro centímetros do plano do anel mitral) se se tratar de uma reparação mitral.^{4,8,15}

Ainda que não haja evidência científica que suporte a utilização de imagem de fusão neste contexto, a técnica tem-se mostrado promissora¹⁵ pela melhor visualização anatómica em tempo real da *fossa ovalis*, pela possibilidade de marcação de pontos anatómicos virtuais e, conseqüentemente, pela maior segurança que fornece aos cardiologistas (Fig. 2).^{6,7} Faletra *et al.* reviram as principais vantagens da imagem de fusão na sua experiência clínica, nomeadamente a precisão do local de punção, a projeção da imagem de fluoroscopia adaptada ao doente e a otimização da coordenação entre as mãos e olhar, não sendo ainda claro se de facto diminui a duração total da intervenção e a ocorrência de complicações comparado com o tradicional ETE. Sugerem, por isso, a necessidade de novos estudos que investiguem valor clínico adicional desta nova modalidade de imagem.¹⁵

A utilidade do *software* EchoNavigator[®] tem sido descrita por alguns autores com base na sua experiência clínica¹⁵⁻¹⁷, mas apenas um estudo avaliou especificamente os benefícios que trouxe para a prática clínica¹⁷. Afzal *et al.* avaliaram retrospectivamente a utilidade deste *software* durante a punção transeptal nos procedimentos de implantação de MitraClip[®] (Abbott, Illinois) para reparação valvular mitral e de encerramento do AAE, comparando a realização dos procedimentos com e sem fusão. Este estudo demonstrou que, com a utilização do *software* de imagem de fusão, há uma diminuição do tempo (aproximadamente 5 min, $p=0,006$) desde o início do procedimento até à realização da punção, sem contudo mostrar diferenças nem na ocorrência de eventos adversos, nem no sucesso do procedimento.^{3,17} (Tabela 1)



Figura 2 – Imagem de fusão na punção transeptal. À esquerda, a imagem biplanar da ETE. À direita, a imagem de fusão da ETE com a fluoroscopia, onde é visível o cateter de punção transeptal (seta amarela). Em ambas as imagens é mostrado o ponto de referência do local ótimo de punção (círculo vermelho), marcado em ETE (direita) e automaticamente transferido para a imagem de fusão (esquerda). ETE: ecocardiografia transesofágica; LA: aurícula esquerda; RA: artícula direita; SVC: veia cava superior. Imagem de Wiley *et al*, reproduzida com autorização.

Na literatura são referidas ainda outras modalidades de imagem de fusão, que mesmo não sendo em tempo real, funcionam como auxiliar de navegação e na realização da punção transeptal⁵, nomeadamente a fusão entre TC ou da AR-3D com a fluoroscopia. Esta aperfeiçoa o reconhecimento anatômico de locais relevantes para a intervenção, nomeadamente o seio coronário; contudo, o caráter estático dessas modalidades de imagem continua a ser um desafio, principalmente pela compensação dos movimentos cardíacos e respiratórios, o que pode levar a um intervalo de erro considerável.^{5,15}

Alguns peritos defendem, com base na sua experiência clínica, que a simples imagem bidimensional do ETE durante a punção transeptal é, na maioria dos casos, suficiente, devendo a imagem de fusão ser reservada para situações de maior complexidade anatômica.³

Encerramento do apêndice auricular esquerdo

O encerramento percutâneo do AAE demonstrou ser uma alternativa eficaz à anticoagulação oral na prevenção de acidentes vasculares cerebrais embólicos em indivíduos com fibrilhação auricular¹⁸, essencialmente naqueles que têm contra-indicações para esta terapêutica.^{6,19,20} Este procedimento consiste na colocação percutânea de um dispositivo que oclui o AAE, impedido a trombose e embolização à distância. A ETE é o exame de imagem *gold standard* para deteção de trombos naquela localização, sendo que a TC tem alto valor preditivo negativo para excluir a sua presença.¹⁹

Apesar de se conseguir obter uma visão anatómica satisfatória das estruturas através da ETE², é também necessária uma correta medição e posicionamento do dispositivo a implantar, bem como um alinhamento ótimo dos cateteres⁶ para que o procedimento seja mais seguro. As possíveis complicações a ele inerentes são a laceração da artéria pulmonar e a perfuração da parede do apêndice auricular, ambas potencialmente fatais.^{4,6,8}

Esta intervenção começou por ser realizada apenas com a fluoroscopia, sem apoio de outra modalidade de imagem. Atualmente, e de forma a tornar esta técnica de intervenção mais segura e eficiente^{2,6,17}, o *gold standard* é guiar o procedimento com ETE e fluoroscopia. A ecografia intracardíaca (ICE) é uma alternativa ao ETE, obviando a necessidade de sedação e complicações associadas à entubação esofágica.²² Contudo, qualquer uma destas modalidades de imagem é exibida sem fusão direta com a fluoroscopia.

No nosso centro, têm vindo a ser aplicadas na prática clínica ambas as modalidades de imagem, sendo a opção entre ETE e a ICE realizada com base na anatomia cardíaca e comorbilidades próprias de cada doente, bem como nas contraindicações ao uso do ETE e nas vantagens da ICE relativamente à ETE, sendo que ambos foram considerados viáveis para o encerramento do AAE.^{22,23}

É também descrita na literatura a utilização da fusão da imagem de TC ou da AR-3D previamente adquirida com a fluoroscopia.²¹ A TC oferece uma resolução espacial superior à ETE e à ICE, pelo que permite uma melhor caracterização anatómica do AAE, da sua forma e das suas dimensões, o que é imprescindível para uma escolha correta do tipo e tamanho do dispositivo a utilizar.¹⁹ Não obstante, a TC tem a limitação de não fornecer imagens em tempo real.

Também a colocação de marcadores de pontos de referência, nomeadamente na artéria circunflexa, no orifício da veia pulmonar inferior esquerda e na ponta do AAE (Fig. 3), permite a realização deste procedimento de forma mais segura, sendo maior a vantagem quando

colocados em imagem de ETE+fluoroscopia por serem em tempo real e responderem às alterações de posição quer da sonda de ETE, quer do arco em “C”.^{2,4-6,8}

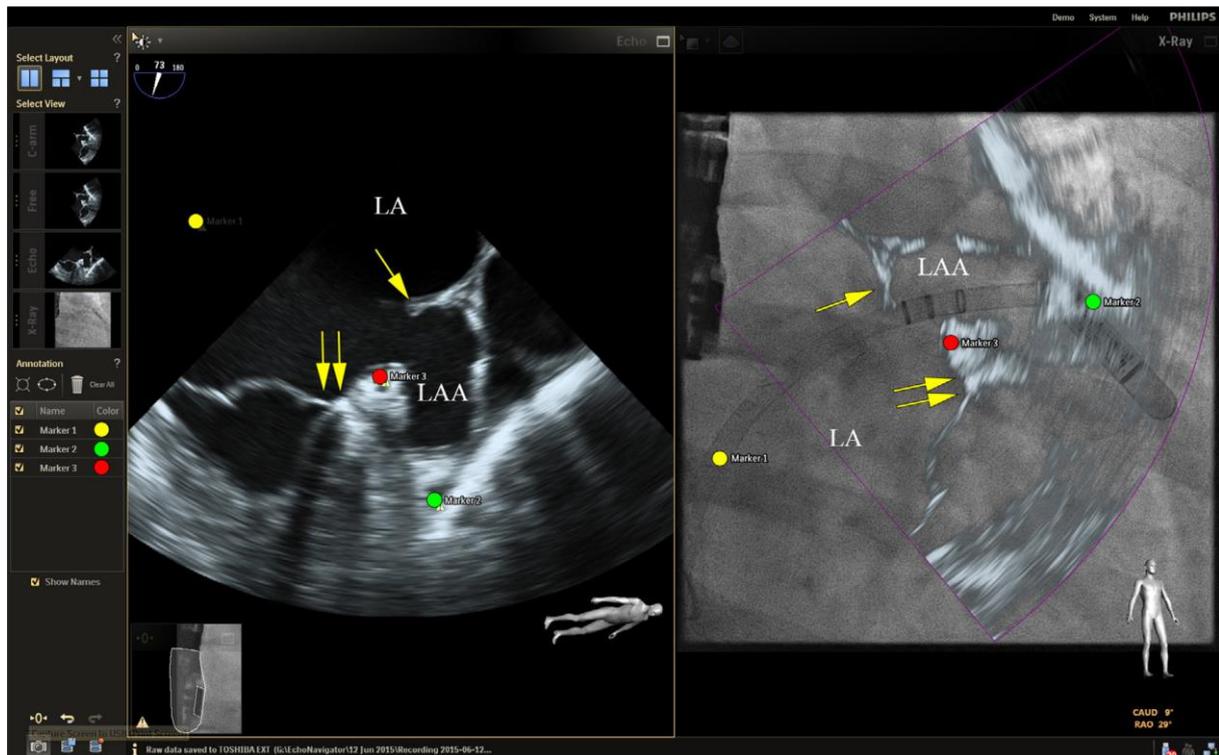


Figura 3 – Imagem de fusão no encerramento do apêndice auricular esquerdo. À esquerda, a imagem da ETE, onde se assinala a crista de Coumadin (seta amarela) e o anel mitral (duas setas amarelas). À direita, imagem de fusão da ETE com a fluoroscopia, onde é visível o cateter de punção transeptal através do local ótimo previamente assinalado (amarelo), bem como outras estruturas anatómicas de interesse marcadas: artéria circunflexa esquerda (vermelho) e a ponta do apêndice auricular esquerdo (verde). ETE: ecocardiografia transesofágica; LA: aurícula esquerda; LAA: apêndice auricular esquerdo; RA: aurícula direita. Imagem de Wiley *et al*², reproduzida com autorização.

Jungen *et al.* randomizaram dois grupos de doentes para realização deste procedimento, um com recurso ao *software* EchoNavigator[®] (n=17) e outro com recurso a ETE (n=17). Foi avaliada a dose total de radiação, o tempo de fluoroscopia, a duração do procedimento e a quantidade de contraste utilizada. Foi também avaliada a ocorrência de complicações peri e pós-procedimento (*follow-up* de 3 meses). Demonstrou-se que, no grupo com recurso ao EchoNavigator[®], houve uma diminuição da dose de radiação para metade ($48,5 \pm 30,7$ vs. $93,9 \pm 64,4$ Gy/cm²; $p=0,01$), bem como uma diminuição do tempo total de fluoroscopia ($16,7 \pm 7$ vs. $24,0 \pm 11,4$ min; $p=0,04$). A duração do procedimento ($89,6 \pm 28,8$ vs. $90,1 \pm 30,2$ min; $p=0,96$) e a quantidade de contraste utilizada ($172,3 \pm 92,7$ vs. $197,5 \pm 127,8$ ml; $p=0,53$) não diferiu

significativamente entre os dois grupos. Não houve complicações relacionadas com a intervenção.²¹ (Tabela 1)

Reparação da válvula mitral

Atualmente, a reparação percutânea da válvula mitral é uma alternativa a considerar no tratamento da insuficiência mitral, especialmente em doentes com elevado risco cirúrgico²²; contudo, a escolha da melhor técnica de imagem para orientação desta intervenção continua a ser um desafio.² Esta é maioritariamente realizada através da técnica de reparação *edge-to-edge* com implantação do dispositivo MitraClip[®].^{22,23}

Nesta intervenção, é fundamental uma boa avaliação pré, intra e pós-procedimento. A avaliação inicial inclui uma descrição anatómica detalhada da válvula mitral, do seu anel e folhetos, dos músculos papilares, através de ETE 2D e/ou 3D.²⁴ Também a TC multi-corte pode ser utilizada nesta avaliação, principalmente pela sua boa resolução espacial, mas isso não dispensa a realização do ETE.²⁴

Durante o procedimento, a imagem de fusão tem vindo a ser referida na literatura como uma ótima solução para auxiliar imagiologicamente a punção transeptal e/ou transapical, para acesso à válvula mitral, e também a trajetória do dispositivo MitraClip[®], quer na entrada na aurícula, quer na sua orientação e colocação corretas (Fig. 4).⁸ A imagem de fusão é referida também como uma forma de melhorar a eficácia e segurança desta técnica¹³, uma vez que pode evitar a ocorrência de algumas complicações, como a lesão da raiz da aorta e a perfuração da parede da aurícula esquerda.⁶ No pós-procedimento, também tem um papel importante na apreciação da competência valvular, do gradiente trans-mitral e da posição e estabilidade do *clip*.^{16,24}

Sündermann *et al.* compararam, através de um estudo prospetivo observacional, dois grupos de doentes para realização de reparação percutânea da válvula mitral (MitraClip[®]), com (n=21) e sem (n=21) recurso a imagem de fusão com o *software* EchoNavigator[®]. Demonstrou-se que a dose de radiação (146,5±123,6 vs. 146,8±134,1 Gy/cm²; *p*=0,9), o tempo de fluoroscopia (32,3±16,8 vs. 30,6±15,3 min; *p*=0,8) e a duração do procedimento (136,2±50,2 vs. 125,7±51,2 min; *p*=0,5) não diferiram significativamente entre os dois grupos.¹³ Os autores justificam que os resultados não foram os esperados devido às constantes atualizações do *software* durante o estudo e também pelo facto das intervenções no grupo em estudo serem mais complexas e necessitarem da aplicação de maior número de *clips* (45 vs. 36). Isto poderia fazer antever uma maior duração devido à sua maior complexidade, o que não se

verificou; considerou-se, assim, haver uma tendência para a redução da dose de radiação (-15%) e do tempo de fluoroscopia (-5%), mostrando ser uma técnica viável e segura para este procedimento.¹³ (Tabela 1)

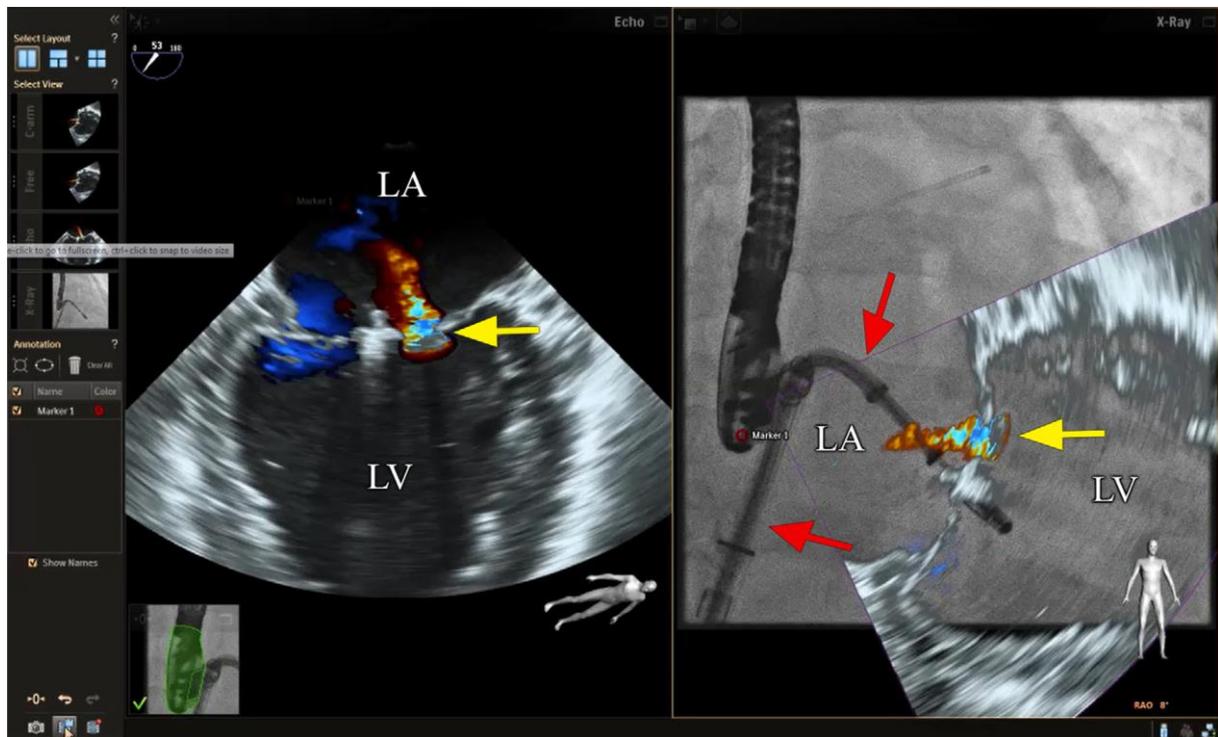


Figura 4 – Imagem de fusão na reparação da válvula mitral (MitraClip®). À esquerda, imagem da ETE com Doppler cor, é visível o jato regurgitante mitral (seta amarela). À direita, a imagem de fusão da ETE com Doppler cor com a fluoroscopia, onde é possível uma melhor apreciação da posição do cateter e do dispositivo a implantar (MitraClip®) relativamente ao jato regurgitante, facilitando a sua colocação. ETE: ecocardiografia transesofágica; LA: aurícula esquerda; RA: aurícula direita. Imagem de Wiley et al², reproduzida com autorização.

Segundo a experiência clínica reportada por alguns autores, outra vantagem da imagem de fusão nesta intervenção é a possibilidade de marcação de pontos anatómicos de referência (em ETE e posteriormente visíveis na fluoroscopia): local de punção no septo interauricular (anterosuperior), a *crista terminallis* (entre a veia pulmonar e o AAE) e o centro da válvula mitral.^{6,8,14} Também a possibilidade de determinar, de forma mais precisa, o comprimento dos cateteres e a sua relação com as estruturas anatómicas envolventes pode diminuir, como referido anteriormente, a ocorrência de complicações durante o procedimento.^{2,3,14}

Correção de *leaks* paravalvulares

Os *leaks* paravalvulares constituem umas das principais complicações que podem ocorrer pós substituição valvular protésica, quer seja realizada por procedimento cirúrgico ou percutâneo. Os *leaks* mitrais ocorrem entre 7-17% e os aórticos entre 5-10%, numa média de nove a doze meses pós-intervenção.^{3,25} A abordagem percutânea desta complicação surgiu como alternativa à abordagem cirúrgica, quer nos doentes com alto risco cirúrgico, quer pelo facto da cirurgia estar associada a uma elevada mortalidade.^{23,25}

Para a realização de um procedimento bem sucedido, é essencial ter correta caracterização e localização anatómica do defeito paravalvular.³ É necessário avaliar o número, a localização, a gravidade e a forma dos defeitos paravalvulares, e isso é geralmente realizado por ETE 2D e/ou 3D antes do procedimento.^{23,25,26} O local de acesso ao *leak* paravalvular é decidido com base na sua localização, nas características anatómicas do doente e na experiência e preferência do cardiologista de intervenção.²³ O acesso pode ser realizado de forma anterógrada (venoso, transeptal), retrógrada (arterial, transfemoral) e transapical.^{23,26}

Ao longo dos anos, têm sido estudadas quais as melhores técnicas de imagem para orientação em tempo real deste procedimento, ainda não havendo, contudo, consenso. Hascoet *et al.* reportaram que o ETE 3D era o exame de imagem mais utilizado, principalmente por oferecer uma boa resolução espacial para identificação e posterior encerramento do *leak* paravalvular.²⁵ A TC tem também particular interesse, essencialmente no planeamento pré-procedimento, para localização anatómica precisa do defeito valvular e das suas características (tamanho, forma, calcificação e avaliação das estruturas adjacentes).^{2,5,19} Tem também a vantagem de apresentar uma boa resolução espacial e poder ser, posteriormente, fundida com a fluoroscopia durante a intervenção.^{25,26}

A imagem de fusão parece ser vantajosa, especialmente quando se tratam de vários *leaks* e de pequenas dimensões, dado que podem ser de difícil visualização apenas em imagens de ETE.^{5,7,8} Segundo a experiência de alguns autores, a imagem de fusão facilita o encerramento de *leaks* paravalvulares, na medida em que torna mais preciso o acesso à válvula (transeptal ou transapical)⁴, torna mais fácil direccionar os cateteres através do defeito paravalvular^{3,14}, e facilita a própria localização da lesão e avaliação das estruturas envolventes. Também o recurso às imagens de *doppler* cor pode ser interessante para localizar o *leak* em tempo real.^{5,6}

Não há, contudo, estudos que suportem a utilidade da imagem de fusão nesta intervenção, e são poucos os relatos de casos clínicos. Alguns autores defendem que a imagem de fusão

poderá não ser necessária em todas as intervenções, sendo reservada para as mais complexas (p.e *leaks* de difícil identificação).² Defendem até que, por vezes, a imagem de fusão pode revelar-se supérflua e como um fator de distração durante a intervenção, principalmente se todas as estruturas forem visualizadas de forma satisfatória apenas com uma modalidade de imagem.²

Relativamente à marcação de pontos de referência anatómica, existe também alguma disparidade na literatura; enquanto alguns autores defendem que é viável para uma referenciação mais precisa do *leak* paravalvular^{23,25}, outros defendem que pode revelar-se pouco interessante nesta intervenção, dado o seu carácter estático que não tem em conta os movimentos translacionais valvulares, em especial nos *leaks* da válvula aórtica.^{2,7,8}

Substituição valvular aórtica trans-cateter

A TAVR tem vindo a ser realizada como alternativa à intervenção cirúrgica em doentes com estenose aórtica grave, sintomática, com elevado risco cirúrgico.^{2,6,22,27} O estudo de imagem é parte integrante desta intervenção, tendo um papel imprescindível no pré, intra e pós-procedimento.

Na avaliação pré-procedimento desta intervenção, é importante, primeiramente, a realização de um ecocardiograma transtorácico (ETT) para avaliação da elegibilidade dos doentes, da área e do gradiente valvulares.²⁷⁻²⁹ O estudo pré-procedimento não fica completo sem a realização de uma angioTC para uma melhor avaliação anatómica do aparelho valvular, nomeadamente para medição do anel aórtico, avaliação da anatomia da raiz da aorta e das estruturas envolventes, avaliação do grau de calcificação da válvula aórtica, profundidade de implantação valvular e qualidade dos acessos vasculares.^{6,8,27,30} O ETE pode também ser utilizado, e embora seja inferior à TC multi-corte em termos de resolução espacial anatómica, representa também uma boa solução para planeamento da intervenção. Quer na TC quer na ETE existe a possibilidade de marcação de pontos de interesse anatómico, que poderão ser depois integrados com a fluoroscopia durante o procedimento, sendo que a imagem de fusão ETE+fluoroscopia permite ainda delinear o anel aórtico e facilitar assim a implantação valvular.^{5,6}

O procedimento é realizado com o apoio da fluoroscopia como modalidade de imagem *gold standard*. No entanto, com o desenvolvimento da imagem de fusão, têm vindo a ser associadas a AR-3D ou a ETE em tempo real à fluoroscopia para auxiliar a implantação valvular. A ETE é também preponderante na fase pós-implantação valvular, pois permite a

avaliação imediata do sucesso da intervenção, bem como avaliar *in loco* a ocorrência de complicações no pós-procedimento, nomeadamente regurgitação valvular (*leaks* paravalvulares), disseção e/ou rotura da aorta, derrame pericárdico, perfuração ventricular, hemorragias, entre outras.^{5,27,28,30}

A imagem de fusão através do sistema EchoNavigator® (ETE+fluoroscopia) tem-se mostrado bastante viável na prática clínica, uma vez que permite uma boa análise anatómica em tempo real, tendo em consideração os movimentos valvulares aórticos^{5,14} e permitindo também perceber toda a relação entre os cateteres, fios guia e a própria prótese valvular com as estruturas anatómicas.^{2,28} A colocação de marcadores em locais de interesse anatómico (p.e locais de articulação dos três folhetos valvulares¹⁴) e a correta orientação da prótese são também pontos essenciais para o sucesso da intervenção.² Contudo, alguns autores consideram a aplicação da imagem de fusão na TAVR algo limitada, principalmente porque se pretende que esta seja cada vez mais minimalista e com sedação mínima.⁵

Na prática clínica, tem sido usada maioritariamente a fusão de imagem de TC previamente adquirida com fluoroscopia^{19,29}, uma vez que esta fornece uma definição anatómica completa e precisa para o sucesso da intervenção, quer das estruturas que intervêm diretamente na substituição valvular, quer das estruturas adjacentes.⁵ A marcação de referências anatómicas pode ser realizada na TC que posteriormente é sobreposta com a fluoroscopia; no entanto, deve ter-se em conta o carácter estático da TC e lembrar que esta não tem compensação de movimento suficiente, pelo que é mais suscetível a erros.^{4,5,8}

Madershahian *et al.* estudaram a aplicabilidade e viabilidade do protótipo de um novo *software*, o *Vascular Outlining* (Philips Healthcare, Best, Netherland), para visualização da raiz da aorta durante a TAVR, bem como para avaliação do posicionamento protésico. Este *software* providencia imagens de fusão entre angiografia e fluoroscopia durante a TAVR, tendo sido o planeamento pré-procedimento (avaliação anatómica, medições, etc) realizado por TC. Foram realizados e avaliados 15 TAVR e todas as próteses valvulares foram implantadas com sucesso. Em apenas quatro doentes foram identificados *leaks* paravalvulares. Em todos os procedimentos foi realizada apenas uma injeção de contraste na raiz aórtica. Os autores concluíram que este *software* parece ser viável e auxilia na precisão da implantação valvular aórtica, bem como na redução do volume de contraste administrado.³¹

Cardiopatias congénitas

Nos últimos anos, o número e a complexidade das intervenções percutâneas em doentes com cardiopatia congénita tem vindo a aumentar, evitando assim a cirurgia convencional, tal como o encerramento de defeitos dos septos auricular e ventricular, o encerramento do canal arterial persistente e do foramen oval patente.^{32,33}

Para que estas intervenções sejam cada vez mais seguras, têm vindo a ser aplicadas novas metodologias de imagem com vista a uma melhor apreciação anatómica e à redução da radiação utilizada. Isto torna-se relevante visto tratar-se essencialmente de uma população pediátrica, que poderá ter potencialmente maiores danos por acumulação de radiação ionizante.³⁴

A fluoroscopia continua a ser a pedra basilar de todas as intervenções.³² No entanto, Schubert *et al.* demonstraram a viabilidade do encerramento do defeito do septo auricular, quer em adultos quer em crianças, apenas com o recurso ao ETE, sem fluoroscopia.³⁵ Isto pode ser vantajoso pela diminuição quer da administração de contraste, quer pela diminuição da exposição a radiação ionizante a que se sujeitam os doentes.³⁵

Porém, e dadas as dimensões reduzidas que muitas vezes os defeitos congénitos apresentam, é mandatório bom conhecimento anatómico dos mesmos.⁴ Hadeed *et al.* avaliaram a viabilidade do *software* EchoNavigator® em algumas intervenções que realizaram, como os encerramentos percutâneos dos defeitos dos septos auricular e ventricular, e concluíram que a imagem de fusão entre ETE e a fluoroscopia se revelou um sucesso em todas as intervenções realizadas, não havendo complicações relacionadas com as mesmas a registar. Este estudo não fornece, no entanto, informações acerca dos benefícios em termos de tempo de procedimento ou das doses de radiação.³⁴

Jone *et al.* procuraram mostrar a segurança e eficácia da imagem de fusão ETE+fluoroscopia para orientação do encerramento de defeitos do septo auricular em crianças, em comparação com grupo de controlo (coorte histórica). A equipa de intervenção classificou a qualidade da imagem de fusão como excelente, boa ou má, e foi também graduada pela equipa como superior, sem benefício adicional ou inferior, relativamente à ETE com a fluoroscopia sem fusão de imagem. Foram realizadas 26 intervenções, das quais 10 foram encerramentos de defeitos do septo auricular, nas quais foi utilizada a ETE+fluoroscopia. Houve uma redução estatisticamente significativa do tempo de fluoroscopia (12,6 vs. 18,6 min; $p < 0,001$) e na dose de radiação utilizada (6,9 vs. 12,1 mGy/cm²; $p = 0,03$) no grupo com recurso à imagem de fusão. Não houve diferenças estatisticamente significativas na duração total do procedimento

(107,3 vs. 94,5 min). A definição anatômica da imagem de fusão foi classificada como 'excelente' em 20 dos 26 procedimentos e 'boa' nos restantes seis. Oitenta por cento dos procedimentos com recurso à imagem de fusão foram classificados como sendo superiores à imagem convencional, os restantes sem benefício adicional.³³ (Tabela 1) Embora estes dados sejam animadores, são retrospectivos e baseados numa comparação com uma coorte histórica, com várias fontes de viés, pelo que são necessários estudos randomizados para confirmar a utilidade e interesse da imagem de fusão nestas intervenções.

Tabela I – Resumo dos principais estudos

Referência	Tipo de estudo	População	Métodos	Resultados
Afzal, S. <i>et al.</i> (2017) ¹⁷	Retrospectivo, caso-controlo, unicêntrico	88 doentes submetidos a implantação de MitraClip® ou encerramento do AAE	Grupo em estudo (n=44) com <i>software</i> EchoNavigator®, grupo de controlo (n=44) com abordagem tradicional	<ul style="list-style-type: none"> • Eventos adversos durante a intervenção ✗ • Sucesso da punção transeptal ✓ • Tempo decorrido até à realização da punção ↓↓ no grupo de intervenção (18,5 ± 5,6min vs. 23,2 ± 9,6min; p=0,006).
Jungen, C. <i>et al.</i> (2015) ²¹	Ensaio clinico randomizado, sem ocultação, unicêntrico	34 doentes com FA não-valvular, CHA2DS2-VASc≥1, contraindicação relativa para anticoagulação oral e uma esperança de vida de pelo menos dois anos	Grupo em estudo (n=17) com recurso ao <i>software</i> EchoNavigator® para encerramento percutâneo do AAE, grupo de controlo (n=17) com abordagem tradicional	<ul style="list-style-type: none"> • Dose total de radiação ↓↓ (48,5±30,7 vs. controlo 93,9±64,4 Gy/cm²; p=0,01) • Tempo total de fluoroscopia ↓↓ (16,7±7,0 vs. controlo 24,0±11,4 min; p=0.035) • Duração do procedimento ⊙ (89,6±28,8 vs. 90,1±30,2 min; p=0,96) • Quantidade de contraste utilizado ⊙ (172,3±92,7 vs. 197,5±127,8 ml; p=0,53) • Complicações peri e pós-procedimento (3 meses) ✗

Sündermann, S. <i>et al.</i> (2013) ¹³	Retrospectivo, caso-controlo, unicêntrico	42 doentes com insuficiência mitral, submetidos a reparação valvular com MitraClip®	Grupo em estudo (n=21) com recurso ao <i>software</i> EchoNavigator® para implantação de MitraClip®, grupo de controlo (n=21) com ETE 2D/3D + fluoroscopia	<ul style="list-style-type: none"> • Dose total de radiação ☉ (146,5±123,6 vs. 146,8±134,1 Gy/cm²; p=0,9) • Tempo de fluoroscopia ☉ (32,3±16,8 vs. 30,6±15,3 min; p=0,8) • Duração total do procedimento ☉ (136,2±50,2 vs. 125,7±51,2 min; p=0,5) • <u>Tendência</u> na ↓ da dose de radiação (-15%) e do tempo de fluoroscopia (-5%)
Jone, P. <i>et al.</i> (2016) ³³	Retrospectivo	26 crianças com cardiopatia congénita	26 intervenções percutâneas com recurso ao <i>software</i> EchoNavigator®, comparadas com coorte histórica, sobretudo encerramentos percutâneos de defeitos do septo auricular (10 com imagem de fusão vs. 20 casos controlo)	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de fluoroscopia ↓↓ (12,6 vs. 18,6 min; p<0,001) • Duração do procedimento ☉ (107,3 vs. controlo 94,5 min) • Dose de radiação ↓↓ (6,9 vs. 12,1 mGy/cm²; p<0,03) • Qualidade da imagem de fusão: 20 'excelente', seis 'boa' • Imagem de fusão vs. ETE + fluoroscopia: 81% 'superior', 19% 'sem benefício'

Legenda: ✕ – ausentes; ✓ – presentes; ↓↓ – diminuição significativa; ☉ – sem diferenças significativas; AAE – apêndice auricular esquerdo; ETE – ecocardiografia transesofágica; FA – fibrilhação auricular

Discussão

O número e complexidade das intervenções percutâneas em Cardiologia tem aumentado, em grande parte devido à melhoria da tecnologia dos dispositivos médicos e ao aumento da esperança média de vida. Os doentes mais idosos por vezes não reúnem condições cirúrgicas, quer pela idade quer pelas comorbilidades, sendo por isso o grupo que mais beneficia de intervenções percutâneas. Para que estas sejam cada vez mais eficazes, precisas e seguras, são requeridos métodos de imagem em tempo real com a melhor definição anatómica possível aliada à visualização dos dispositivos utilizados, simulando assim uma visão cirúrgica das estruturas a intervir.

As modalidades de imagem de fusão com componente estático, embora com evidentes limitações, parecem trazer algumas vantagens para a prática clínica. A título de exemplo, na TAVR, a fusão da TC multi-corte ou da AR-3D com a fluoroscopia são atualmente os métodos de imagem mais utilizados. Comparativamente com a realização de TC pré-procedimento em momentos diferentes do da intervenção, a imagem de fusão parece estar associada a menor quantidade de radiação e menor necessidade de contraste durante a intervenção.³⁶

A imagem de fusão dinâmica, em tempo real, parece ser uma ótima opção para alcançar os objetivos de eficácia, segurança e precisão dos procedimentos percutâneos. Os resultados até agora obtidos mostram, na generalidade, uma diminuição do tempo de procedimento, do tempo de fluoroscopia, associado a uma diminuição da radiação e do volume de contraste utilizado. Estes resultados parecem ser tão mais evidentes quanto maior a complexidade das intervenções em causa.

A maior vantagem da imagem de fusão ETE+fluoroscopia, atualmente apenas conseguida com recurso ao *software* EchoNavigator®, é o facto de se tratar de aquisição de imagens dinâmicas e sobrepostas em tempo real. Desta forma, as imagens obtidas refletem o que verdadeiramente ocorre intra-procedimento, nomeadamente a visualização de gestos técnicos, aferição de resultados obtidos e deteção de eventuais complicações. Apesar de escassos, os estudos existentes na literatura mostram uma redução significativa do tempo de procedimento decorrido até ao ato de punção transeptal, comum a várias intervenções. É também demonstrada a redução do tempo de fluoroscopia e da exposição a radiação no encerramento do AAE, e uma tendência na diminuição das doses de radiação e de contraste utilizados na reparação da válvula mitral através da aplicação de MitraClip®, maioritariamente associada a intervenções mais complexas.

As vantagens que a imagem de fusão parece trazer à prática clínica vão além das que se referem à duração do procedimento, ao tempo de fluoroscopia e às doses de radiação e de contraste utilizadas. A tecnologia da imagem de fusão, quando comparada com a fluoroscopia 2D isolada, ou mesmo com as duas modalidades de imagem projetadas em ecrãs diferentes, parece ter também alguma influência no aumento do grau de confiança da equipa de intervenção relativamente à sua própria *performance*.¹⁴ Isto deve-se essencialmente à melhor resolução espacial anatómica da imagem de fusão e também à marcação de pontos de interesse, que são exibidos em tempo real e em sobreposição com a fluoroscopia.

Como qualquer tecnologia, a imagem de fusão está associada a algumas limitações. Primeiramente, existe a referência na literatura de um erro de cerca de 1-2mm inerente ao co-registo de imagens. Este ocorre maioritariamente na direção do feixe fluoroscópico, sendo menor quando as imagens refletem estruturas menos profundas. Este erro pode comprometer também a precisão da marcação de pontos de interesse anatómico e, assim, a eficácia e a segurança das intervenções. Pode, no entanto, ser atenuado com uma técnica adequada e com a constante melhoria tecnológica.⁷

Relativamente às limitações das duas modalidades de imagem de fusão mais utilizadas e reportadas na literatura, a TC multi-corte em fusão com a fluoroscopia apresenta, como principais limitações, o maior erro de registo devido ao alinhamento incorreto das duas imagens (p.e pela diferença de posicionamento do doente, ainda que mínima), a não compensação dos movimentos cardíacos e respiratórios e a não monitorização de alterações intra-procedimento devido ao seu carácter estático. A imagem de fusão dinâmica ETE+fluoroscopia, apesar das vantagens anteriormente descritas, acaba por ser algo limitada em termos de resolução espacial anatómica, que é claramente inferior quer à TC multi-corte, quer à RM.

Alguns autores referem que a imagem de fusão parece ser mais benéfica em equipas com menos experiência clínica, em grande parte pela maior segurança que esta lhes proporciona.³⁶ Porém, é necessário tempo e experiência de aprendizagem para uma melhor *performance* e maior segurança na sua aplicação clínica, daí que vários autores salientem a importante curva de aprendizagem associada à sua utilização.^{7,8,13,28,33} Deste modo, os resultados atualmente disponíveis acerca dos benefícios da imagem de fusão podem estar subestimados, uma vez que esta é uma tecnologia recente e inerente a poucos anos de prática clínica. Será espectável um maior benefício em equipas de intervenção com mais experiência na utilização desta tecnologia, mas para o comprovar e quantificar serão necessários estudos que tenham em consideração a experiência dos utilizadores.

Pelo facto da imagem de fusão ser uma tecnologia recente, existem ainda poucos estudos que estabeleçam a sua superioridade comparativamente ao *gold standard* atual das intervenções percutâneas. De facto, muitos dos trabalhos citados nesta revisão têm metodologia retrospectiva e observacional, com fontes de viés significativo, portanto limitada na análises de eficácia e segurança.

Também pelo seu carácter recente, a imagem de fusão apresenta um potencial de crescimento e de desenvolvimento considerável. Além das aplicações clínicas referidas nesta revisão, alguns autores defendem também os seus possíveis benefícios noutras intervenções, como a realização de biópsias endomiocárdicas ou a implantação de dispositivos de resincronização (orientação da colocação do elétrodo ventricular esquerdo).^{7,36} Existem também algumas melhorias a alcançar, nomeadamente maior rapidez no co-registo de imagens, correção automática do erro de co-registo e dos artefactos decorrentes do movimento cardíaco, respiratório e do próprio doente.^{7,8,37}

A impressão de modelos 3D e as projeções em 4D são também referidas na literatura como formas promissoras para planeamento das intervenções percutâneas, particularmente as mais complexas e que envolvam estruturas de difícil visualização (p.e aurículas irregulares, válvula pulmonar), intervenção coronária complexa³⁸, entre outras aplicações. Estes métodos ganham especial interesse se tiverem a capacidade de simular a deformação tecidual que ocorre durante os procedimentos. Porém, também estas formas não têm capacidade de integrar os movimentos cardíacos e estão associada a custos significativos, sendo necessária uma boa análise custo-benefício.^{4,37}

Neste momento, apesar das limitações da evidência científica disponível, são notórias as vantagens e o potencial da imagem de fusão na intervenção cardíaca percutânea. Contudo, é também indiscutível a necessidade de estudos randomizados, prospetivos, multi-cêntricos, com poder e dimensão amostral adequados, que avaliem a eficácia e segurança da imagem de fusão, bem como os benefícios clínicos para o doente.

Conclusão

As intervenções percutâneas em Cardiologia têm, atualmente, um papel preponderante na prática clínica. Para que estas possam ser cada vez mais eficazes, precisas e seguras, surgiu a imagem de fusão, com o objetivo de conseguir uma melhor definição anatómica aliada à visualização dos dispositivos utilizados.

Os resultados até agora obtidos mostram, na generalidade, uma diminuição do tempo de procedimento e do tempo de fluoroscopia, associados a uma diminuição da radiação e do volume de contraste utilizado.

Pelo facto desta ser uma tecnologia recente e com elevado potencial de desenvolvimento, persiste a necessidade de novos estudos que estabeleçam a sua superioridade relativamente ao *gold standard* atual das intervenções percutâneas.

Agradecimentos

Agradeço ao Dr. Manuel Oliveira Santos, pelo apoio, cooperação e incentivo constantes ao longo da realização deste trabalho. Ao Professor Doutor Lino Gonçalves, pela leitura e revisão científica. A ambos, agradeço todos os conhecimentos transmitidos ao longo da minha formação académica.

Agradeço aos meus pais, ao meu irmão e à minha avó, por serem sempre casa e por tudo quanto fizeram e fazem por mim.

Ao Renato, meu marido, agradeço o apoio incondicional e os exemplos de aprendizagem constante, competência e humildade.

À Maria João, amiga e companheira deste percurso académico, agradeço todos os momentos partilhados.

Referências bibliográficas

1. Balzer J, Zeus T, Veulemans V, Kelm M. Hybrid Imaging in the Catheter Laboratory: Real-time Fusion of Echocardiography and Fluoroscopy During Percutaneous Structural Heart Disease Interventions. *Interv Cardiol*. 2016;11(1):59-64.
2. Wiley BM, Eleid MF, Thaden JJ. Fusion Imaging for Procedural Guidance. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2018;71(5):373-81.
3. Ternacle J, Gallet R, Nguyen A, Deux JF, Fiore A, Teiger E, et al. Usefulness of Echocardiographic-Fluoroscopic Fusion Imaging in Adult Structural Heart Disease. *Arch Cardiovasc Dis*. 2018;111(6-7):441-8.
4. Biaggi P, Fernandez-Golfin C, Hahn R, Corti R. Hybrid Imaging During Transcatheter Structural Heart Interventions. *Curr Cardiovasc Imaging Rep*. 2015;8(9):33.
5. Basman C, Parmar Y, Kliger C, Jelnin V, Pasala T, Ruiz C, et al. Fusion Imaging for Structural Heart Disease Interventions. *Curr Cardiovasc Imaging Rep*. 2017;10:41.
6. Balzer J, Zeus T, Veulemans V, Kelm M. Hybrid Imaging in the Catheter Laboratory: Real-time Fusion of Echocardiography and Fluoroscopy During Percutaneous Structural Heart Disease Interventions. *Interv Cardiol*. 2016;11(1):59-64.
7. Thaden JJ, Sanon S, Geske JB, Eleid MF, Nijhof N, Malouf JF, et al. Echocardiographic and Fluoroscopic Fusion Imaging for Procedural Guidance: An Overview and Early Clinical Experience. *J Am Soc Echocardiogr*. 2016;29(6):503-12.
8. Carvajal-Rivera J, Fernández M, López-Quintero J, Isla L, Molina G. Fusión de Ecocardiografía 2D/3D-Fluoroscopia: Nueva Herramienta en el Intervencionismo Cardíaco. *Rev Colomb Cardiol*. 2018;25(1):55-66.
9. Warin-Fresse K, Hascoet S, Guerin P. [Multimodality Imaging in the Cardiac Catheterization Laboratory]. *Presse Med*. 2017;46(5):490-6.
10. Glöckler M, Halbfabeta J, Koch A, Achenbach S, Dittrich S. Multimodality 3D-Roadmap for Cardiovascular Interventions in Congenital Heart Disease—A single-center, retrospective analysis of 78 cases. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2012;82(3):436-42.
11. Abu Hazeem AA DY, Whitehead KK, Harris MA, Fogel MA, Gillespie MJ, Rome JJ, Glatz AC. X-ray Magnetic Resonance Fusion Modality May Reduce Radiation Exposure and

Contrast Dose in Diagnostic Cardiac Catheterization of Congenital Heart Disease. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2014;85(4):795-800.

12. Faranesh A, Kellman P, Ratnayaka K, Lederman R. Integration of Cardiac and Respiratory Motion Into MRI Roadmaps Fused with X-ray. *Med Phys.* 2013;40(3).

13. Sundermann SH, Biaggi P, Grunenfelder J, Gessat M, Felix C, Bettex D, et al. Safety and Feasibility of Novel Technology Fusing Echocardiography and Fluoroscopy Images During MitraClip Interventions. *EuroIntervention.* 2014;9(10):1210-6.

14. Balzer J, Zeus T, Hellhammer K, Veulemans V, Eschenhagen S, Kehmeier E, et al. Initial Clinical Experience Using the EchoNavigator[®]-System During Structural Heart Disease Interventions. *World J Cardiol.* 2015;7(9):562-70.

15. Faletra FF, Biasco L, Pedrazzini G, Moccetti M, Pasotti E, Leo LA, et al. Echocardiographic-Fluoroscopic Fusion Imaging in Transseptal Puncture: A New Technology for an Old Procedure. *J Am Soc Echocardiogr.* 2017;30(9):886-95.

16. Gafoor S, Schulz P, Heuer L, Matic P, Franke J, Bertog S, et al. Use of EchoNavigator, a Novel Echocardiography-Fluoroscopy Overlay System, for Transseptal Puncture and Left Atrial Appendage Occlusion. *J Interv Cardiol.* 2015;28(2):215-7.

17. Afzal S, Veulemans V, Balzer J, Rassaf T, Hellhammer K, Polzin A, et al. Safety And Efficacy of Transseptal Puncture Guided by Real-time Fusion of Echocardiography and Fluoroscopy. *Neth Heart J.* 2017;25(2):131-6.

18. Reddy V, Doshi S, Sievert H, Buchbinder M, Huber K, Halperin J, et al. Percutaneous Left Atrial Appendage Closure for Stroke Prophylaxis in Patients With Atrial Fibrillation - 2.3-Year Follow-up of the PROTECT AF (Watchman Left Atrial Appendage System for Embolic Protection in Patients With Atrial Fibrillation) Trial. *Circulation.* 2013;127:720-9.

19. Hussain MA, Nabi F. Complex Structural Interventions: The Role of Computed Tomography, Fluoroscopy, and Fusion Imaging. *Methodist DeBakey Cardiovasc J.* 2017;13(3):98-105.

20. Prakash R, Saw J. Imaging for Percutaneous Left Atrial Appendage Closure. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2018;92(2).

21. Jungen C, Zeus T, Balzer J, Eickholt C, Petersen M, Kehmeier E, et al. Left Atrial Appendage Closure Guided by Integrated Echocardiography and Fluoroscopy Imaging Reduces Radiation Exposure. *PLoS One*. 2015;10(10):e0140386.
22. Baumgartner H, Falk V, Bax J, De Bonis M, Hamm C, Holm PJ, et al. Guidelines for the Management of Valvular Heart Disease (version 2017): 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). *Eur Heart J*. 2017;38(36):2739-91.
23. Faletra FF, Pozzoli A, Agricola E, Guidotti A, Biasco L, Leo LA, et al. Echocardiographic-Fluoroscopic Fusion Imaging for Transcatheter Mitral Valve Repair Guidance. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2018;19(7):715-26.
24. Blanke P, Naoum C, Webb J, Dvir D, Hahn RT, Grayburn P, et al. Multimodality Imaging in the Context of Transcatheter Mitral Valve Replacement: Establishing Consensus Among Modalities and Disciplines. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2015;8(10): 1191-208.
25. Hascoet S, Smolka G, Bagate F, Guihaire J, Potier A, Hadeed K, et al. Multimodality Imaging Guidance for Percutaneous Paravalvular Leak Closure: Insights from the multi-centre FFPP register. *Arch Cardiovasc Dis*. 2018;111(6-7):421-31.
26. Krishnaswamy A, Tuzcu EM, Kapadia S. Percutaneous Paravalvular Leak Closure. *Interv. Cardiol*. 2013;15:565-74.
27. Hahn R. Use of Imaging for Procedural Guidance During Transcatheter Aortic Valve Replacement. *Curr Opin Cardiol*. 2013;28(5):512-7.
28. Anwaruddin S. The Role of Preoperative and Intraoperative Imaging in Guiding Transcatheter Aortic Valve Replacement. *Interv Cardiol Clin*. 2015;4(1):39-51.
29. Chourdakis E, Koniari I, Kounis NG, Velissaris D, Koutsogiannis N, Tsigkas G, et al. The Role of Echocardiography and CT Angiography in Transcatheter Aortic Valve Implantation Patients. *J Geriatr Cardiol*. 2018;15(1):86-94.
30. Smith TW, Bommer WJ, Reed GW, Tuzcu EM, Kapadia SR, Krishnaswamy A, et al. Multimodality Imaging in Transcatheter Aortic Valve Replacement. *Rev Cardiovasc Med*. 2014; 15(2):75-85.

31. Madershahian N, Weber C, Majd P, Rudolph T, Kuhn E, Scherner M, et al. Feasibility and Applicability of Static Vascular Outline Roadmapping During Transcatheter Aortic Valve Implantation. *The Journal of Cardiovascular Surgery*. 2018;59(1):111-4.
32. Hascoet S, Warin-Fresse K, Baruteau AE, Hadeed K, Karsenty C, Petit J, et al. Cardiac Imaging of Congenital Heart Diseases During Interventional Procedures Continues to Evolve: Pros and Cons of the Main Techniques. *Arch Cardiovasc Dis*. 2016;109(2):128-42.
33. Jone PN, Ross MM, Bracken JA, Mulvahill MJ, Di Maria MV, Fagan TE. Feasibility and Safety of Using a Fused Echocardiography/Fluoroscopy Imaging System in Patients with Congenital Heart Disease. *J Am Soc Echocardiogr*. 2016;29(6):513-21.
34. Hadeed K, Hascoet S, Karsenty C, Ratsimandresy M, Dulac Y, Chausseray G, et al. Usefulness of Echocardiographic-Fluoroscopic Fusion Imaging in Children with Congenital Heart Disease. *Arch Cardiovasc Dis*. 2018;111(6-7):399-410.
35. Schubert S, Kainz S, Björn P, Berger F, Ewert P. Interventional Closure of Atrial Septal Defects Without Fluoroscopy in Adult and Pediatric Patients. *Clin Res Cardiol*. 2012;101 (9):691-700.
36. van den Broek HT, van Es R, Krings GJ, De Rooter QMB, Voskuil M, Meine M, et al. 3D Hybrid Imaging for Structural and Congenital Heart Interventions in the Cath Lab. *Structural Heart - The Journal of the Heart Team* 2018;2(5):362-71.
37. Veulemans V, Hellhammer K, Polzin A, Bönner F, Zeus T, Kelm M. Current and Future Aspects of Multimodal and Fusion Imaging in Structural and Coronary Heart Disease. *Clin Res Cardiol*. 2018;108(Suppl 2):S49-S54.
38. Oliveira Santos M, Oliveira Santos E, Marinho AV, Leite L, Guardado J, Matos V, et al. Patient-Specific 3D Printing Simulation to Guide Complex Coronary Intervention. *Rev Port Cardiol*. 2018.