

Índice

Resumo	4
Palavras-chave	4
Abstract	5
Keywords	5
Lista de Abreviaturas	6
Introdução	8
Estenose aórtica	
Etiologia e Patogénese	11
Fisiopatologia	11
Sintomas e História Natural	12
Tratamento Médico	13
Tratamento Cirúrgico	13
Valvuloplastia aórtica percutânea com balão	15
Implantação valvular aórtica transcater (IVAT)	16
Materiais e Métodos	19
Métodos de imagem na implantação percutânea de uma prótese valvular aórtica	20
Anatomia da válvula e raiz aórtica e características das próteses valvulares implantáveis	20
A – Seleção de pacientes – Imagiologia pré-procedimento	24
Confirmação da gravidade da EA	24
Análise do risco cirúrgico e avaliação da esperança média e qualidade de vida	26
Avaliação da exequibilidade da IVAT e exclusão das suas contra-indicações	26
1) Avaliação da via de acesso e artérias periféricas	27

2) Avaliação da anatomia coronária	29
3) Avaliação da anatomia da raiz e da válvula aórtica e do coração	30
3.1) Avaliação da anatomia da válvula aórtica	31
3.2) Medição do anel aórtico	33
3.3) Avaliar a raiz aórtica e a aorta ascendente	38
3.4) Medição da distância entre os óstios coronários e o plano do anel aórtico	39
4) Avaliação das contra-indicações	40
B – Imagiologia durante o procedimento	41
C – Imagiologia no acompanhamento/ <i>follow-up</i>	49
Conclusão	56
Referências bibliográficas	63

Métodos de imagem na implantação valvular aórtica transcateter

Tiago Pedro Espadinha Castanheiro¹, Rogério Paiva Cardoso Teixeira^{1,2}, Lino Manuel
Martins Gonçalves^{1,3}

¹ – Faculdade de Medicina, Universidade de Coimbra, Portugal

² – Hospital Beatriz Ângelo, Loures, Portugal

³ – Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra, Portugal

Resumo

A implantação valvular aórtica transcater (IVAT) é uma técnica recente utilizada no tratamento da estenose aórtica (EA) grave, com impacto significativo na qualidade de vida e no prognóstico. Apesar do aparente sucesso, a IVAT não é considerada uma alternativa, mas sim uma terapêutica de recurso, quando a substituição valvular aórtica (SVA) cirúrgica estiver protelada por um elevado risco cirúrgico. Fazem parte dos passos da IVAT a seleção dos candidatos, a monitorização do procedimento e o acompanhamento dos pacientes, sendo, em todos eles, fundamental a utilização de métodos complementares de imagem. Neste trabalho pretende-se descrever os meios complementares de diagnóstico imagiológicos necessários para a implantação percutânea de uma prótese em posição aórtica.

Palavras-chave:

Estenose aórtica; implantação valvular aórtica transcater; métodos complementares de diagnóstico imagiológicos

Abstract

Transcatheter aortic valve implantation (TAVI) is a recent technique used in the treatment of severe aortic stenosis (AS), with a significant impact on the prognosis and quality of life. Despite the apparent success, TAVI is not considered an alternative, but a salvage therapy when aortic valve replacement (AVR) is deferred for a high surgical risk. The steps of TAVI are selection of candidates, procedure guidance and follow-up. For each step imaging techniques are essential. This review describes the imaging techniques necessary for a percutaneous implantation of an aortic valve prosthesis.

Keywords:

Aortic stenosis; transcatheter aortic valve implantation; imaging

Lista de abreviaturas

2D – duas dimensões

3D – três dimensões

AEO – área efetiva do orifício

ARA – antagonistas dos recetores da angiotensina II

ASC – área da superfície corporal

AVC – acidente vascular cerebral

DC – débito cardíaco

DCI – doença coronária isquémica

EA – estenose aórtica

EACTS – *European Association for Cardio-Thoracic Surgery*

EAPCI – *European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions*

ECG – eletrocardiograma

ESC – *European Society of Cardiology*

ETE – ecocardiografia trans-esofágica

ETT – ecocardiografia trans-torácica

FA – fibrilhação auricular

FEVE – fração de ejeção ventricular esquerda

EHS – *Euro Heart Survey*

IP-P – incompatibilidade prótese-paciente

IVAT – implantação de válvula aórtica transcater

IVD – índice de velocidade Doppler adimensional

IECA – inibidores da enzima de conversão do angiotensinogénio

JST – junção sinotubular

PARTNER – *Placement of Aortic Transcatheter Valves*

RA – regurgitação aórtica

RMC – ressonância magnética cardíaca

STS – *Society of Thoracic Surgeons*

SVA – substituição valvular aórtica

TACMD – tomografia axial computadorizada multidetetores

TSVE – trato de saída do ventrículo esquerdo

VA – válvula aórtica

VE – ventrículo esquerdo

VD – ventrículo direito

Introdução

A estenose aórtica (EA) é a doença valvular mais frequente na Europa e América do Norte, com uma prevalência estimada entre 2 a 7% da população com mais de 65 anos.(1,2) Na fase sintomática apresenta mau prognóstico, com taxas de sobrevivência aos 5 anos entre 15-50%. (3)

A substituição valvular aórtica (SVA) cirúrgica é a terapêutica de eleição para a EA grave sintomática, com melhora dos sintomas, da qualidade de vida e da sobrevivência. No entanto, a presença de certos fatores de risco como idade avançada, género feminino, multi-morbilidade, classe funcional elevada, cirurgia de emergência, disfunção grave da função sistólica do ventrículo esquerdo (VE), hipertensão pulmonar, doença coronária concomitante e cirurgia de revascularização miocárdica ou valvular prévia, estão associados a um maior risco de mortalidade operatória. Ainda assim, a mortalidade intra-hospitalar da SVA isolada para a EA grave situa-se entre ~1% e 3% em doentes com menos de 70 anos, e entre 4% e 8% em idosos selecionados.(3) Dados do *Euro Heart Survey* (EHS) sobre patologia valvular demonstraram que cerca de um terço dos pacientes com EA grave com indicação cirúrgica, não foram submetidos à substituição valvular. A idade dos pacientes e comorbilidades significativas foram as principais razões.(4)

De acordo com um ensaio randomizado sobre a terapêutica para doentes com EA grave e com elevado risco cirúrgico, denominado *Placement of Aortic Transcatheter Valves* (PARTNER), o tratamento médico não alterou a história natural da EA grave. Na verdade, no grupo de doentes alocados apenas à terapêutica médica convencional a mortalidade global (50,7%) e cardiovascular (44,6%) no final do primeiro ano, foi muito elevada.(5)

Apesar da valvuloplastia percutânea ter importância na população pediátrica, esta técnica tem um papel muito reduzido quando utilizada isoladamente em adultos. É pouco eficaz, tem uma elevada taxa de restenose e apresenta múltiplas complicações, pelo que os resultados a médio e a longo prazo não modificam a história natural da doença.(6)

Em consequência da ineficácia do tratamento médico e da valvuloplastia percutânea por balão no contexto da EA grave, surgiu a necessidade do desenvolvimento de um tratamento alternativo à cirurgia, para os doentes que não reuniam condições cirúrgicas.

Em 2002 foi realizada em França a primeira implantação de válvula aórtica transcater (IVAT). (7) Ao longo da última década a técnica evoluiu e estabeleceu-se como uma opção terapêutica para a EA grave sintomática. É recomendada no contexto de uma avaliação multidisciplinar, que considere o doente inadequado para cirurgia convencional. Esta equipa deve ser constituída por cardiologistas, cirurgiões cardíacos, radiologistas especializados, anestesiologistas, e se indicado, internistas, especialistas em geriatria ou cuidados intensivos.(3)

Um *EuroSCORE* logístico superior ou igual a 20% ou um *score* da *Society of Thoracic Surgeons* (STS) superior a 10% têm sido sugeridos como indicação para a IVAT. O primeiro sobreestima a mortalidade cirúrgica, enquanto que o segundo conduz a uma avaliação do risco cirúrgico mais realista.(8,9) Ainda assim, condições de grande debilidade, aorta de porcelana, história de radiação torácica ou enxertos coronários patentes, podem tornar os doentes menos adequados para a SVA, ainda que na presença de um *EuroSCORE* logístico <20% ou STS <10%.(8)

Ao longo da última década foi demonstrado que, em doentes com elevado risco cirúrgico a IVAT é um procedimento exequível com taxas de sucesso superiores a 90%,

quer utilizando um acesso transfemoral, transapical, ou, mais raramente subclávio ou um acesso direto trans-aórtico.(5,10–18)

O primeiro estudo randomizado que comparou a IVAT com a SVA cirúrgica em pacientes de alto risco cirúrgico, mas considerados operáveis, demonstrou que a IVAT não é inferior à SVA, no que disse respeito à mortalidade (cardiovascular e não cardiovascular) um ano após o procedimento (24,2%-IVAT para 26,8%-SVA), tendo sido notadas melhorias funcionais marcadas em ambos os grupos.(10) Analisando os resultados secundários, foi demonstrado que a IVAT acarreta um maior risco de eventos cerebrovasculares, complicações vasculares e uma maior incidência de regurgitação valvular. Reciprocamente, hemorragias e fibrilhação auricular (FA) foram mais frequentes depois da cirurgia.(10) Na ausência de contra-indicações anatómicas, a abordagem transfemoral é a técnica preferida, ainda que não existam comparações diretas entre as diferentes abordagens.(3)

A IVAT é assim uma técnica promissora no tratamento da EA grave sintomática. Para a sua realização é fundamental a integração de vários métodos complementares de imagem, não só para a seleção cuidada dos pacientes, mas também para o suporte durante o procedimento percutâneo, e para o acompanhamento pós implantação. A presente tese tem como objetivo descrever os meios complementares de diagnóstico imagiológicos necessários para a implantação percutânea de uma prótese em posição aórtica em doentes com EA grave.

Estenose aórtica

Etiologia e patogénese

A EA representa um quarto dos pacientes que sofrem de patologia valvular cardíaca, sendo que 80% da população que sofre de EA grave sintomática é do género masculino. Em adultos deve-se frequentemente a um processo de calcificação degenerativa das cúspides. Partilha vários mecanismos fisiopatológicos com a aterosclerose, tais como a disfunção endotelial, a acumulação lipídica, ativação de células inflamatórias, libertação de citocinas, entre outros. Alguns polimorfismos genéticos têm sido associados a fatores que fazem com que os miofibroblastos valvulares se diferenciem em osteoblastos para promoverem a deposição de cristais de hidroxiapatite de cálcio nas cúspides. (19–21)

A bicuspidia aórtica, a cardiopatia reumática e uma exposição radiológica do mediastino podem estar também na base da doença valvular aórtica (19).

Fisiopatologia

A EA representa uma obstrução fixa ao fluxo sistólico do VE, o que é sinónimo de um gradiente de pressão em sístole entre o VE e a aorta. Esta obstrução pode estar presente desde o nascimento e aumentar gradualmente ao longo do tempo, sendo que a performance contrátil do VE é mantida através de um mecanismo de adaptação, denominado hipertrofia concêntrica, que pretende reduzir à normalidade o stress sistólico. O gradiente de pressão transvalvular pode existir sem manifestações clínicas. No entanto, a hipertrofia geralmente acaba por se tornar excessiva e maladaptativa, com consequente deterioração da função sistólica e diastólica e com o aparecimento de sintomas.

Um gradiente de pressão sistólica > 40 mmHg com um débito cardíaco (DC) normal ou uma área efetiva do orifício (AEO) aórtico $< 1\text{cm}^2$, ($< 0,6\text{cm}^2/\text{m}^2$) são geralmente suficientes para afirmar uma obstrução grave ao fluxo do VE. A elevação da pressão diastólica final do VE observada em pacientes com EA grave e fluxo de ejeção preservado, mostra a presença de uma diminuição da complacência do VE hipertrofiado e a sua dilatação.(19)

Sintomas e História Natural

A EA raramente tem expressão clínica até uma área valvular inferior a 1cm^2 . Quer isto dizer que a EA pode persistir alguns anos sem sintomas. Normalmente estes surgem entre a sexta e a oitava década de vida, constituindo uma tríade característica de dispneia de esforço, angina e síncope.(20)

A mortalidade em pacientes com EA grave ocorre maioritariamente na sétima e oitava décadas de vida. De acordo com estudos sobre a história natural da EA, prévios à disponibilidade da terapêutica cirúrgica, a mortalidade ocorria, em média, 3 anos após o aparecimento de angina ou síncope; 2 anos após a dispneia; e 1,5 a 2 anos após o surgimento de insuficiência cardíaca congestiva. Além disso, mais de 80% dos pacientes que morreram com EA, apresentavam sintomas há menos de 4 anos.(19)

Em cerca de 10-20% dos casos a mortalidade é súbita. É importante também ressaltar que a morte súbita surge em pacientes sintomáticos, mas é considerada rara como primeira manifestação em pacientes assintomáticos ($< 1\%$ por ano).(19–21)

A EA calcificada é uma doença progressiva, com uma redução anual média da área valvular de $0,1\text{cm}^2$, e um aumento anual da velocidade do jato e do gradiente valvular, entre os $0,3\text{ m/s}$ e 7mmHg , respetivamente.(19)

Tratamento

Médico

A progressão da EA é um processo ativo, que partilha com a aterosclerose muitas semelhanças. Daí a importância do tratamento dos fatores de risco ateroscleróticos modificáveis em pacientes com EA. (3) Em pacientes com EA grave a atividade física exigente e desportos de competição devem ser evitados, mesmo no período assintomático.

A terapêutica farmacológica utilizada para a hipertensão ou a doença coronária isquémica (DCI), como os beta bloqueantes e os inibidores da enzima de conversão do angiotensinogénio (IECA), são geralmente seguros para pacientes assintomáticos com boa função sistólica ventricular preservada. A nitroglicerina pode ser usada para alívio das crises anginosas. Apesar de vários estudos retrospectivos mostrarem que as estatinas têm efeitos benéficos na progressão da EA, estudos randomizados mais recentes contrariam esta hipótese, e sugerem que estes fármacos não sejam utilizados com o único propósito de atrasar a progressão da doença valvular.(3,22)

Pacientes que não são candidatos para SVA ou para a IVAT, ou que estão à espera destes procedimentos, e que desenvolvam uma síndrome clínica de insuficiência cardíaca podem ser tratados com diuréticos, IECA's, ou antagonistas dos recetores de angiotensina II (ARA's). Será também desejável manter o ritmo sinusal.(3)

Cirúrgico

A SVA é a terapia definitiva de eleição para a EA grave, sendo que a mortalidade para a SVA isolada é reduzida, como já referido. (3) As indicações para este procedimento segundo as novas recomendações da *European Society of Cardiology* (ESC) e *European Association for Cardio-Thoracic Surgery* (EACTS) são as seguintes:

- Doentes com EA grave [AEO aórtico $<1\text{cm}^2$, ou $<0,6\text{cm}^2/\text{m}^2$ de área da superfície corporal (ASC) de um adulto de tamanho normal] sintomática que possam ser sujeitos a cirurgia (classe de recomendação I);
- Doentes com EA grave que vão ser submetidos a uma cirurgia de revascularização coronária por *bypass*, cirurgia à aorta ascendente ou cirurgia a outra válvula cardíaca (classe de recomendação I);
- Doentes com EA grave, assintomáticos, mas com disfunção ventricular esquerda sistólica [fração de ejeção ventricular esquerda (FEVE) $<50\%$] que não é devida a outra causa (classe de recomendação I);
- Doentes com EA grave assintomática, com uma prova de esforço anormal que revelem sintomas durante o exercício claramente relacionados com a EA (classe de recomendação I); ou uma queda na pressão arterial (classe de recomendação IIa);
- Doentes com EA grave e considerados de elevado risco cirúrgico, nos quais possa ser adequado realizar IVAT, mas em que uma equipa multidisciplinar escolhe a cirurgia baseada no perfil de risco individual e nas condições anatómicas (classe de recomendação IIa);
- Doentes com EA moderada (AEO aórtico entre 1,0 e 1,5 cm^2 , ou $0,6\text{cm}^2/\text{m}^2$ a $0,9\text{cm}^2/\text{m}^2$ de ASC de um adulto de tamanho normal; ou gradiente aórtico médio entre 25-40 mmHg na presença de um fluxo normal) que vão realizar uma cirurgia de revascularização coronária por *bypass*, cirurgia à aorta ascendente ou cirurgia a outra válvula cardíaca (classe de recomendação IIa);
- Doentes com EA com fluxo sistólico indexado reduzido ($< 35 \text{ ml}/\text{m}^2$), um gradiente transvalvular médio baixo ($<40\text{mmHg}$), com uma FEVE normal apenas depois da confirmação de uma EA grave (classe de recomendação IIa);

- Doente com EA grave, com um fluxo sistólico indexado reduzido ($< 35 \text{ ml/m}^2$), gradiente transvalvular médio baixo ($< 40 \text{ mmHg}$), uma FEVE reduzida e evidência de reserva contrátil (classe de recomendação IIa);
- Doentes com EA grave assintomáticos, com FEVE normal, e sem alterações na prova de esforço se o risco cirúrgico for baixo e se um ou mais dos seguintes aspetos estiver presente: EA crítica definida por uma velocidade máxima transvalvular $> 5,5 \text{ m/s}$, ou calcificação grave e taxa de progressão da velocidade máxima transvalvular $\geq 0,3 \text{ m/s}$ por ano (classe de recomendação IIa).(3)

A cirurgia deve realizar-se dentro dos 3-4 meses subsequentes ao aparecimento dos sintomas e antes da insuficiência ventricular esquerda se desenvolver.

A taxa de sobrevida aos 10 anos em pacientes com SVA é aproximadamente 60%. Cerca de 30% das próteses biológicas evidenciam falência valvular primária em 10 anos, requerendo re-substituição, e uma percentagem equivalente de pacientes com próteses mecânicas desenvolvem complicações hemorrágicas graves como consequência da terapia anticoagulante.(3)

Valvuloplastia aórtica percutânea com balão

Este procedimento é preferível à cirurgia em muitas crianças e jovens adultos com EA congénita não calcificada.(3)

Não é muito utilizada em adultos com EA grave calcificada devido à sua elevada taxa de re-estenose (80% em 1 ano) e ao risco de complicações do procedimento. No entanto pode ser considerada como uma medida paliativa em casos seleccionados onde a cirurgia está contra-indicada e a IVAT não é opção; como uma ponte para a cirurgia ou IVAT, em pacientes hemodinamicamente instáveis que têm um alto risco para a

cirurgia; ou em pacientes sintomáticos com EA grave que necessitem de uma cirurgia major não cardíaca de urgência.(3)

Implantação Valvular aórtica transcater (IVAT)

A IVAT tem sido realizada com dois sistemas distintos. Um deles utiliza uma válvula expansível por balão, o outro uma válvula auto-expansível, incorporando os dois uma prótese de pericárdio.(23) Segundo as recomendações de 2012 da *ESC/EACTS* para as doenças valvulares cardíacas, esta técnica constitui uma opção terapêutica a ter em conta no tratamento da EA grave. As recomendações para o uso da IVAT estão na tabela 1, adaptada das recomendações.

Tabela 1 – Recomendações para o uso da IVAT (adaptado das recomendações de 2012 da *ESC/EACTS* para as doenças valvulares cardíacas).(3)

Recomendações	Classe de recomendação	Nível de evidência
A IVAT deve ser apenas feita com uma “equipa cardíaca” multidisciplinar, que inclui cardiologistas, cirurgiões cardio-torácicos e outros especialistas se necessário	I	C
A IVAT deve ser feita apenas em hospitais com cirurgia cardíaca no local	I	C
A IVAT está indicada em pacientes com EA grave sintomática em que, perante a avaliação da “equipa cardíaca”, não está indicada a SVA e com a qual é provável que ganhem melhorias na sua qualidade de	I	B

vida e tenham uma esperança média de vida superior a 1 ano após as considerações das suas comorbilidades.		
A IVAT deve ser considerada em pacientes de alto risco com EA sintomática grave, que poderão ainda ser candidatos para a cirurgia, mas na qual a IVAT é favorecida pela “equipa cardíaca” baseada no perfil de risco individual e numa anatomia adequada.	IIa	B

As contra-indicações, tanto clínicas como anatómicas, para esta técnica devem ser identificadas (tabela 2).

Tabela 2 – Contra-indicações para a realização da IVAT (adaptado das recomendações de 2012 da ESC/EACTS para as doenças valvulares cardíacas)(3)

Contra-indicações absolutas
- Ausência de uma “equipa cardíaca” e cirurgia cardíaca no local
- Adequação da IVAT, como alternativa à SVA, não confirmada pela “equipa cardíaca”
<i>Clínicas:</i>
- Esperança média de vida <1 ano
- Melhoria na qualidade de vida através da IVAT pouco provável devido às comorbilidades
- Associação de doença grave primária de outras válvulas com uma contribuição maioritária para os sintomas do paciente, que só pode ser tratada por cirurgia
<i>Anatómicas</i>
- Tamanho do anel aórtico inadequado (<18mm ou > 29mm, para os dispositivos atuais)
- Trombo no ventrículo esquerdo
- Endocardite ativa

- Risco de obstrução do óstio coronário elevado (calcificação valvular assimétrica, distância curta entre o anel aórtico e o óstio coronário, sinus aórticos pequeno)
- Placas com trombos móveis na aorta ascendente, ou arco aórtico
- Acesso vascular inadequado para os acessos transfemorais/subclávios (tamanho dos vasos, calcificação, tortuosidade)
Contra-indicações relativas
- Válvulas bicúspides ou não calcificadas
- Doença coronária isquêmica não tratada que requer revascularização
- Instabilidade hemodinâmica
- Função de ejeção ventricular esquerda <20%
- Para o acesso transapical: doença pulmonar grave, ápex do VE não acessível

Materiais e métodos

Foi feita uma pesquisa de estudos publicados entre 2002 e 2012, sobre a IVAT com especial foco nos métodos complementares de imagem deste procedimento. Foi para esse efeito utilizada a base de dados da *Pubmed*, onde se pesquisou com as seguintes palavras-chave; *transcatheter aortic valve implantation, imaging*. A pesquisa foi limitada a artigos escritos em inglês, português e espanhol. Obtiveram-se cerca de 400 artigos, sendo a sua seleção feita inicialmente através da leitura do título e depois pelo resumo.

Métodos de imagem na implantação percutânea de uma prótese valvular aórtica

Anatomia da válvula e raiz aórtica e características das próteses valvulares implantáveis

Fazem parte da base de sustentação da válvula o anel aórtico, as comissuras, os *sinus* de Valsalva, os óstios coronários e a junção sinotubular (JST).(24) (Fig. 1)

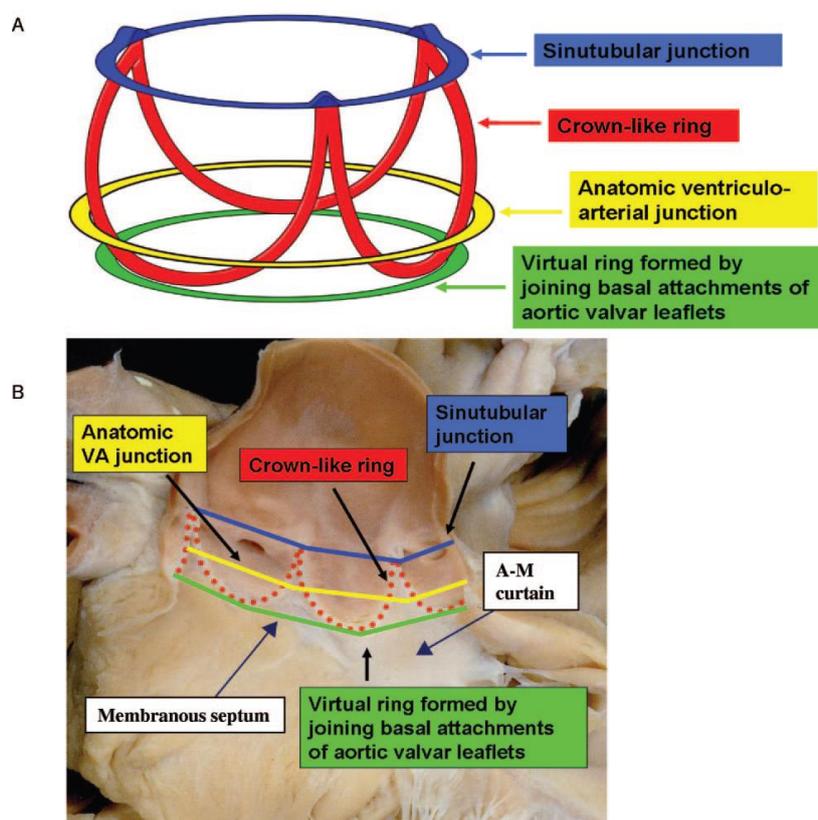


Figura 1 – Anatomia da raiz aórtica

(A) – Diagrama a três dimensões da raiz aórtica que mostra a sua forma em coroa, a localização dos vários planos anelares. (B) – Planos imagiológicos e inserções dos folhetos de (A) sobrepostos numa imagem de um espécimen *postmortem*. VA = ventrículo-arterial; A-M = aorto-mitral. Adaptado de Piazza et al. (24)

Está bem estabelecido que o anel aórtico tem uma forma oval, não monoplanar. Assemelha-se a uma coroa tri-dentada, com os três pontos de ancoragem no nadir de cada cúspide aórtica.

A fixação das cúspides aórticas é semilunar, estendendo-se através da raiz da aorta desde o VE, até à JST. São definidos dois anéis virtuais: um anel inferior, formado pela junção da fixação basal dos folhetos das cúspides valvulares (anel aórtico); e um verdadeiro anel superior, no cimo da coroa, correspondendo à JST.(24) A medição do anel aórtico é geralmente feita no plano basal virtual, no ponto mais baixo de inserção das cúspides da válvula aórtica (VA), durante a sístole.(25)

As características das próteses valvulares implantáveis são também importantes e devem ser integradas com os resultados dos métodos de imagem. O sistema auto-expansível da *CoreValve Revalving System*® (CoreValve, Paris, France; e Medtronic, Minneapolis, Minnesota, USA) tem uma forma de ampulheta e é mais longo. É feito com pericárdio porcino inserido num *stent* de nitinol auto-expansível assimétrico (Fig. 2). O bordo inferior da prótese foi desenhado para ser implantado proximalmente ao anel aórtico, dentro do trato de saída do ventrículo esquerdo (TSVE) e a coaptação dos folhetos é considerada supra-anelar, o que é evidente no ecocardiograma pós-implantação (Fig. 3).(26)

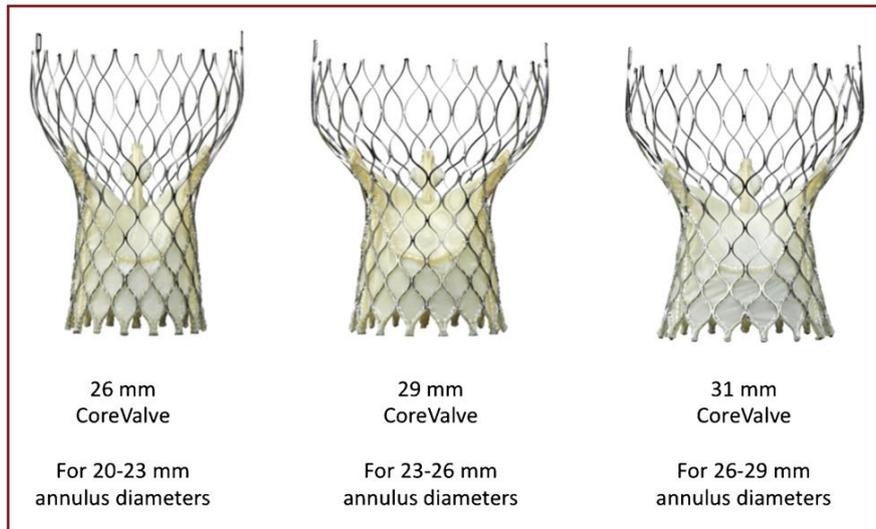


Figura 2 – Válvula CoreValve®, atualmente disponível em 3 tamanhos (26, 29 e 31 mm), pode ser implantada em anéis aórticos de 20 a 29 mm. Adaptado de Piazza *et al.* (27)

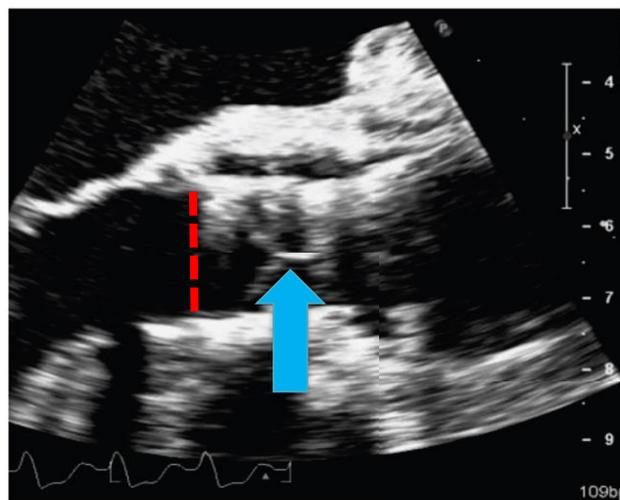


Figura 3 – Visualização da válvula CoreValve® implantada através de ETE. O ponto de coaptação dos folhetos (seta azul) é distal ao anel aórtico (tracejado vermelho). Adaptado de Little *et al.* (26)

O outro sistema, da *Edwards SAPIEN*® (Cribier-Edwards, Edwards SAPIEN, e SAPIEN XT; Edwards Lifesciences, Irvine, California, USA), é expansível através de um balão, tem uma forma cilíndrica e é feita de pericárdio bovino ligado a um *stent* de

aço inoxidável. (Fig. 4) Esta válvula foi desenhada para ser implantada 2 a 4 mm abaixo do anel aórtico no TSVE.(26)

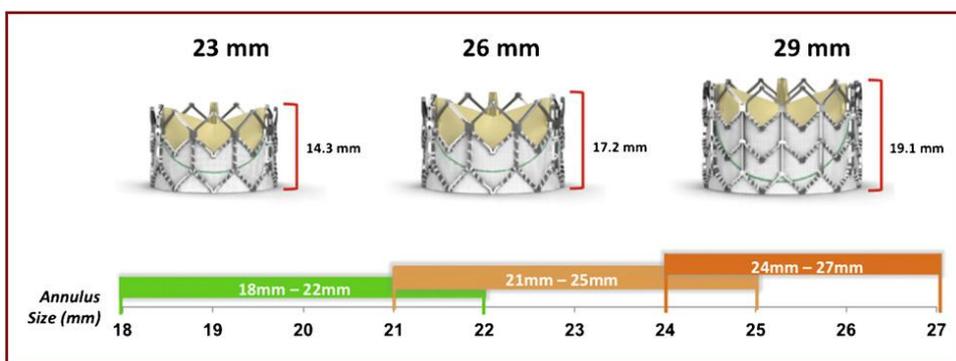


Figura 4 – Válvula Edwards SAPIEN XT® atualmente disponível em quatro tamanhos (20, 23, 26 e 29 mm), pode ser implantada em anéis aórticos entre os 16 e 27 mm. Adaptado de Piazza *et al.* (27)

A prótese *CoreValve*® está disponível em 3 tamanhos (26, 29 e 31 mm) e pode ser implantada em anéis aórticos com diâmetros entre os 20 e os 29 mm.(27) (Fig. 2) A *Edwards SAPIEN XT*® está, atualmente disponível em 4 tamanhos (20, 23, 26 e 29 mm) e pode ser implantada em anéis aórticos com diâmetros entre os 16 e os 27 mm. (Fig. 4) A prótese SAPIEN XT® faz parte de uma nova geração de próteses SAPIEN®, em que uma das principais vantagens é o tamanho menor relativamente à primeira geração. Tal facto provavelmente explica que esta prótese esteja associada a uma menor taxa de complicações vasculares, embora com uma mortalidade a 30 dias semelhante aos sistemas de primeira geração. (28)

O comprimento da prótese valvular e do segmento que está coberto pela bainha é importante para a programação do procedimento. No sistema SAPIEN®, a bainha cobre as duas ligações proximais, enquanto que no *CoreValve*® os 12 mm proximais estão cobertos, mas os folhetos da prótese estão acima do anel aórtico. Esta é uma distinção

importante, porque uma posição alta da prótese pode interferir no fluxo coronário, assim como aumentar a probabilidade de regurgitação paravalvular significativa.(25)

Estão disponíveis vários métodos de imagem para a seleção, para o procedimento e para o acompanhamento da IVAT. Pretende-se de uma forma clara e objetiva listar e comentar todos os métodos que podem ser utilizados nesta técnica.

A – Seleção de pacientes – Imagiologia pré-procedimento

No contexto da avaliação pré-implantação de IVAT é necessária uma avaliação correta dos sintomas; confirmar a gravidade da EA; realizar uma análise do risco cirúrgico, da esperança média e qualidade de vida; bem como realizar uma boa avaliação da exequibilidade da IVAT.(8).

Os objetivos das múltiplas técnicas de imagem que se utilizam nesta fase são (25):

- 1) determinar o melhor local de acesso vascular;
- 2) assegurar que o dispositivo proposto pode ser implantado com segurança e sucesso, baseando-se nas características do dispositivo e nas relações anatómicas entre a VA, a raiz aórtica, o VE e os óstios coronários;
- 3) selecionar o tamanho do dispositivo;
- 4) contribuir para o desenvolvimento do plano do procedimento

Confirmação da gravidade da EA

A **avaliação imagiológica da gravidade da EA** baseia-se na ecocardiografia trans-torácica (ETT) com estudo Doppler. É possível com esta metodologia não invasiva quantificar a área valvular, determinar o gradiente de pressão médio e máximo

entre o VE e a aorta torácica ascendente, e caracterizar o processo de remodelagem ventricular.

Os critérios ecocardiográficos necessários para o diagnóstico de EA grave são os seguintes: área valvular $<1\text{cm}^2$; área valvular indexada à ASC $<0,6\text{cm}^2/\text{m}^2$; gradiente transvalvular médio $>40\text{mmHg}$ (em pacientes com fluxo sistólico indexado normal); velocidade máxima do jato $>4\text{ m/s}$ (em pacientes com um fluxo sistólico indexado normal); e o índice de velocidade Doppler adimensional (IVD) $< 0,25$.(29)

A medição da área valvular é dependente do operador, sendo portanto menos robusta. Assim a área valvular, com *cut-offs* absolutos, não deverá ser o único parâmetro para tomada de decisões clínicas. Será necessária uma análise conjunta baseada também no fluxo sistólico indexado, nos gradientes de pressão, na função ventricular, no tamanho e espessura do miocárdio, grau de calcificação valvular, pressão arterial, assim como estado funcional. Anexar a ASC é especialmente útil em pacientes com uma ASC anormalmente pequena.(3)

Quando o gradiente médio é $<40\text{mmHg}$, uma área valvular pequena não é suficiente para confirmar a presença de EA grave, uma vez que num contexto de doença primária do músculo cardíaco, válvulas moderadamente afetadas podem apresentar uma abertura reduzida (EA pseudograve).(30) Nestes casos, a ecocardiografia de sobrecarga com uma dose baixa de dobutamina é útil na distinção entre a EA grave (*low flow, low gradient*) e a pseudograve. No contexto de sobrecarga com dobutamina, na EA grave há pequenas alterações na área valvular (aumento $<0,2\text{cm}^2$, geralmente com área final $<1\text{cm}^2$) com aumento do fluxo sistólico e dos gradientes transvalvulares (gradiente médio $>40\text{mmHg}$); enquanto que na EA pseudograve há um aumento acentuado da área valvular e apenas pequenas alterações no gradiente.(31)

Nos casos em que por ecocardiografia não se conseguem obter imagens com qualidade suficiente, ou há resultados discrepantes, a ressonância magnética cardíaca (RMC) pode ser usada para avaliar a gravidade das lesões valvulares (particularmente as lesões regurgitantes), os volumes ventriculares, a massa ventricular e a função sistólica, uma vez que a RMC avalia estes parâmetros com maior reprodutibilidade que a ecocardiografia.(32) Contudo, na prática o uso desta técnica é limitado pela sua baixa disponibilidade.(3)

O estudo hemodinâmico invasivo também pode ser realizado para caracterizar a gravidade da EA com a medição dos gradientes de pressão, do DC, ou da área valvular, mas apenas nas situações onde o estudo não-invasivo foi inconclusivo ou discordante. Devido aos seus potenciais riscos, esta técnica não deve ser utilizada rotineiramente para caracterização dos doentes com estenose valvular aórtica.(3)

Análise do risco cirúrgico e avaliação da esperança média e qualidade de vida

A **análise do risco cirúrgico** tem como base fundamental uma avaliação clínica apoiada no *EuroSCORE* logístico e no *score* da STS, como dito anteriormente. A **avaliação da qualidade de vida e da esperança média** de vida deve também ter como principal fator uma decisão clínica, que também pode ser apoiada em *scores* geriátricos semi-quantitativos.(8)

Avaliação da exequibilidade da IVAT e exclusão das suas contra-indicações

Para avaliar a exequibilidade da IVAT deve ter-se em conta os seguintes aspetos: **1) via de acesso e artérias periféricas 2) anatomia coronária; 3) anatomia da raiz e da válvula aórtica; e 4) contra-indicações.**

1) Avaliação da via de acesso e artérias periféricas

As complicações vasculares são comuns na IVAT, com taxas publicadas entre 6,3% a 30,7%. (5,15,16,33) Estas taxas são influenciadas por variáveis clínicas, protocolos de imagem, e diâmetro dos catéteres arteriais.(25) A elevada discrepância entre os valores deve-se a uma heterogeneidade da definição dos resultados. (27)

A escolha da via de acesso (transfemoral, transapical, subclávia ou trans-aórtica) depende do diâmetro do lúmen das artérias periféricas, da presença de aterosclerose e de calcificação da aórtica torácica (aorta de porcelana).(34)

A via de acesso tipicamente utilizada é a transfemoral. A doença vascular periférica não é uma contra-indicação absoluta para a IVAT; no entanto, aumenta significativamente o risco de complicações.(27) Geralmente, quando as características imagiológicas são desfavoráveis ao acesso femoral, as vias alternativas, como a transapical(35,36), subclávia (37,38), ou aórtica direta(39,40) devem ser consideradas.

Assim, e dadas as elevadas taxas de complicações vasculares, interessa melhorar o planeamento pré-procedimento, utilizando a melhor técnica de imagem disponível.

Geralmente este estudo começa com a angiografia convencional porque, virtualmente, em todos os pacientes é explorada a aorta descendente, a aorta abdominal e o sistema arterial iliofemoral para detetar estenoses, oclusões, e doença aneurismática da via de acesso proposta.(25) Este é o método de referência para avaliar o diâmetro do lúmen das artérias periféricas e a sua tortuosidade.(34) Tem menor custo, menor quantidade de produto de contraste injetado e menor exposição a radiação, quando comparado com a tomografia axial computadorizada com multidetektoretos (TACMD).(41) No entanto tem limitações decorrentes da reduzida resolução espacial. Consequentemente, calcificações, placas móveis ou trombos murais podem ser mal

identificados e caracterizados, o que aumenta o risco de eventos trombo-embólicos durante a manipulação dos catéteres peri-procedimento. (34)

A TACMD é mais precisa que a angiografia na avaliação do diâmetro do lúmen dos vasos, da sua tortuosidade, das calcificações da parede e, também, na identificação de achados de alto risco como disseções e placas de ateroma complexas.(25,27,34) Assim tornou-se no método de imagem mais importante para o exame das artérias abdominais e iliofemorais, quando a via de acesso é a transfemoral. (25) Com base nesta técnica, foram desenvolvidos procedimentos estandardizados para reduzir a morbidade e a mortalidade devidas a lesões vasculares, que incluem reconstruções volumétricas tri-dimensionais, reformatações multiplanares curvilíneas, e imagens de máxima intensidade de projeção.(42)

Sendo uma das metodologias mais utilizadas, convém referir as contra-indicações para a realização da IVAT através de uma abordagem transfemoral. Estas dividem-se consoante a região anatómica analisada e são as seguintes:

- Artérias ilíacas: calcificação grave; tortuosidade; diâmetro pequeno (inferior a 6mm ou a 9mm, consoante a prótese utilizada); *bypass* aorto-femoral prévio.
- Aorta: angulação grave; grande ateroma do arco aórtico; coartação da aorta; aneurisma da aorta abdominal com um trombo saliente; presença de aterosclerose volumosa na aorta ascendente detetada por ecocardiografia trans-esofágica (ETE).
- Aorta ascendente transversa (para a prótese expansível por balão).(8)

Para reduzir o risco de nefropatia induzida pelo contraste, foram publicados protocolos que usam injeção rápida direta de contraste diluído na aorta infra-renal, com uma excelente qualidade de imagem. (42,43)

A ecografia vascular dos locais de acesso permite caracterizar o tamanho, a tortuosidade e a calcificação dos vasos e identificar o melhor local para a punção.(44) A

ecografia intravascular pode ser útil para avaliar o lúmen dos vasos em pacientes em que há artefactos fluorescentes devido a calcificações.(25)

Em pacientes com insuficiência renal, a ressonância magnética pode ser uma alternativa para a avaliação do tamanho, tortuosidade e calcificação das artérias periféricas.(8)

2) Avaliação da anatomia coronária

A avaliação da anatomia coronária é um passo importante na seleção dos pacientes. De acordo com séries clínicas até três quartos dos pacientes que são submetidos a IVAT têm doença coronária documentada. Dados que corroboram o facto dos doentes com doença coronária terem um risco cirúrgico superior e mais comorbilidades associadas.(45) A terapêutica de revascularização, (cirúrgica, percutânea ou híbrida) e a cronologia das intervenções, deve ser decidida com base na condição clínica do paciente e na sua anatomia.(8) Apesar de estratégias concomitantes e faseadas terem ambas bons resultados, a última abordagem parece ser a mais usada.(27)

É importante caracterizar as relações anatómicas entre os óstios coronários, o anel aórtico e as cúspides valvulares aórticas. Apesar de rara, a oclusão de um óstio coronário por uma das cúspides é uma complicação possivelmente fatal que pode ser prevenida com uma medição precisa da distância entre os óstios e o anel aórtico.(34) É recomendado que os óstios coronários estejam a uma altura de, pelo menos, 10 mm.(46) Em pacientes com EA grave a remodelagem da raiz aórtica nos eixos longitudinais e transversais pode alterar a altura relativa dos óstios. (47) São necessários, no entanto, mais estudos para determinar se estas alterações têm implicações no desenho e no posicionamento da prótese valvular.(34)

A angiografia coronária convencional deve ser feita para estudar a anatomia coronária.(8) Apesar de continuar a ser o *gold-standart*, o estudo da doença coronária pode ser feito por TACMD, e portanto de uma forma não invasiva.(48) Esta técnica permite também, a avaliação tridimensional da relação dos óstios coronários com os folhetos valvulares aórticos, com uma melhor resolução espacial entre estas duas estruturas e o anel aórtico.(34,48) Apesar de ter a vantagem na localização precisa dos óstios a TACMD tem a desvantagem de ter uma baixa acuidade diagnóstica na exclusão de doença coronária em doentes com uma elevada prevalência de aterosclerose coronária e intensa calcificação coronária.(49) No entanto, devido ao seu elevado valor preditivo negativo, pode ser útil na exclusão de doença coronária em pacientes com baixo risco para doença coronária. (50)

A distância relativa entre os óstios coronários e o anel aórtico poder ser determinada por ETE a duas dimensões (2D), e três dimensões (3D). No entanto, esta última deve ser preferida pelo facto da ETE a 2D apenas avaliar a distância entre o anel aórtico e o óstio da coronária direita. A imagem bi-dimensional não permite medir a distância entre o anel aórtico e o óstio da coronária esquerda, uma vez que este se situa num plano coronal, impossível de obter com a metodologia ETE clássica.(46)

3) Avaliação da anatomia da raiz e da válvula aórtica e do coração

As técnicas de imagem da raiz, da VA e do coração servem para seleccionar e determinar as dimensões do sistema protésico, e para o planeamento do procedimento.(25) Estas têm como objetivos principais: 3.1) Avaliar a anatomia da válvula aórtica (válvula bicúspide e calcificação valvular); 3.2) Medir o anel aórtico; 3.3) Avaliar a raiz aórtica e a aorta ascendente (medição do seio de Valsalva, da JST e da aorta ascendente); 3.4) medir a distância dos óstios coronários ao plano do anel

aórtico; e assim identificar situações que possam interferir com uma implantação bem-sucedida da prótese.(25,34,49)

3.1) Avaliação da anatomia da válvula aórtica (válvula bicúspide e calcificação valvular)

Uma VA bicúspide constitui atualmente uma contra-indicação relativa para a IVAT.(3) A assimetria das cúspides aórticas e a presença de uma rafe de fusão entre as duas cúspides, pode limitar a correta aposição da prótese valvular, e aumentar o risco de regurgitação paravalvular. A prevalência de uma anatomia bicúspide é significativamente elevada (28%) em pacientes com mais de 80 anos, uma população que pode ser potencialmente referenciada para IVAT.(34) Ainda assim, vários estudos demonstraram a exequibilidade da IVAT neste tipo de anatomia valvular, com bons resultados no posicionamento, aposição e função da prótese valvular.(51,52)

A extensão e a localização exata de calcificações nas cúspides devem ser avaliadas.(8,25,34) Calcificações extensas na base das cúspides aórticas ou nas comissuras podem prevenir um deslocamento adequado dos folhetos da prótese, resultando numa aposição inadequada, com a formação de espaços entre a válvula nativa e a prótese que podem causar regurgitação paravalvular.(53,54) Adicionalmente, a presença de calcificação volumosa no bordo livre das cúspide pode aumentar o risco de oclusão dos óstios coronários particularmente se a sua altura relativa ao plano do anel aórtico for limitada (< 10mm).(55) Para além disso, a presença de extensa calcificação da VA ou da raiz aórtica foi associada a um risco aumentado de rutura anelar.(34)

A ecocardiografia 3D é útil para avaliar as características anatómicas da VA.(56) A ETE deve ser considerada quando a ETT tem uma qualidade sub-ótima, existe suspeita de trombose, disfunção protésica ou endocardite. A ETE 3D oferece um exame

mais detalhado da anatomia da válvula que a ecocardiografia 2D, sendo útil para avaliar problemas valvulares complexos.(3)

A ETT continua a ser o método de imagem de escolha para avaliar inicialmente a anatomia da VA e portanto a extensão e localização das calcificações.(34,57) Uma desvantagem desta técnica é o facto de uma marcada calcificação valvular causar sombra acústica resultando numa imagem de pior qualidade.(25) Além disso, através da ecocardiografia, o grau de calcificação da VA pode apenas ser determinado de forma aproximada.(58)

Para qualificar e quantificar a calcificação valvular aórtica a TACMD tem sido apontada como o método de escolha.(3,8,25,34,48,49) Isto deve-se ao facto de ultrapassar o efeito de sombra acústica da ecocardiografia(25); possibilitar uma localização e identificação mais precisa das áreas de calcificação valvular e arterial, através de uma maior resolução espacial (49,59); e possibilitar a quantificação precisa da calcificação valvular aórtica usando unidades Agatston.(58,60,61) Este último aspeto tem particular importância, pois o grau de calcificação valvular está relacionado com o gradiente transvalvular máximo e médio, (62,63) e com a AEO valvular(60). Além disso, alguns autores demonstraram que o grau de calcificação valvular é um preditor de prognóstico.(64) De notar que a avaliação da bicuspidia valvular aórtica também pode ser realizada por TACMD com elevada acurácia (48,49).

A RMC também pode ser usada para avaliar a bicuspidia aórtica, tendo o benefício de não administrar radiação ionizante. (65) A RMC 2D acoplada a eletrocardiograma (ECG) sem recurso a contraste paramagnético, permite a aquisição de imagens do anel aórtico, da válvula, da raiz e dos óstios coronários, similares às obtidas na TACMD.(66) No entanto esta técnica não é útil para a avaliação da calcificação

valvular uma vez que o cálcio provoca uma ausência de sinal, aparecendo como uma imagem negra.(25)

A fluoroscopia pode ser usada na avaliação da calcificação valvular aórtica.(8) É mais específica que a ecocardiografia para esta avaliação.(3)

3.2) Medição do anel aórtico

A medição correta do anel aórtico é fundamental para o sucesso da IVAT, uma vez que o tamanho do anel vai determinar o tamanho da prótese utilizada.(24,67) Uma medição incorreta desta estrutura é a causa mais comum de complicações como a regurgitação aórtica (RA).(68) A subestimação do tamanho do anel aórtico pode levar à seleção e aposição de uma prótese valvular pequena, condicionando um perfil hemodinâmico desfavorável, regurgitação paravalvular, migração valvular e embolismo. Já a sobrestimação do tamanho do anel aórtico e aposição de uma válvula que é demasiado grande pode trazer efeitos adversos como aposição incompleta (com regurgitação valvular e paravalvular), uma ruptura anelar catastrófica ou uma redução da durabilidade da válvula.(46,65)

As próteses valvulares são ligeiramente maiores que o anel aórtico onde vão ser inseridas, uma vez que é necessário uma força radial para prevenir a deslocação da prótese, dada a ausência de suturas e fios de suporte. (65)

Apesar de alguns autores indicarem certos métodos de imagem como o *gold standart* para a medição do anel aórtico, este ainda não é consensual, podendo ser realizada através de ecocardiografia, TACMD ou RMC, ou mesmo por fluoroscopia durante a valvuloplastia aórtica por balão.

A ecocardiografia 2D é o método de imagem mais usado para a medição do anel aórtico, quer seja trans-torácica, através de uma incidência paraesternal eixo-longo, ou

trans-esofágica, usando uma imagem num plano esofágico baixo, entre os 120° e o 140°. (2,25,34,69) A medição deverá cruzar o anel no diâmetro máximo durante a sístole inicial, desde o ponto de inserção da cúspide da coronária direita até à comissura esquerda não coronária. (25) Deverá ser identificado o verdadeiro anel e não o cálcio sobrejacente. (65) Quando as cúspides estão abertas na sístole, a comissura é particularmente difícil de medir, pelo que se deve ter em atenção, não realizar a medição demasiado dentro da raiz aórtica. (25) A precisão deste método pode não ser a ideal, uma vez que ele assume uma geometria cilíndrica do anel. (34) Sendo o anel frequentemente oval, uma avaliação ótima deve incluir a medição do diâmetro transversal (coronal). Para isso utiliza-se a vista de menor eixo, idealmente com ETE biplanar ou tomografia axial computadorizada, permitindo uma investigação simultânea do maior e do menor eixo do plano do anel aórtico. (65)

O uso de imagens 3D pode proporcionar uma medição mais precisa do anel aórtico. (43,59,70)

Quando as medições feitas através de ETE 2D são incertas, particularmente se as medidas são perto de valores limites importantes para a seleção da prótese valvular ou se existirem calcificações com uma extensão desde a VA até ao folheto anterior da válvula mitral ou ao septo, a ETE 3D ou 2D pode ser necessária. (46)

Recentemente alguns autores mostraram a eficácia da ETE 2D da ETE 3D para medir o anel aórtico, usando como referência a TACMD. (71) Outros autores afirmam que a medição por ETE 3D produz uma medida significativamente maior do que a realizada através da ETE 2D. Esta diferença tem consequências nas decisões clínicas, uma vez que alterou o tamanho da prótese escolhida num número significativo de casos. Além disso, foi também demonstrado que as medições feitas a 3D têm maior reprodutibilidade e por isso, menor dependência do operador que as 2D. (72) No entanto,

sabe-se que uma estratégia baseada na ETE 2D tem mostrado bons resultados clínicos quando comparada com a TACMD.(2,73)

Recentemente alguns autores usaram a ecocardiografia intracardiaca para a medição do anel aórtico e do seio de Valsalva, obtendo valores comparáveis aos obtidos com a TACMD. (74)

Melhoramentos tecnológicos recentes na resolução espacial e temporal da TACMD e um número maior de detetores permitiram a obtenção de imagens da raiz aórtica com uma espessura mínima de 0,5 a 0,75 mm. Tal permite uma reconstrução oblíqua sem degradação da resolução espacial. O plano do anel aórtico é obtido através de uma dupla reconstrução multiplanar oblíqua com dois planos ortogonais que representam o eixo longo e o eixo curto do anel basal virtual (Fig. 5).(25)

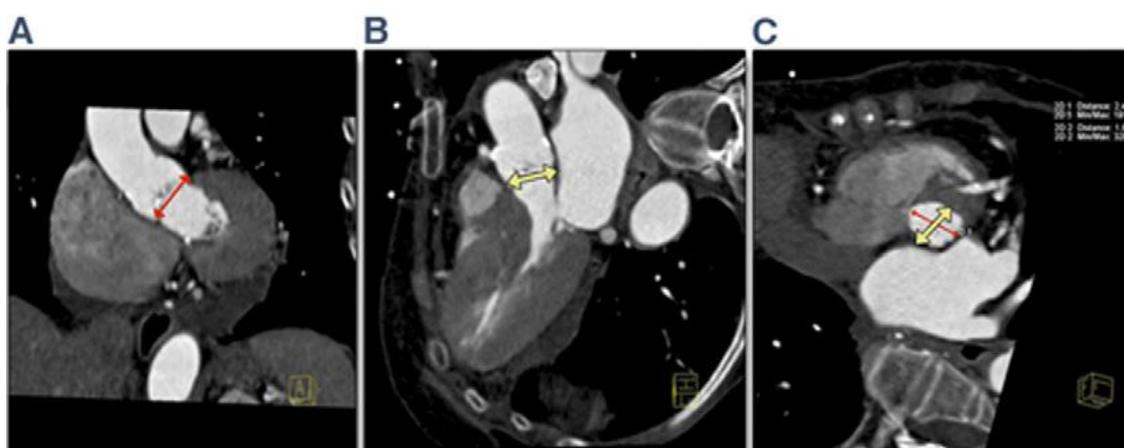


Figura 5 – Medição do anel aórtico através da TACMD

(A) Vista do plano coronal através do eixo longo do TSVE. A dimensão maior do anel aórtico é mostrada pela seta vermelha. (B) Vista do plano sagital através do eixo longo do TVSE. A dimensão mais pequena do anel aórtico é mostrada pela seta amarela. (C) Plano transversal reconstruído através da técnica de reconstrução multiplanar oblíqua dupla. Adaptado de Bloomfield *et al.*(25)

Estas medições são escolhidas de reconstruções feitas entre os 20 e os 45% do intervalo R-R da sístole, através de um sistema de imagem acoplado eletrocardiograficamente, usando a fase de máxima abertura da válvula como é feito com a ecocardiografia.(25)

Em 2010, a EACTS, a ESC e a *European Association of Percutaneous Cardiovascular Intervention* (EAPCI) destacaram a ressonância magnética e a TACMD como métodos que permitem avaliar o anel aórtico e outras estruturas anexas com acuidade, sobretudo se comparados com a avaliação 2D por ETE ou ETT.(75)

A ETT e a ETE 2D e 3D comparadas com a TACMD subestimam significativamente a área do anel valvular. No entanto esta estimativa era mais notória na ETE 2D que na ETE 3D. Geralmente, o tamanho do anel aórtico medido por ETT é 1 mm mais pequeno que o medido por ETE; e o tamanho medido por ETE é 1 mm a 1,5 mm mais pequeno que o medido por TACMD. Estes dados podem ter implicações clínicas na IVAT, uma vez que influenciam a escolha da prótese valvular.(2,34,76)

Estudos realizados recentemente afirmam que as medições do anel aórtico por TACMD podem prever a regurgitação paravalvular aórtica moderada a grave após a IVAT.(77) A diferença entre a área da prótese valvular e a área do anel aórtico detetada por TACMD é preditora de regurgitação paravalvular aórtica quando comparado com a ecocardiografia.(78) Uma sobrestimação do tamanho da prótese valvular pode reduzir o risco desta complicação. (77) Por estes motivos, certos autores afirmam que devem ser desenvolvidas recomendações para a escolha do tamanho da prótese valvular com base na TACMD.(78) Outros afirmam que a TACMD deve ser o novo *gold standart* para a medição do anel aórtico em pacientes submetidos a IVAT com a prótese Edwards SAPIEN®, uma vez que as dimensões do anel aórtico obtidas através deste método têm

uma elevada correlação com a regurgitação paravalvular aórtica, e uma aplicação prospetiva deste princípio reduz significativamente a incidência desta complicação.(79)

A RMC permite uma avaliação anatómica e funcional da válvula e da raiz aórtica.(25) Contudo, como acontece com a ecocardiografia, a maior parte das imagens obtidas através desta técnica são em 2D com o plano da imagem escolhido durante o exame.(80) No entanto, é possível obter imagens isotrópicas para uma reconstrução multiplanar, que mostrem a forma oval do anel aórtico com os seus diâmetros máximos e mínimos, através de RMC 3D. Esta técnica obtém imagens com uma espessura de corte de 1,5 mm, uma resolução espacial de 1 mm *in-plane* e 1 mm *through plane* (comparadas com imagens de 0,5 x 0,5 x 0,5 mm obtidas por TACMD).(25)

Tal como já foi referido anteriormente, a RMC e a TACMD permitem avaliar o anel aórtico e outras estruturas anexas com acuidade, principalmente se comparadas com a avaliação 2D por ETE ou ETT, facto que foi destacado em 2010 pela EACTS, pela ESC e pela EAPCI.(75)

Um estudo realizado recentemente que compara a concordância e reprodutibilidade da ecocardiografia, da TACMD e da RMC, na previsão imagiológica de RA através da medição do anel aórtico, afirma que existe maior reprodutibilidade e concordância entre a TACMD e a RMC. A presença e a gravidade da RA foram associadas a uma maior medição do anel aórtico por TACMD ou RMC. Este estudo mostra que imagens obtidas através de RMC 2D podem proporcionar uma avaliação detalhada da função do VE, do anel, válvula, raiz e óstios coronários, similar à obtida por TACMD.(66)

Fatores limitantes da RMC são o facto de ser uma técnica demorada, o que terá mais significado em pacientes idosos(65); haver risco de fibrose sistémica nefrogénica em pacientes com uma função renal debilitada devido à administração de contraste

paramagnético (81); e não ser recomendada em pacientes com *pacemakers*, desfibriladores e *clips* aneurismáticos intracranianos.(65)

Segundo o documento 2008 da EACTS, ESC e EAPCI, a medição do anel aórtico por aortografia/angiografia feita durante a valvuloplastia aórtica por balão também pode ser útil.(8)

Num estudo de 2011, que comparou a ETT, a ETE, a TACMD e a angiografia na medição do anel aórtico, foi concluído por uma boa correlação das medições entre os métodos ecográficos, e entre estes e a angiografia; havendo uma correlação fraca entre estas 3 técnicas e a TACMD. No entanto, as medições feitas por angiografia são um pouco menos precisas que as feitas por ecocardiografia. As técnicas imagiológicas que mostraram uma maior concordância entre o tamanho estimado do anel aórtico e da válvula implantada foram a ETE e a ETT, com ligeira vantagem para a última.(69)

As medições por angiografia foram obtidas numa vista anterior esquerda oblíqua a 45° desde a inserção dos folhetos aórticos nos seios no ponto mais inferior da inserção dos folhetos valvulares aórticos.

3.3) Avaliar a raiz aórtica e a aorta ascendente

A avaliação da raiz aórtica e da aorta ascendente inclui a medição do seio de Valsalva, da JST e da aorta ascendente. As dimensões da JST e da aorta ascendente são importantes, uma vez que estes parâmetros são de relevo na seleção dos pacientes, na determinação do tamanho da prótese e na antevisão de complicações durante o procedimento.(34,49) A aorta ascendente também deve ser avaliada para excluir angulações da aorta que limitem o procedimento e para dar a conhecer a anatomia de modo a que se garanta uma correta aposição da porção superior da prótese valvular à parede da aorta.(49) Segundo um documento 2008 da EACTS, ECS e EAPCI a IVAT

não é recomendada a pacientes com um diâmetro sinotubular e uma aorta ascendente > 45mm.(8)

A avaliação das dimensões da raiz aórtica pode ser feita com precisão através de ecocardiografia.(34) No entanto, a ecocardiografia 2D pode fornecer uma avaliação limitada da raiz aórtica.(49)

A TACMD possibilita a obtenção de dados anatómicos tridimensionais precisos e com maior resolução para a avaliação da raiz aórtica e da aorta ascendente.(34,49)

Também se sabe que a orientação relativa da raiz aórtica em relação ao eixo do corpo é fundamental para um posicionamento preciso da válvula durante a IVAT.(70) Um alinhamento coaxial ótimo da prótese valvular ao longo do centro da válvula e da raiz aórtica é importante.(65) É também importante evitar uma implantação demasiado alta ou baixa para prevenir a RA e otimizar a função valvular.(82)

O conhecimento da localização e orientação exata do plano do anel aórtico deve ser definido com precisão através de angiografia ou TAC antes do procedimento e sobreposto/adicionado no ecrã com a fluoroscopia.(70,83,84) A angiografia rotacional com *pacing* também pode ajudar a definir este plano, método que é usado durante o procedimento.(85)

Apesar da avaliação tradicional da orientação da raiz aórtica ser feita por aortografias invasivas em 1 ou 2 planos ortogonais, a reconstrução multiplanar oblíqua dupla por TACMD permite uma previsão pré-procedimento do ângulo da raiz aórtica.(66,70) Tal diminui o número de aortogramas necessários durante o procedimento, o tempo do procedimento e o uso de contraste, e melhora a precisão da implantação. A emergência de *C-arm CT* pode permitir a incorporação de imagens de fusão no laboratório de cateterismo.(86)

3.4) Medição da distância entre os óstios coronários e o plano do anel aórtico

Tema já mencionado na secção 2.

4 – Avaliação das contra-indicações

Como foi dito anteriormente, as contra-indicações listadas na Tabela 2 devem ser avaliadas e excluídas caso se proceda a IVAT.

Importa destacar as que são importantes avaliar imagiologicamente durante a fase pré-procedimento e que ainda não foram referidas anteriormente, nomeadamente a presença de placas de ateroma na aorta ascendente ou arco aórtico, a geometria do VE e a sua função, a presença de trombos intraventriculares, regurgitação mitral grave orgânica e doença coronária tratável percutaneamente.(3,34) A presença de uma hipertrofia grave no septo interventricular pode causar uma obstrução dinâmica ventricular esquerda, dificultando o diagnóstico da gravidade da EA. Este achado também pode dificultar o procedimento. A presença de regurgitação mitral orgânica grave é considerada uma contra-indicação relativa, enquanto que a presença de uma regurgitação mitral funcional tem implicações importantes no prognóstico.(34) No registo italiano, a prevalência de regurgitação mitral moderada a grave foi considerada um determinante independente da mortalidade.(16)

A ecocardiografia e a angiografia coronária são os métodos de imagem de primeira escolha para avaliar estas condições.(34) No entanto, a TACMD também pode ser uma técnica útil para este propósito. Novos *softwares* permitem uma análise pós-processamento da geometria e anatomia tanto do VE, como da raiz aórtica.(34)

B – Imagiologia durante o procedimento

Durante a IVAT é necessária uma visualização precisa da VA e das estruturas circundantes. Os objetivos da utilização de várias técnicas de imagem são assegurar a melhor aposição da prótese no paciente; avaliar o posicionamento da prótese valvular e a sua função depois da implantação; e identificar as complicações imediatas.(25)

Os passos fundamentais para a realização do procedimento da IVAT são o cruzamento da VA, a dilatação por balão, o posicionamento e a implantação da prótese valvular e a avaliação da função da prótese valvular.(34)

A fluoroscopia e a angiografia são as técnicas principais para guiar o procedimento.(34,65) No entanto, a resolução espacial e temporal pode ser melhorada com o uso de ecocardiografia, TACMD ou RMC.(34) Atualmente a ETE é a técnica mais adequada para guiar o procedimento. Avanços tecnológicos recentes tornaram possível a implementação de ecocardiografia 3D em tempo-real com algumas vantagens.(46,56) Hoje em dia há um interesse crescente em técnicas de imagem de fusão (TACMD e RMC com fluoroscopia), que podem fornecer dados suplementares à fluoroscopia para a condução do procedimento.(34)

A ETE é técnica mais usada para as implantações transfemorais e transapicais. No entanto, de acordo com o aumento dos procedimentos transfemorais sob anestesia local combinada com sedação consciente, a ETE torna-se menos prática.(87) Apesar da obtenção de imagens durante a implantação da prótese ser possível com a ETE normal, mesmo em pacientes de alto risco (88), a ETE trans-nasal com sondas mais pequenas pode permitir uma monitorização prolongada sem anestesia geral. (65) A ETT pode ser utilizada igualmente para guiar o procedimento, no entanto a qualidade da imagem é menor.(46,65) Similarmente, a ecocardiografia intra-cardíaca também já foi utilizada para guiar o procedimento, embora apresente um maior desafio técnico para a obtenção

de planos ecográficos adequados, e como tal há no presente ainda uma experiência limitada.(25,34,46,65,89)

A ETE 3D tem vantagens em relação à avaliação bi-dimensional clássica, como o facto da profundidade da perspectiva 3D tornar mais fácil não só a visualização da posição da prótese no balão relativamente ao anel aórtico e estruturas adjacentes, como também a apreciação do trajeto do catéter de orientação através do VE e do aparelho subvalvular da válvula mitral.

Durante o cruzamento da VA, as calcificações podem ser usadas como marcos geográficos fluoroscópicos para posicionar o balão de dilatação. Na sequência o recurso à ETE, através de um plano esofágico alto (eixo curto 30-50°) ou de um plano esofágico baixo (eixo longo 110-130°), permite a visualização da VA e do cateter de orientação através da válvula. A utilização de tecnologia 3D fornece uma imagiologia em tempo real, simultânea dos planos ortogonais, com uma imagem dos eixos longo e curto da VA (Fig. 6).(34)

Assim que a VA for cruzada pelo catéter guia, procede-se a uma dilatação do balão sob um ritmo ventricular direito rápido. Esta valvuloplastia tem como objetivo separar as comissuras valvulares e facilitar a implantação posterior da prótese.(46) Já o objetivo do ritmo ventricular direito rápido é criar uma descida transitória do volume de ejeção ventricular, reduzindo, com isso, a força que leva à migração da prótese valvular durante a sua implantação.(65) De seguida, a abertura da VA e a presença de RA pode ser avaliada por ecocardiografia.(34)

Pode também ser utilizada uma angiografia da raiz aórtica durante a dilatação máxima do balão, para a localização dos óstios coronários em relação ao anel aórtico e às calcificações das cúspides. (65)

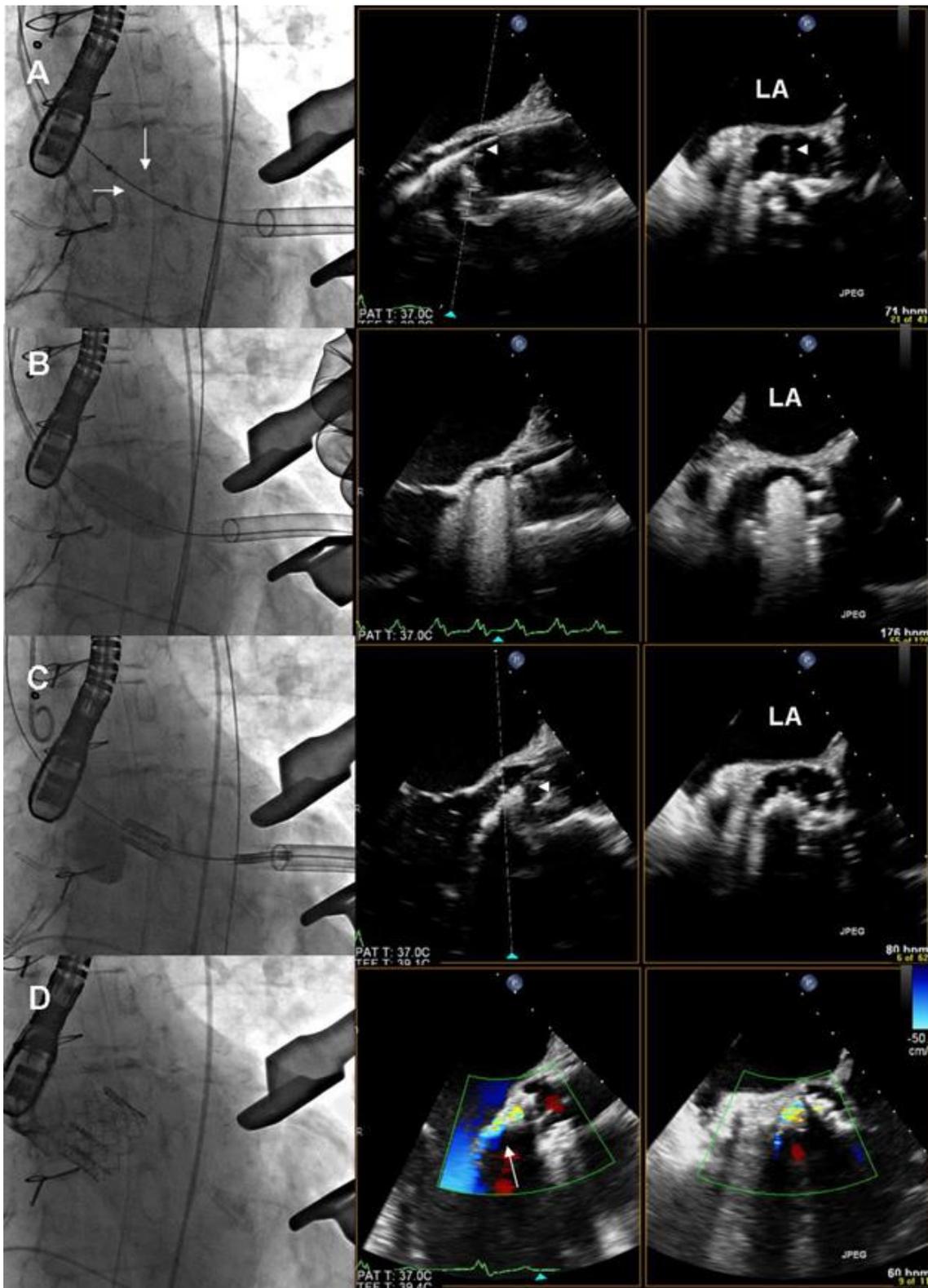


Figura 6 – Orientação do procedimento da IVAT. A fluoroscopia e a ETE continuam a ser as principais técnicas para guiar o procedimento, particularmente com a utilização de dois planos ecocardiográficos. (A) – Cruzamento da VA pelo catéter balão

(setas). A presença de cúspides valvulares calcificadas ajuda na localização do catéter de balão durante a fluoroscopia. A ETE permite uma visualização de dois planos simultânea do catéter de balão, o que facilita a correção da sua posição (triângulos). É recomendado posicionar o cateter de balão entre a cúspide direita e a não-coronária. (B) – Valvuloplastia por balão. Antes da IVAT, é feita uma valvuloplastia da VA nativa. (C) – Posicionamento da prótese valvular aórtica transcater. A fluoroscopia é a chave para um correto posicionamento desta prótese. A ETE pode ajudar ao mostrar o bordo superior da prótese (triângulo). (D) – Avaliação dos resultados depois da implantação da prótese. A avaliação da posição e da hemodinâmica da válvula protésica é obrigatória depois da sua implantação. A fluoroscopia demonstra a presença de RA significativa. No entanto a ETE com Doppler a cores pode providenciar uma avaliação mais cuidada da gravidade e da localização da regurgitação paravalvular (seta). LA – ventrículo esquerdo. Adaptado de Delgado *et al.* (34)

Após a dilatação por balão, segue-se o posicionamento e a implantação da prótese valvular. O catéter de entrega avança retrogradamente (técnicas transfemorais, subclávia e trans-aórtica) ou anterogradamente (técnica transapical) sob orientação fluoroscópica e ecocardiográfica.(34) Um posicionamento exato da prótese é crucial para evitar complicações potenciais. Estas podem levar à migração da prótese, regurgitação paravalvular significativa ou até interferir com o movimento do folheto anterior da válvula mitral.(34) A combinação da fluoroscopia e da ecocardiografia representa a metodologia mais precisa para guiar o posicionamento da prótese.(34,48,90,91) A posição ótima para a depleção da prótese pode ser confirmada por ETE através da referenciação do anel aórtico como marco ecocardiográfico. O lado ventricular da válvula Edwards SAPIEN® deve ficar posicionado 2 a 4 mm abaixo do

anel aórtico no TSVE. Uma vez que a válvula CoreValve® tem uma estrutura diferente, o bordo inferior desta deve ficar 5 a 10 mm abaixo do plano do anel aórtico. Na figura 7, podemos ver uma válvula CoreValve® corretamente posicionada.(46) Para se poder afirmar uma aposição correta da prótese a ETE é muito útil. Para a válvula SAPIEN® estar bem implantada, cerca de metade desta deve estar abaixo e a outra metade deve estar acima do anel aórtico. Para a CoreValve®, a ETE deve confirmar que o *stent* de nitinol está dentro dos limites do anel da válvula nativa. A visualização da prótese durante a implantação permite uma verificação imediata do posicionamento correto da mesma. Se a prótese for implantada usando a fluoroscopia, a sonda da ETE deve ser retirada parcialmente durante a implantação para facilitar o posicionamento, ou o plano fluoroscópico deve ser alterado.

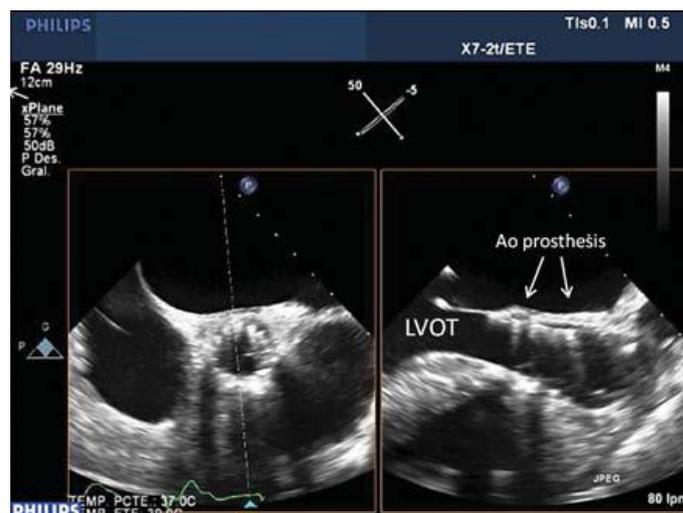


Figura 7 – Eixo curto e do eixo longo a partir de ETE 3D, mostrando uma válvula CoreValve® corretamente implantada. LVOT – *left ventricular outflow tract* (trato de saída do ventrículo esquerdo). Adaptado de Zamorano *et al.* (46)

Após a implantação, a avaliação da função protésica deve ser efetuada, para confirmar a redução do gradiente transvalvular e diagnosticar complicações, sendo as mais importantes a regurgitação paravalvular ou a transvalvular aórtica

significativa.(34,92) A ETE é a técnica mais utilizada, e tem particular utilidade na previsão e na gestão de RA aguda.(5,34,93–95) Esta avaliação deve ser rápida para possibilitar uma re-dilatação por balão ou até implantação de uma segunda prótese valvular, caso a RA seja grave e não controlada de outra forma.(65) Apesar da RA ligeira ser comum depois da IVAT, a RA moderada a grave não o é, ocorrendo em 5 a 22% dos casos.(96,97)

Para ambos os tipos de prótese valvular os determinantes de RA pós-IVAT mais importantes são o sub-dimensionamento da prótese valvular, a extensão de calcificação valvular e a posição da prótese em relação ao anel aórtico.(98,99) Estudos recentes mostraram que o índice de cobertura ou índice de RA (calculado a partir da diferença entre o diâmetro da prótese e o diâmetro do anel aórtico medido por ETE, dividido pelo diâmetro da prótese) também é um preditor importante da RA pós-IVAT(68,99), prevendo a mortalidade após 1 ano, e providenciando informação prognóstica complementar com a gravidade da RA avaliada ecocardiograficamente.(100,101) Segundo os autores deste estudo, uma RA moderada ou grave nunca foi observada em pacientes com um índice de cobertura >8% (isto é, um diâmetro valvular 8% maior que o medido para o anel aórtico).(68) Outros potenciais determinantes para a RA pós-IVAT são a anatomia valvular, a simetria da abertura valvular e o ângulo do TSVE com a aorta.(102)

É essencial distinguir entre regurgitação transvalvular e paravalvular e determinar se é grave o suficiente para requerer intervenção. Regurgitações paravalvulares pequenas são frequentes e devem-se ao processo de calcificação irregular da válvula nativa que deixa espaços vazios entre o anel aórtico e a prótese. Se os jatos regurgitantes forem punctiformes numa secção transversal, não se estendendo para além do TSVE e não havendo zonas de convergência visíveis acima da prótese nem uma

reversão do fluxo no arco aórtico, então não é necessária nenhuma intervenção. Também são comuns regurgitações transvalvulares centrais moderadas depois da implantação da prótese, que frequentemente resolvem com a remoção do cateter de orientação e/ou com o aumento da pressão aórtica central.(65)

Existem outras complicações que têm de ser reconhecidas imediatamente depois da IVAT para um resultado clínico desfavorável ser evitado. Num paciente gravemente hipotenso com um colapso cardiovascular pós-implantação importa colocar como diagnóstico diferencial uma obstrução de uma artéria coronária, tamponamento pericárdico, regurgitação mitral grave, disseção da aorta, dano, perfuração ou rutura do VE, embolização da prótese valvular, deslocamento da prótese, perfuração do ventrículo direito (VD) ou uma hemorragia do local de acesso.(25,34,65) Assim, a ETE ou a fluoroscopia podem fazer estes diagnósticos com brevidade, demonstrando uma mobilidade da parede anormal, uma efusão pericárdica grande, um sinal de fluxo de regurgitação grave, uma disseção da aorta e a localização da prótese valvular, por exemplo.(25) A ETE torna-se essencial no diagnóstico destas complicações, uma vez que a sua utilização em pacientes hemodinamicamente instáveis é rápida.(65) A tabela 3 mostra as complicações peri-procedimento que a ETE pode detetar segundo as recomendações das Associações Europeia e Americana de Ecocardiografia sobre as novas intervenções transcaterter para as doenças valvulares cardíacas.

Tabela 3 – Complicações peri-procedimento da IVAT detetáveis por ecocardiografia. Adaptado de Zamorano JL *et al.*(46)

Mal posicionamento da prótese aórtica

Embolização em direção à aorta ou ao VE

Prótese valvular implantada demasiado alta (em direção à aorta) ou demasiado

baixa (em direção ao aparelho da válvula mitral)

Regurgitação aórtica

Transvalvular ou Central

Paravalvular

Regurgitação mitral

Colisão da prótese valvular com o folheto anterior da válvula mitral

Assincronia do VE causada pelo ritmo do VD

Dano ou distorção do aparelho subvalvular mitral pelo sistema de entrega

Anomalias da motilidade da parede ventricular esquerda de novo

Oclusão aguda de um óstio coronário

Tamponamento cardíaco

Perfuração do ventrículo esquerdo ou direito

Dissecção ou rutura do arco aórtico

A ETE 3D é provavelmente a técnica mais útil imediatamente após a implantação, para avaliar rapidamente a posição e função da prótese, o que inclui a presença/gravidade da RA e das outras complicações.(46)

Com a implementação de salas de operações híbridas com capacidade para TACMD e RMC, o procedimento da IVAT pode ser feito com uma destas duas técnicas. Séries experimentais recentes demonstraram a viabilidade da RMC para guiar este procedimento.(34) Num modelo suíno, a RMC permitiu a visualização dos marcos necessários à implantação da prótese e à avaliação da perfusão miocárdica, confirmando um fluxo coronário adequado e uma contractibilidade ventricular preservada depois da implantação.(103) No entanto, são necessários mais estudos de viabilidade e de segurança prévias à implementação na prática clínica.(34)

C – Imagiologia no acompanhamento/*follow-up*

Os objetivos de um seguimento imagiológico após IVAT são: avaliar o estado hemodinâmico da prótese valvular, incluindo os gradientes e a área protésica; quantificar a regurgitação transvalvular e paravalvular; determinar o efeito da IVAT na remodelagem inversa do VE (como a hipertrofia do VE, massa ventricular, função sistólica e diastólica); avaliar patologias concomitantes e detetar complicações de longo-prazo como a migração da válvula, formação de trombos, perfuração ventricular, impactação da válvula mitral e a endocardite.(25,34)

A ETT é o método de escolha para a vigilância a longo prazo da IVAT, porque tem benefícios claros em relação a outras técnicas, que incluem uma grande disponibilidade, a ausência de radiação ionizante, capacidade para visualizar as estruturas e para determinar com precisão o estado hemodinâmico.(25,34,65) Além disso, os dois tipos de próteses valvulares transcater (SAPIEN® e CoreValve®) têm características favoráveis à ecocardiografia, de tal modo que a avaliação da posição da válvula, do estado hemodinâmico e dos tipos e graus de RA é possível sem um efeito de sombra significativo. (104,105)

No entanto a TACMD e a RMC como têm uma qualidade de imagem superior fornecem um detalhe anatómico excelente, permitindo a avaliação simultânea da prótese e da sua relação com a válvula nativa, raiz e ventrículo, assim como a deteção de pseudoaneurismas da raiz e do ápex ou outras complicações raras.(25) A TACMD pode também facilitar a perceção do mecanismo de RA pós-procedimento, concretamente se é transvalvular ou paravalvular.(53) A TACMD pode avaliar ainda a durabilidade da prótese valvular (do *stent* e dos folhetos), a ausência de coaptação do *stent* em direção ao anel aórtico sugestiva de RA paravalvular, e a migração do *stent*. Apesar do valor

desta avaliação pós-IVAT permanecer incerta, a TACMD pode ter muita utilidade prestando informação adicional importante.(76)

Para avaliar o conceito de remodelagem inversa após IVAT, deve determinar-se a massa, o tamanho, a função sistólica e a diastólica do VE. É esperada uma redução da massa do VE, uma melhora da fração de ejeção (106), da função diastólica, das pressões de enchimento(107) e da regurgitação mitral(108). Uma comparação recente entre a SVA e a IVAT em pacientes com uma fração de ejeção reduzida, mostrou que há um aumento superior da FEVE no grupo submetido a IVAT.(109) A ecocardiografia é o método de imagem de escolha para avaliar a massa do VE, sendo que (110) a RMC também possibilita uma avaliação altamente precisa deste parâmetro.(111)

Outro ponto importante é o estudo da função da prótese valvular que inclui os gradientes de pressão médio e máximo, a AEO e o IVD.(105) A avaliação ecocardiográfica depois da IVAT geralmente revela uma resposta hemodinâmica favorável, com uma diminuição franca do gradiente transvalvular médio (valores esperados < 10 mmHg), e um aumento da AEO (geralmente para valores $> 1,5$ cm^2). (65)

O diâmetro do TSVE e a velocidade medida imediatamente proximal ao *stent* tem sido enfatizado também para avaliar o estado hemodinâmico da prótese. (112) Isto deve-se ao facto dos índices tradicionais, AEO e IVD, serem mais difíceis de calcular nas próteses transcater SAPIEN® que nas cirúrgicas, uma vez que nas primeiras o *stent* de suporte cria uma aceleração ao nível do próprio *stent* e dentro deste ao nível das cúspides.(113) Outro motivo, é o facto da projeção do *stent* no TSVE poder levar a alguma confusão sobre que local que deve ser medido o diâmetro do TSVE. Uma vez que há uma menor variabilidade e uma maior correlação entre os gradientes transvalvulares quando a AEO é calculada com diâmetros medidos junto ao *stent*, a

avaliação mais precisa da AEO e do IVD para as válvulas SAPIEN® (Edwards Lifesciences), deve usar velocidades e diâmetros obtidos junto ao *stent* valvular.(112) Para a válvula CoreValve® as características do fluxo valvular e os locais preferenciais para medir o diâmetro do TSVE ainda não foram descritas.(25)

Os resultados de 3 anos de implantação percutânea de uma válvula expansível por balão, sugerem que há um pequeno aumento no gradiente transvalvular (3,8%/ano) e uma pequena redução na área valvular (0,06cm²/ano) ao longo do tempo.(33) No seguimento a curto e a longo-prazo, as próteses implantadas percutaneamente proporcionam uma melhor performance hemodinâmica, por comparação às próteses cirúrgicas. (114)

Uma preocupação adicional é a incompatibilidade prótese-paciente (IP-P) grave, que é definida como um índice da AEO menor ou igual a 0,65cm²/m²(115) e acontece quando a AEO da válvula implantada é demasiado pequena em relação à superfície corporal. A IP-P na SVA está associada a uma redução do estado funcional e aumento da mortalidade e morbidade no seguimento a curto e a longo prazo.(116,117) Uma porção de pacientes apresenta IP-P depois da SVA (20% a 70%)(98), no entanto este parece ser um problema menor na IVAT com ambas as válvulas (CoreValve® e SAPIEN®), com incidências entre os 6% a 32% e 6%, respetivamente.(98,114,118) Facto que se poderá explicar pelo facto do *stent* na IVAT, ser mais fino que o usado nas próteses cirúrgicas, o que minimiza a obstrução ao fluxo de sangue, e reduz a incidência de IP-P.(65) No entanto, dado que a experiência com a IVAT ainda é limitada, os exames imagiológicos a longo-prazo devem incluir uma avaliação meticulosa para documentar a presença ou não de IP-P, para a compreensão real do significado clínico potencial deste parâmetro na população submetida a IVAT.(25) Isto faz sentido, uma

vez que ainda não foi definido se taxas reduzidas de IP-P se traduzem num melhor estado funcional e numa mortalidade menor nesta população.(65)

Outro dos parâmetros a avaliar no seguimento é a presença de regurgitação RA (transvalvular, paravalvular e total).(25,34) Ambas as regurgitações, transvalvular e paravalvular, são frequentes depois da IVAT, sendo o grau de gravidade mais encontrado o ligeiro ou moderado. (93,97) Ainda não foram completamente caracterizadas as diferenças entre os dois tipos de sistemas disponíveis (25), havendo apenas um registo em que há uma probabilidade maior, mas estatisticamente não significativa, para a ocorrência de RA significativa nas próteses auto-expansíveis.(119) No entanto, é claro que uma RA pós-procedimento está associada a resultados adversos.(14,16,119) A RA aguda pós-procedimento necessita de vigilância apertada, porque a RA pode mudar nos dias subsequentes à IVAT. (65)

Ecocardiografias de seguimento devem identificar a presença, localização e gravidade dos dois tipos de regurgitação.(25,65) As melhores janelas acústicas para a deteção de jatos regurgitantes incluem o eixo longo para-esternal, o eixo-curto, o eixo-longo apical e a vista de 5 câmaras, apesar de, devido a jatos excêntricos, as incidências fora de eixo deverem ser também usadas para assegurar, com precisão, a localização e gravidade da regurgitação.(25) Técnicas de Doppler cor e Doppler espectral são aplicadas de forma similar ao estudo de válvulas nativas.(105)

A RA transvalvular ou valvular significativa depois da IVAT é usualmente devida a danos valvulares causados durante o procedimento; ou à implantação de uma prótese demasiado grande para um anel aórtico pequeno resultando em deformação protésica; ou à existência de calcificação grave da válvula nativa levando a deformações na estrutura da prótese valvular.(120) As recomendações recentes sobre válvulas

protésicas afirmam que a RA transvalvular deve ser classificada como: 1)ligeira, 2)moderada ou 3)grave.(121)

A RA paravalvular (ou perivalvular ou paraprotésica) é normalmente causada por uma aposição incompleta da prótese no anel aórtico nativo, devido a material remanescente da válvula nativa ou a depósitos de cálcio. Uma prótese demasiado pequena para um anel aórtico grande, ou a uma implantação demasiado baixa levam à RA paravalvular através de partes da prótese que não estão recobertas. (120,122) As propriedades auto-expansíveis do *stent* da válvula CoreValve® podem no entanto reduzir o grau de regurgitação paravalvular ou a pressão das forças compressivas de uma calcificação densa podem piorar o grau de regurgitação em ambas as próteses. (97,123) É prudente uma preocupação clínica sobre o impacto da regurgitação paravalvular, particularmente se moderada a grave, pelas consequências fisiopatológicas de uma sobrecarga crónica de volume, que leve a dilatação e disfunção sistólica do VE. Outra das consequências de uma regurgitação paravalvular é o risco de hemólise por traumatismo intravascular, mas que praticamente não tem expressão no contexto de IVAT.

Dados recentes sobre o seguimento a longo prazo de doentes submetidos a IVAT revelam que a regurgitação paravalvular, ainda que ligeira, está associada a uma maior mortalidade.(124) Segundo especialistas a incidência de insuficiência aórtica depois da IVAT pode chegar aos 50% (40% RA ligeira e 10% moderada a grave), enquanto que na SVA cirúrgica esta complicação acontece em menos de 1% dos pacientes. Estes dados podem ser considerados um revés na IVAT, embora a taxa mortalidade não seja estatisticamente diferente entre a IVAT e a SVA.(125)

Similarmente à RA transvalvular, também foram propostos critérios para a definição de *endpoints* nos ensaios clínicos da IVAT para classificar a extensão

circunferencial da RA paravalvular em ligeira (<10%), moderada (10% a 20%) e grave (>20%).(121)

A quantidade total de volume regurgitante é o fator mais importante no que concerne à resposta hemodinâmica e à sobrecarga crónica de volume, podendo afetar a dilatação e função do VE e o desenvolvimento de hipertensão pulmonar.(126) Quer isto dizer que no seguimento ecográfico é fundamental a quantificação do volume e do fluxo regurgitante à semelhança do que acontece para o estudo da insuficiência aórtica em válvula nativa. (25) Tal quantificação é útil na presença de mais do que um jato de regurgitação, porque nestas situações a adição de duas ou mais insuficiências pode aumentar a gravidade da RA total. (121)

A RMC pode ser um complemento vantajoso à ecocardiografia particularmente quando há discordância na classificação da gravidade da insuficiência e na avaliação da remodelagem ventricular. (127) A ressonância magnética pode também ter um uso adicional na avaliação depois da IVAT no diagnóstico de acidentes vasculares cerebrais (AVC's).(65) Estudos recentes que utilizaram ressonância magnética por difusão detetaram uma incidência de AVC's isquémicos pós-IVAT até aos 68%-84%, apesar da expressão clínica de um acidente trombo-embólico cerebral ser inferior de 4%.(128-130) Desta forma a relevância clínica destas lesões e portanto deste método de imagem pós-IVAT permanece ainda incerto. (65)

Apesar de não ser um método de imagem, é importante referir que o ECG também é necessário no acompanhamento dos doentes submetidos a IVAT. Deve fazer-se uma monitorização contínua por ECG durante 3 dias após o procedimento em todos os pacientes.(65) Tal facto deve-se a uma incidência de FA de novo depois de uma IVAT bem-sucedida entre os 0,6% e os 8,6%.(5,10,131,132) No entanto, cerca de 25%

dos pacientes submetidos a IVAT tem FA pré-existente.(65) A conduta na FA pós-IVAT é baseada nas recomendações publicadas para a FA.(133)

Relativamente à periodicidade do acompanhamento os pacientes devem ser seguidos pela equipa multidisciplinar nos primeiros 30 dias, para um diagnóstico precoce de complicações. (65)

Após os 30 dias é sugerido uma avaliação clínica aos 6 meses, 1 ano e posteriormente anualmente. Deverá realizar uma ecocardiografia na avaliação do primeiro ano e depois anualmente. A frequência das avaliações pode ser aumentada se houver RA paravalvular significativa pós-IVAT ou alguma alteração no estado clínico ou nos achados ecocardiográficos.(65) À medida que a experiência com a IVAT aumenta, a frequência da avaliação ecocardiográfica poderá decrescer em direção à da SVA, que é de 3 em 3 anos.(65,134)

Conclusão

A IVAT é um dos principais avanços terapêuticos nos últimos anos para a doença cardíaca valvular. É uma opção terapêutica eficaz para os pacientes com EA grave que não reúnam condições cirúrgicas. É fundamental para o sucesso do procedimento a existência de uma equipa multidisciplinar que englobe entre outros profissionais especialistas na imagem cardíaca multimodal.

A tabela 4 resume os métodos de imagem abordados neste trabalho e que são de alguma maneira importantes na IVAT, sejam estes utilizados na seleção de pacientes, durante o procedimento ou no seguimento.

Tabela 4 – Tabela resumo dos métodos de imagem na IVAT.

Passos	Métodos imagem disponíveis
Avaliação gravidade da estenose aórtica	ECO*; RMC; CC
Avaliação da via de acesso/artérias periféricas	Angiografia; TACMD*; eco; RM
Avaliação da anatomia coronária	Angiografia coronária*; TACMD*; ETE 2D/3D*
Avaliação anatomia e calcificação da VA	ETE 2D/3D*; ETT* 2D/3D; TACMD*; RMC; fluoroscopia
Medição do anel aórtico	ETT 2D; ETE 2D/3D; ECO intracardíaca; TACMD*; RMC 2D/3D; angiografia/aortografia
Avaliar a raiz aórtica e aorta ascendente	Eco; TACMD*; angiografia
Avaliação das contra-indicações	ECO*; angiografia coronária*; TACMD
Guiar a IVAT	Fluoroscopia*; angiografia + ECO; TACMD; RMC; ETE*; ETT; ECO intra-cardíaca
Acompanhamento	ECO*; TACMD; RMC

Estado hemodinâmico	ETT*; RMC
Regurgitação aórtica	ETE*; RMC; TACMD
AVC's	RMD
Fibrilhação auricular	ECG*

* Meios complementares que os autores consideram imprescindíveis para a realização da IVAT. IVAT – implantação valvular aórtica transcaterter; ECO – ecocardiografia; RMC – ressonância magnética cardíaca; CC – cateterismo cardíaco; TACMD – tomografia axial computadorizada multidetetores; RM – ressonância magnética; ETE – ecocardiografia trans-esofágica; 2D – bidimensional; 3D – tridimensional; ETT – ecocardiografia trans-torácica; Eco – ecografia; ECG – eletrocardiograma; EA – estenose aórtica; VA – válvula aórtica; AVC's – acidentes vasculares cerebrais; RMD – ressonância magnética por difusão.

Pode, então, tentar resumir-se os métodos de imagem necessários para a IVAT, por etapa do procedimento. (Tab. 5)

Na seleção de pacientes a combinação da ecocardiografia com a TACMD ou a RMC permite a caracterização rigorosa das dimensões do anel aórtico e das relações espaciais da VA com as estruturas circundantes. Adicionalmente, a TACMD permite uma avaliação cuidadosa da anatomia arterial periférica dos pacientes. É também essencial a realização de angiografia coronária para a avaliação da doença coronária. Durante o procedimento, a ETE é um método de imagem importante complementar à fluoroscopia para guiar a IVAT. Finalmente, a ecocardiografia é o método de escolha para o acompanhamento a curto e a longo prazo dos pacientes. Neste último campo, a TACMD e a RMC podem providenciar informação relevante sobre os mecanismos de RA pós-IVAT.

Tabela 5 – Resumo dos métodos de imagem nas diferentes etapas da IVAT.

Etapa da IVAT	Método de imagem:
Seleção de pacientes	Ecocardiografia + TACMD/RMC + angiografia coronária
Durante o procedimento	Fluoroscopia + ETE
Acompanhamento	Ecocardiografia; (TACMD/RMC)

IVAT – implantação valvular aórtica transcater; TACMD – tomografia axial computadorizada multidetecores; RMC – ressonância magnética cardíaca; ETE – ecocardiografia trans-esofágica.

Foi criado um fluxograma para resumir os diferentes passos necessários à realização de uma IVAT bem-sucedida e os seus métodos complementares de diagnóstico (Fig. 8). De salientar que também nesta figura está representada a opinião dos autores no que respeita ao uso de métodos complementares de imagem essenciais à realização da IVAT.

As diferentes técnicas de imagem integradas e não isoladamente oferecem uma seleção cuidada, uma orientação rigorosa e um seguimento eficaz para a maioria dos pacientes submetidos a IVAT. No entanto, ainda há muito espaço para a pesquisa científica nesta área, uma vez que subsistem muitas questões por resolver. A maioria dos trabalhos até à data é observacional e está limitada a um único tipo de prótese valvular percutânea.

Protocolo imagiológico sugerido para IVAT

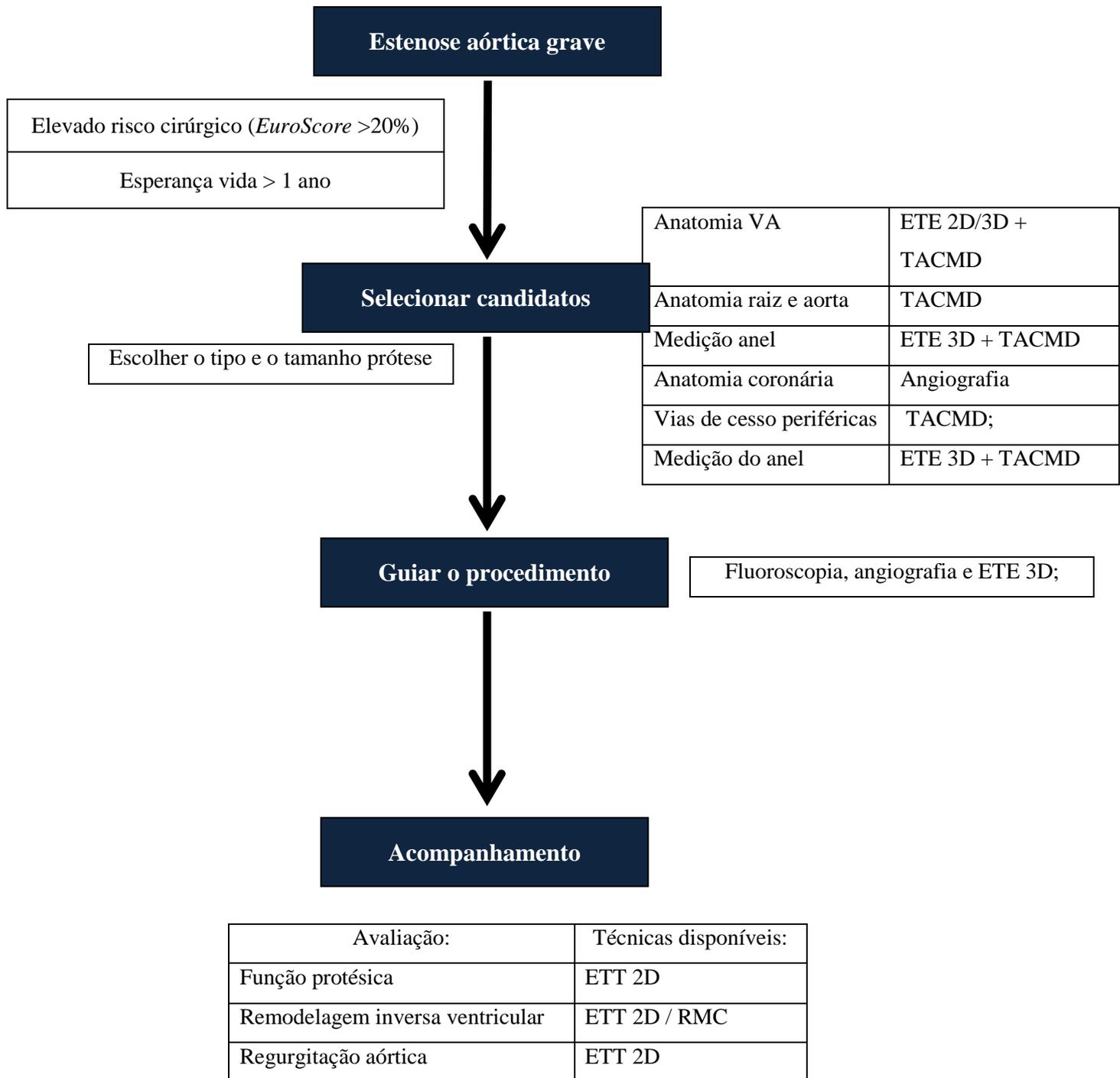


Figura 8 – Protocolo imagiológico sugerido para a IVAT sugerido pelos autores. IVAT – implantação valvular aórtica transcaterter; RMC – ressonância magnética cardíaca; TACMD – tomografia axial computadorizada multidetores; ETE – ecocardiografia

trans-esofágica; 2D – bidimensional; 3D – tridimensional; ETT – ecocardiografia trans-torácica.

Outra razão para a contínua pesquisa científica na imagiologia da IVAT é o facto das diferentes técnicas poderem ser consideradas redundantes, e sinónimo de repetição de exames desnecessários. Torna-se por isso necessário desenvolver algoritmos racionais para o uso dos métodos de imagem antes, durante e depois do procedimento, não só para maximizar o sucesso técnico, como também para minorar o impacto financeiro deste tipo de terapêutica. (25)

Também se deve proceder à investigação em cada fase do procedimento. As técnicas para a seleção dos pacientes podem ser refinadas em comparações sistemáticas entre as acuidades de diferentes técnicas na determinação de vários parâmetros.(25) Um exemplo para isso é a comparação das dimensões do anel aórtico ou da distância do anel aórtico aos óstios coronários entre vários métodos de imagem. A avaliação do peso relativo dos achados das diferentes técnicas de imagem na escolha da melhor prótese valvular transcater, assim como preditores imagiológicos de sucesso e de complicações são outras áreas possíveis de investigação. As complicações vasculares são também uma área na qual a evolução imagiológica pode contribuir para o otimizar a performance da técnica.

Durante a IVAT, a grande utilidade dos métodos de imagem é proporcionar imagens em tempo real para guiar o procedimento, incluindo uma rápida deteção do mal posicionamento e das complicações. É útil proceder à publicação de casos clínicos e séries de casos com imagens que documentem o leque de possíveis complicações para uma melhor aprendizagem de equipas com menos experiência.(25) De igual maneira é útil o aprofundamento da investigação das técnicas que utilizam a TACMD e a RMC

para guiar o procedimento. Numa fase em que estas técnicas estão em rápido desenvolvimento devido ao surgimento de salas de intervenção híbridas, é importante compará-las, através de estudos sistemáticos e randomizados entre si, e com a ecocardiografia.

A avaliação dos pacientes e das próteses no pós-procedimento, apesar de ter na ecocardiografia o seu método de escolha, deve ser comparada com outros métodos, de forma a determinar qual a melhor opção. Especificamente, no que respeita à avaliação da RA, é necessário desenvolver critérios mais específicos, reproduzíveis e quantitativos para uma melhor abordagem. Comparações entre os volumes de regurgitação obtidos através de ETE e ETT 2D e 3D, Doppler quantitativo e RMC, assim como resultados de técnicas invasivas e correlações hemodinâmicas, serão informativas e poderão definir melhor o significado desta complicação. O impacto clínico a longo-prazo da regressão da hipertrofia ventricular esquerda, e da remodelagem inversa ventricular esquerda necessita de melhor caracterização, comparado entre a IVAT e a SVA e relacionado com o estado funcional e o resultado clínico.(25). De igual modo, a deteção e quantificação da IP-P e a sua frequência e implicações clínicas é uma área importante e ampla para futuras investigações na IVAT.(25)

Outros campos de investigação são por exemplo, a avaliação do custo-eficácia e até que limite se poderá estender a técnica, ou a criação de protocolos de ensino/aprendizagem da IVAT para se ultrapassar a curva de aprendizagem existente neste procedimento.

A aplicação da IVAT em pacientes com um risco cirúrgico menor deve ser investigada de uma maneira exaustiva no futuro. A imagiologia tem um papel fundamental nesta matéria permitindo uma avaliação completa da durabilidade e das eventuais falhas das próteses percutâneas a longo-prazo. Atualmente as descrições de

casos clínicos de disfunção das próteses transcater são raras e os dados de acompanhamento a longo-prazo são apenas de 3-4 anos. São, por isso, necessários dados de um acompanhamento mais longo (entre os quais imagiológicos), para definir melhor em que altura e de que maneira acontece a disfunção protésica.(33,135,136)

Como se pode perceber os métodos de imagem na IVAT são fundamentais, para o sucesso global do procedimento. No entanto existem ainda muitas arestas para limar que devem ser objeto de investigação e discussão científica de modo a tornar mais eficaz e com menos custos esta abordagem terapêutica, que é já insubstituível.

Referências bibliográficas

1. Nkomo VT, Gardin JM, Skelton TN, Gottdiener JS, Scott CG, Enriquez-Sarano M. Burden of valvular heart diseases: a population-based study. *Lancet*. 2006 Sep 16;368(9540):1005–11.
2. Messika-Zeitoun D, Serfaty JM, Brochet E, Ducrocq G, Lepage L, Detaint D, et al. Multimodal assessment of the aortic annulus diameter: implications for transcatheter aortic valve implantation. *J Am Coll Cardiol*. 2010;55(3):186–94.
3. Vahanian A, Alfieri O, Andreotti F, Antunes MJ, Baron-Esquivias G, Baumgartner H, et al. Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012): 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 Heart Journal*. 2012 Aug 24;
4. Iung B, Cachier A, Baron G, Messika-Zeitoun D, Delahaye F, Tornos P, et al. Decision-making in elderly patients with severe aortic stenosis: why are so many denied surgery? *Eur Heart J*. 2005;26(24):2714–20.
5. Leon MB, Smith CR, Mack M, Miller DC, Moses JW, Svensson LG, et al. Transcatheter Aortic-Valve Implantation for Aortic Stenosis in Patients Who Cannot Undergo Surgery. *New England Journal of Medicine*. 2010;363(17):1597–607.
6. Tissot C-M, Attias D, Himbert D, Ducrocq G, Iung B, Dilly M-P, et al. Reappraisal of percutaneous aortic balloon valvuloplasty as a preliminary treatment strategy in the transcatheter aortic valve implantation era. *EuroIntervention : journal of EuroPCR in collaboration with the Working Group on Interventional Cardiology of the European Society of Cardiology*. 2011 May;7(1):49–56.
7. Cribier A. Percutaneous Transcatheter Implantation of an Aortic Valve Prosthesis for Calcific Aortic Stenosis: First Human Case Description. *Circulation*. 2002;106(24):3006–8.
8. Vahanian A, Alfieri O, Al-Attar N, Antunes M, Bax J, Cormier B, et al. Transcatheter valve implantation for patients with aortic stenosis: a position statement from the European Association of Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) and the European Society of Cardiology (ESC), in collaboration with the European Association of Percu. *Eur Heart J*. 2008;29(11):1463–70.
9. Dewey TM, Brown D, Ryan WH, Herbert MA, Prince SL, Mack MJ. Reliability of risk algorithms in predicting early and late operative outcomes in high-risk patients undergoing aortic valve replacement. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2008 Jan;135(1):180–7.

10. Craig R. Smith, Martin B. Leon, M.D., Michael J. Mack, M.D., D. Craig Miller, M.D., Jeffrey W. Moses, M.D., MD, Lars G. Svensson Ph.D., E. Murat Tuzcu, M.D., John G. Webb, M.D., Gregory P. Fontana, M.D., MD, Raj R. Makkar, Mathew Williams, M.D., Todd Dewey, M.D., Samir Kapadia, M.D., Vasilis Babaliaros, M.D., MD, Vinod H. Thourani, Paul Corso, M.D., Augusto D. Pichard, M.D., Joseph E. Bavaria, M.D., MD, Howard C. Herrmann, Jodi J. Akin, M.S., William N. Anderson, Ph.D., Duolao Wang, Ph.D., MD, and Stuart J. Pocock for the PARTNER Trial Investigators PD. Transcatheter versus Surgical Aortic-Valve Replacement in High-Risk Patients. *N Engl J Med* 2011;364:2187-98. 2011;
11. Thomas M, Schymik G, Walther T, Himbert D, Lefèvre T, Treede H, et al. Thirty-day results of the SAPIEN aortic Bioprosthesis European Outcome (SOURCE) Registry: A European registry of transcatheter aortic valve implantation using the Edwards SAPIEN valve. *Circulation*. 2010 Jul 6;122(1):62–9.
12. Piazza N, Grube E, Gerckens U, Den Heijer P, Linke A, Luha O, et al. Procedural and 30-day outcomes following transcatheter aortic valve implantation using the third generation (18 Fr) corevalve revalving system: results from the multicentre, expanded evaluation registry 1-year following CE mark approval. *EuroIntervention : journal of EuroPCR in collaboration with the Working Group on Interventional Cardiology of the European Society of Cardiology*. 2008 Aug;4(2):242–9.
13. Thomas M, Schymik G, Walther T, Himbert D, Lefèvre T, Treede H, et al. One-year outcomes of cohort 1 in the Edwards SAPIEN Aortic Bioprosthesis European Outcome (SOURCE) registry: the European registry of transcatheter aortic valve implantation using the Edwards SAPIEN valve. *Circulation*. 2011 Jul 26;124(4):425–33.
14. Zahn R, Gerckens U, Grube E, Linke A, Sievert H, Eggebrecht H, et al. Transcatheter aortic valve implantation: first results from a multi-centre real-world registry. *European heart journal*. 2011 Jan;32(2):198–204.
15. Eltchaninoff H, Prat A, Gilard M, Leguerrier A, Blanchard D, Fournial G, et al. Transcatheter aortic valve implantation: early results of the FRANCE (FRench Aortic National CoreValve and Edwards) registry. *European heart journal*. 2011 Jan;32(2):191–7.
16. Tamburino C, Capodanno D, Ramondo A, Petronio AS, Ettori F, Santoro G, et al. Incidence and predictors of early and late mortality after transcatheter aortic valve implantation in 663 patients with severe aortic stenosis. *Circulation*. 2011 Jan 25;123(3):299–308.
17. Rodés-Cabau J, Webb JG, Cheung A, Ye J, Dumont E, Feindel CM, et al. Transcatheter aortic valve implantation for the treatment of severe symptomatic aortic stenosis in patients at very high or prohibitive surgical risk: acute and late outcomes of the multicenter Canadian experience. *Journal of the American College of Cardiology*. 2010 Mar 16;55(11):1080–90.

18. Buellfeld L, Gerckens U, Schuler G, Bonan R, Kovac J, Serruys PW, et al. 2-year follow-up of patients undergoing transcatheter aortic valve implantation using a self-expanding valve prosthesis. *Journal of the American College of Cardiology*. 2011 Apr 19;57(16):1650–7.
19. Carabello BA, Paulus WJ. Aortic stenosis. *Lancet*. 2009 Mar 14;373(9667):956–66.
20. Freeman R V, Otto CM. Spectrum of calcific aortic valve disease: pathogenesis, disease progression, and treatment strategies. *Circulation*. 2005 Jun 21;111(24):3316–26.
21. Pellikka P a, Sarano ME, Nishimura R a, Malouf JF, Bailey KR, Scott CG, et al. Outcome of 622 adults with asymptomatic, hemodynamically significant aortic stenosis during prolonged follow-up. *Circulation*. 2005 Jun 21;111(24):3290–5.
22. Chan KL, Teo K, Dumesnil JG, Ni A, Tam J. Effect of Lipid lowering with rosuvastatin on progression of aortic stenosis: results of the aortic stenosis progression observation: measuring effects of rosuvastatin (ASTRONOMER) trial. *Circulation*. 2010 Jan 19;121(2):306–14.
23. Longo D, Fauci A, Kasper D, Hauser S, Jameson J, Loscalzo J. *Harrison's Principles of Internal Medicine*, 18th Edition. McGraw-Hill Prof Med/Tech; 2011. p. 2800.
24. Piazza N, De Jaegere P, Schultz C, Becker AE, Serruys PW, Anderson RH. Anatomy of the aortic valvar complex and its implications for transcatheter implantation of the aortic valve. *Circulation. Cardiovascular interventions*. 2008 Aug;1(1):74–81.
25. Bloomfield GS, Gillam LD, Hahn RT, Kapadia S, Leipsic J, Lerakis S, et al. A practical guide to multimodality imaging of transcatheter aortic valve replacement. *JACC. Cardiovascular imaging*. 2012 Apr;5(4):441–55.
26. Little SH, Shah DJ, Mahmorian JJ. Multimodality Noninvasive Imaging for Transcatheter Aortic Valve Implantation: A primer. *Methodist DeBakey cardiovascular journal*. 2012 Apr;8(2):29–37.
27. Piazza N, Lange R, Martucci G, Serruys PW. Patient selection for transcatheter aortic valve implantation: patient risk profile and anatomical selection criteria. *Archives of cardiovascular diseases. Elsevier Masson SAS*; 2012 Mar;105(3):165–73.
28. Francisco S, Ca A. PARTNER 2 : New Sapien XT matches first TAVR device , with lower complications. 2013;2010–2.
29. Baumgartner H, Hung J, Bermejo J, Chambers JB, Evangelista A, Griffin BP, et al. Echocardiographic assessment of valve stenosis: EAE/ASE recommendations for clinical practice. *European journal of echocardiography : the journal of the*

Working Group on Echocardiography of the European Society of Cardiology. 2009 Jan;10(1):1–25.

30. deFilippi CR, Willett DL, Brickner ME, Appleton CP, Yancy CW, Eichhorn EJ, et al. Usefulness of dobutamine echocardiography in distinguishing severe from nonsevere valvular aortic stenosis in patients with depressed left ventricular function and low transvalvular gradients. *The American journal of cardiology*. 1995 Jan 15;75(2):191–4.
31. Monin J-L, Quéré J-P, Monchi M, Petit H, Baleynaud S, Chauvel C, et al. Low-gradient aortic stenosis: operative risk stratification and predictors for long-term outcome: a multicenter study using dobutamine stress hemodynamics. *Circulation*. 2003 Jul 22;108(3):319–24.
32. Cawley PJ, Maki JH, Otto CM. Cardiovascular magnetic resonance imaging for valvular heart disease: technique and validation. *Circulation*. 2009 Jan 27;119(3):468–78.
33. Gurvitch R, Wood DA, Tay EL, Leipsic J, Ye J, Lichtenstein S V, et al. Transcatheter aortic valve implantation: durability of clinical and hemodynamic outcomes beyond 3 years in a large patient cohort. *Circulation*. 2010 Sep 28;122(13):1319–27.
34. Delgado V, Kapadia S, Schali J, Schuijff JD, Tuzcu EM, Bax JJ. Transcatheter aortic valve implantation: implications of multimodality imaging in patient selection, procedural guidance, and outcomes. *Heart (British Cardiac Society)*. 2012 May;98(9):743–54.
35. D’Onofrio A, Rubino P, Fusari M, Salvador L, Musumeci F, Rinaldi M, et al. Clinical and hemodynamic outcomes of “all-comers” undergoing transapical aortic valve implantation: results from the Italian Registry of Trans-Apical Aortic Valve Implantation (I-TA). *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2011 Oct;142(4):768–75.
36. Kempfert J, Rastan A, Holzhey D, Linke A, Schuler G, Van Linden A, et al. Transapical aortic valve implantation: analysis of risk factors and learning experience in 299 patients. *Circulation*. 2011 Sep 13;124(11 Suppl):S124–9.
37. Petronio AS, De Carlo M, Bedogni F, Marzocchi A, Klugmann S, Maisano F, et al. Safety and efficacy of the subclavian approach for transcatheter aortic valve implantation with the CoreValve revalving system. *Circulation. Cardiovascular interventions*. 2010 Aug;3(4):359–66.
38. Sharp ASP, Michev I, Colombo A. First trans-axillary implantation of Edwards Sapien valve to treat an incompetent aortic bioprosthesis. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*. 2010 Mar 1;75(4):507–10.
39. Bruschi G, De Marco F, Fratto P, Oreglia J, Colombo P, Paino R, et al. Direct aortic access through right minithoracotomy for implantation of self-expanding

- aortic bioprosthetic valves. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2010 Sep;140(3):715–7.
40. Etienne P-Y, Papadatos S, El Khoury E, Pieters D, Price J, Glineur D. Transaortic transcatheter aortic valve implantation with the Edwards SAPIEN valve: feasibility, technical considerations, and clinical advantages. *The Annals of thoracic surgery*. 2011 Aug;92(2):746–8.
 41. Eltchaninoff H, Kerkeni M, Zajarias A, Tron C, Godin M, Sanchez Giron C, et al. Aorto-iliac angiography as a screening tool in selecting patients for transfemoral aortic valve implantation with the Edwards SAPIEN bioprosthesis. *EuroIntervention : journal of EuroPCR in collaboration with the Working Group on Interventional Cardiology of the European Society of Cardiology*. 2009 Sep;5(4):438–42.
 42. Toggweiler S, Gurvitch R, Leipsic J, Wood DA, Willson AB, Binder RK, et al. Percutaneous aortic valve replacement: vascular outcomes with a fully percutaneous procedure. *Journal of the American College of Cardiology*. 2012 Jan 10;59(2):113–8.
 43. Joshi SB, Mendoza DD, Steinberg DH, Goldstein MA, Lopez CF, Raizon A, et al. Ultra-low-dose intra-arterial contrast injection for iliofemoral computed tomographic angiography. *JACC. Cardiovascular imaging*. 2009 Dec;2(12):1404–11.
 44. Troianos CA, Hartman GS, Glas KE, Skubas NJ, Eberhardt RT, Walker JD, et al. Guidelines for performing ultrasound guided vascular cannulation: recommendations of the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists. *Journal of the American Society of Echocardiography : official publication of the American Society of Echocardiography*. 2011 Dec;24(12):1291–318.
 45. Wenaweser P, Pilgrim T, Guerios E, Stortecky S, Huber C, Khattab AA, et al. Impact of coronary artery disease and percutaneous coronary intervention on outcomes in patients with severe aortic stenosis undergoing transcatheter aortic valve implantation. *EuroIntervention : journal of EuroPCR in collaboration with the Working Group on Interventional Cardiology of the European Society of Cardiology*. 2011 Sep;7(5):541–8.
 46. Zamorano JL, Badano LP, Bruce C, Chan K-L, Gonçalves A, Hahn RT, et al. EAE/ASE recommendations for the use of echocardiography in new transcatheter interventions for valvular heart disease. *European heart journal*. 2011 Sep;32(17):2189–214.
 47. Akhtar M, Tuzcu EM, Kapadia SR, Svensson LG, Greenberg RK, Roselli EE, et al. Aortic root morphology in patients undergoing percutaneous aortic valve replacement: evidence of aortic root remodeling. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2009 Apr;137(4):950–6.

48. Tops LF, Delgado V, Van der Kley F, Bax JJ. Percutaneous aortic valve therapy: clinical experience and the role of multi-modality imaging. *Heart*. 2009;95(18):1538–46.
49. Morais GP De, Bettencourt N, Silva G, Ferreira N, Sousa O, Caeiro D, et al. Tomografia computadorizada multicorte na avaliação de candidatos a implantação de prótese aórtica percutânea. 2011;30(9):717–26.
50. Ketelsen D, Fishman EK, Claussen CD, Vogel-Claussen J. Computed tomography evaluation of cardiac valves: a review. *Radiologic clinics of North America*. 2010 Jul;48(4):783–97.
51. Wijesinghe N, Ye J, Rodés-Cabau J, Cheung A, Velianou JL, Natarajan MK, et al. Transcatheter aortic valve implantation in patients with bicuspid aortic valve stenosis. *JACC. Cardiovascular interventions*. 2010 Nov;3(11):1122–5.
52. Himbert D, Pontnau F, Messika-Zeitoun D, Descoutures F, Détaint D, Cueff C, et al. Feasibility and outcomes of transcatheter aortic valve implantation in high-risk patients with stenotic bicuspid aortic valves. *The American journal of cardiology*. 2012 Sep 15;110(6):877–83.
53. Delgado V, Ng ACT, Van de Veire NR, Van der Kley F, Schuijf JD, Tops LF, et al. Transcatheter aortic valve implantation: role of multi-detector row computed tomography to evaluate prosthesis positioning and deployment in relation to valve function. *European heart journal*. 2010 May;31(9):1114–23.
54. Chin D. Echocardiography for transcatheter aortic valve implantation. *Eur J Echocardiogr*. 2009;10(1):i21–9.
55. Stolzmann P, Knight J, Desbiolles L, Maier W, Scheffel H, Plass A, et al. Remodelling of the aortic root in severe tricuspid aortic stenosis: implications for transcatheter aortic valve implantation. *European radiology*. 2009 Jun;19(6):1316–23.
56. Lang RM, Badano LP, Tsang W, Adams DH, Agricola E, Buck T, et al. EAE/ASE recommendations for image acquisition and display using three-dimensional echocardiography. *European heart journal cardiovascular Imaging*. 2012 Jan;13(1):1–46.
57. Rajani R, Brum RL, Barden E, Drake S, Preston RL, Carr-White G, et al. An insight into transcatheter aortic valve implantation - a perspective from multidetector computed tomography. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*. 2012 Aug 24;
58. Pflederer T, Achenbach S. Aortic valve stenosis: CT contributions to diagnosis and therapy. *Journal of cardiovascular computed tomography [Internet]*. [cited 2012 Nov 15];4(6):355–64. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21051310>

59. Moss RR, Ivens E, Pasupati S, Humphries K, Thompson CR, Munt B, et al. Role of echocardiography in percutaneous aortic valve implantation. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2008;1(1):15–24.
60. Messika-Zeitoun D, Aubry M-C, Detaint D, Bielik LF, Peyser PA, Sheedy PF, et al. Evaluation and clinical implications of aortic valve calcification measured by electron-beam computed tomography. *Circulation*. 2004 Jul 20;110(3):356–62.
61. Koos R, Mahnken AH, Kühl HP, Mühlenbruch G, Mevissen V, Stork L, et al. Quantification of aortic valve calcification using multislice spiral computed tomography: comparison with atomic absorption spectroscopy. *Investigative radiology*. 2006 May;41(5):485–9.
62. Koos R, Kühl HP, Mühlenbruch G, Wildberger JE, Günther RW, Mahnken AH. Prevalence and clinical importance of aortic valve calcification detected incidentally on CT scans: comparison with echocardiography. *Radiology*. 2006 Oct;241(1):76–82.
63. Cowell SJ, Newby DE, Burton J, White A, Northridge DB, Boon NA, et al. Aortic valve calcification on computed tomography predicts the severity of aortic stenosis. *Clinical radiology*. 2003 Sep;58(9):712–6.
64. Rosenhek R, Binder T, Porenta G, Lang I, Christ G, Schemper M, et al. Predictors of outcome in severe, asymptomatic aortic stenosis. *The New England journal of medicine*. 2000 Aug 31;343(9):611–7.
65. Holmes DR, Mack MJ, Kaul S, Agnihotri A, Alexander KP, Bailey SR, et al. 2012 ACCF/AATS/SCAI/STS expert consensus document on transcatheter aortic valve replacement: developed in collaboration with the American Heart Association, American Society of Echocardiography, European Association for Cardio-Thoracic Surgery, Heart Fail. *The Annals of thoracic surgery*. 2012 Apr;93(4):1340–95.
66. Jabbour A, Ismail TF, Moat N, Gulati A, Roussin I, Alpendurada F, et al. Multimodality imaging in transcatheter aortic valve implantation and post-procedural aortic regurgitation: comparison among cardiovascular magnetic resonance, cardiac computed tomography, and echocardiography. *Journal of the American College of Cardiology*. 2011 Nov 15;58(21):2165–73.
67. Jayasuriya C, Moss RR, Munt B. Transcatheter aortic valve implantation in aortic stenosis: the role of echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography : official publication of the American Society of Echocardiography*. 2011 Jan;24(1):15–27.
68. Détaint D, Lepage L, Himbert D, Brochet E, Messika-Zeitoun D, Iung B, et al. Determinants of significant paravalvular regurgitation after transcatheter aortic valve: implantation impact of device and annulus discongruence. *JACC. Cardiovascular interventions*. 2009 Sep;2(9):821–7.

69. Mesa Rubio D, Suárez de Lezo Cruz Conde J, Alvarez-Osorio MP, Ruiz Ortiz M, Delgado Ortega M, León del Pino M del C, et al. Measurement of aortic valve annulus using different cardiac imaging techniques in transcatheter aortic valve implantation: agreement with finally implanted prosthesis size. *Echocardiography* (Mount Kisco, N.Y.). 2011 Apr;28(4):388–96.
70. Kurra V, Kapadia SR, Tuzcu EM, Halliburton SS, Svensson L, Roselli EE, et al. Pre-procedural imaging of aortic root orientation and dimensions: comparison between X-ray angiographic planar imaging and 3-dimensional multidetector row computed tomography. *JACC. Cardiovascular interventions*. 2010 Jan;3(1):105–13.
71. Ng ACT, Delgado V, Van der Kley F, Shanks M, Van de Veire NRL, Bertini M, et al. Comparison of aortic root dimensions and geometries before and after transcatheter aortic valve implantation by 2- and 3-dimensional transesophageal echocardiography and multislice computed tomography. *Circulation. Cardiovascular imaging*. 2010 Jan;3(1):94–102.
72. Husser O, Rauch S, Endemann DH, Resch M, Nunez J, Bodi V, et al. Impact of three-dimensional transesophageal echocardiography on prosthesis sizing for transcatheter aortic valve implantation. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*. 2012 Mar 14;000.
73. Veire NRL. Imaging to guide transcatheter aortic valve implantation. *Journal of Echocardiography*. 2010 Jan 27;8(1):1–6.
74. Ussia GP, Barbanti M, Sarkar K, Cumbo M, Aruta P, Scarabelli M, et al. Accuracy of intracardiac echocardiography for aortic root assessment in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation. *American heart journal*. 2012 Apr;163(4):684–9.
75. Schultz CJ, Moelker AD, Tzikas A, Rossi A, van Geuns RJ, de Feyter PJ SP. Cardiac CT: necessary for precise sizing for transcatheter aortic implantation. *EuroIntervention*. 2010;May(6 Suppl):G6–G13.
76. Leipsic J, Gurvitch R, Labounty TM, Min JK, Wood D, Johnson M, et al. Multidetector computed tomography in transcatheter aortic valve implantation. *JACC. Cardiovascular imaging*. 2011 Apr;4(4):416–29.
77. Willson AB, Webb JG, Labounty TM, Achenbach S, Moss R, Wheeler M, et al. 3-Dimensional Aortic Annular Assessment By Multidetector Computed Tomography Predicts Moderate or Severe Paravalvular Regurgitation After Transcatheter Aortic Valve Replacement: a Multicenter Retrospective Analysis. *Journal of the American College of Cardiology. Elsevier Inc.*; 2012 Apr 3;59(14):1287–94.
78. Pontone G, Andreini D, Bartorelli AL, Bertella E, Cortinovis S, Mushtaq S, et al. Aortic annulus area assessment by multidetector computed tomography for predicting paravalvular regurgitation in patients undergoing balloon-expandable

- transcatheter aortic valve implantation: A comparison with transthoracic and transesophageal echocardiography. *American heart journal*. Mosby, Inc.; 2012 Oct;164(4):576–84.
79. Jilaihawi H, Kashif M, Fontana G, Furugen A, Shiota T, Friede G, et al. Cross-sectional computed tomographic assessment improves accuracy of aortic annular sizing for transcatheter aortic valve replacement and reduces the incidence of paravalvular aortic regurgitation. *Journal of the American College of Cardiology*. Elsevier Inc.; 2012 Apr 3;59(14):1275–86.
 80. Burgstahler C, Kunze M, Löffler C, Gawaz MP, Hombach V, Merkle N. Assessment of left ventricular outflow tract geometry in non-stenotic and stenotic aortic valves by cardiovascular magnetic resonance. *Journal of cardiovascular magnetic resonance : official journal of the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2006 Jan;8(6):825–9.
 81. Juluru K, Vogel-Claussen J, Macura KJ, Kamel IR, Steever A, Bluemke DA. MR imaging in patients at risk for developing nephrogenic systemic fibrosis: protocols, practices, and imaging techniques to maximize patient safety. *Radiographics : a review publication of the Radiological Society of North America, Inc.* 29(1):9–22.
 82. Al Ali AM, Altwegg L, Horlick EM, Feindel C, Thompson CR, Cheung A, et al. Prevention and management of transcatheter balloon-expandable aortic valve malposition. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*. 2008 Oct 1;72(4):573–8.
 83. Gurvitch R, Wood DA, Leipsic J, Tay E, Johnson M, Ye J, et al. Multislice computed tomography for prediction of optimal angiographic deployment projections during transcatheter aortic valve implantation. *JACC Cardiovasc Interv.* 2010;3(11):1157–65.
 84. Dvir D, Kornowski R. Real-time 3D imaging in the cardiac catheterization laboratory. *Future cardiology*. 2010 Jul;6(4):463–71.
 85. John M, Liao R, Zheng Y, Nöttling A, Boese J, Kirschstein U, et al. System to guide transcatheter aortic valve implantations based on interventional C-arm CT imaging. *Medical image computing and computer-assisted intervention : MICCAI ... International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*. 2010 Jan;13(Pt 1):375–82.
 86. Schwartz JG, Neubauer AM, Fagan TE, Noordhoek NJ, Grass M, Carroll JD. Potential role of three-dimensional rotational angiography and C-arm CT for valvular repair and implantation. *The international journal of cardiovascular imaging*. 2011 Dec;27(8):1205–22.
 87. Fassel J, Seeberger MD, Augoustides JGT. Transcatheter aortic valve implantation: is general anesthesia superior to conscious sedation? *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia*. 2011 Jun;25(3):576–7.

88. Guarracino F, Cabrini L, Baldassarri R, Cariello C, Covello RD, Landoni G, et al. Non-invasive ventilation-aided transoesophageal echocardiography in high-risk patients: a pilot study. *European journal of echocardiography : the journal of the Working Group on Echocardiography of the European Society of Cardiology*. 2010 Jul;11(6):554–6.
89. Bartel T, Bonaros N, Müller L, Friedrich G, Grimm M, Velik-Salchner C, et al. Intracardiac echocardiography: a new guiding tool for transcatheter aortic valve replacement. *Journal of the American Society of Echocardiography : official publication of the American Society of Echocardiography*. 2011 Sep;24(9):966–75.
90. Rosengart TK, Feldman T, Borger MA, Vassiliades TA, Gillinov AM, Hoercher KJ, et al. Percutaneous and minimally invasive valve procedures: a scientific statement from the American Heart Association Council on Cardiovascular Surgery and Anesthesia, Council on Clinical Cardiology, Functional Genomics and Translational Biology Interdisciplin. *Circulation*. 2008 Apr 1;117(13):1750–67.
91. Schultz CJ, Moelker A, Piazza N, Tzikas A, Otten A, Nuis RJ, et al. Three dimensional evaluation of the aortic annulus using multislice computer tomography: are manufacturer’s guidelines for sizing for percutaneous aortic valve replacement helpful? *European heart journal*. 2010 Apr;31(7):849–56.
92. Tops LF, Wood D a, Delgado V, Schuijf JD, Mayo JR, Pasupati S, et al. Noninvasive evaluation of the aortic root with multislice computed tomography implications for transcatheter aortic valve replacement. *JACC. Cardiovascular imaging*. 2008 May;1(3):321–30.
93. Koos R, Mahnken AH, Dohmen G, Brehmer K, Günther RW, Autschbach R, et al. Association of aortic valve calcification severity with the degree of aortic regurgitation after transcatheter aortic valve implantation. *International journal of cardiology*. 2011 Jul 15;150(2):142–5.
94. Kapadia SR, Svensson L, Tuzcu EM. Successful percutaneous management of left main trunk occlusion during percutaneous aortic valve replacement. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*. 2009 Jun 1;73(7):966–72.
95. Lerakis S, Babaliaros VC, Block PC, Junagadhwalla Z, Thourani VH, Howell S, et al. Transesophageal echocardiography to help position and deploy a transcatheter heart valve. *JACC. Cardiovascular imaging*. 2010 Feb;3(2):219–21.
96. Walther T, Simon P, Dewey T, Wimmer-Greinecker G, Falk V, Kasimir MT, et al. Transapical minimally invasive aortic valve implantation: multicenter experience. *Circulation*. 2007 Sep 11;116(11 Suppl):I240–5.
97. Grube E, Schuler G, Buellfeld L, Gerckens U, Linke A, Wenaweser P, et al. Percutaneous aortic valve replacement for severe aortic stenosis in high-risk patients using the second- and current third-generation self-expanding CoreValve

- prosthesis: device success and 30-day clinical outcome. *Journal of the American College of Cardiology*. 2007 Jul 3;50(1):69–76.
98. Jilaihawi H, Chin D, Spyt T, Jeilan M, Vasa-Nicotera M, Bence J, et al. Prosthesis-patient mismatch after transcatheter aortic valve implantation with the Medtronic-Corevalve bioprosthesis. *European heart journal*. 2010 Apr;31(7):857–64.
 99. Gripari P, Ewe SH, Fusini L, Muratori M, Ng ACT, Cefalù C, et al. Intraoperative 2D and 3D transoesophageal echocardiographic predictors of aortic regurgitation after transcatheter aortic valve implantation. *Heart (British Cardiac Society)*. 2012 Aug;98(16):1229–36.
 100. Sinning J-M, Hammerstingl C, Vasa-Nicotera M, Adenauer V, Lema Cachiguango SJ, Scheer A-C, et al. Aortic regurgitation index defines severity of peri-prosthetic regurgitation and predicts outcome in patients after transcatheter aortic valve implantation. *Journal of the American College of Cardiology*. Elsevier Inc.; 2012 Mar 27;59(13):1134–41.
 101. Vasa-Nicotera M, Sinning J-M, Chin D, Lim TK, Spyt T, Jilaihawi H, et al. Impact of paravalvular leakage on outcome in patients after transcatheter aortic valve implantation. *JACC. Cardiovascular interventions*. Elsevier Inc.; 2012 Aug;5(8):858–65.
 102. Sherif MA, Abdel-Wahab M, Stöcker B, Geist V, Richardt D, Tölg R, et al. Anatomic and procedural predictors of paravalvular aortic regurgitation after implantation of the Medtronic CoreValve bioprosthesis. *Journal of the American College of Cardiology*. 2010 Nov 9;56(20):1623–9.
 103. Horvath KA, Mazilu D, Guttman M, Zetts A, Hunt T, Li M. Midterm results of transapical aortic valve replacement via real-time magnetic resonance imaging guidance. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2010 Feb;139(2):424–30.
 104. Tchetché D, Dumonteil N, Sauguet A, Descoutures F, Luz A, Garcia O, et al. Thirty-day outcome and vascular complications after transarterial aortic valve implantation using both Edwards Sapien and Medtronic CoreValve bioprostheses in a mixed population. *EuroIntervention : journal of EuroPCR in collaboration with the Working Group on Interventional Cardiology of the European Society of Cardiology*. 2010 Jan;5(6):659–65.
 105. Zoghbi WA, Chambers JB, Dumesnil JG, Foster E, Gottdiener JS, Grayburn PA, et al. Recommendations for evaluation of prosthetic valves with echocardiography and doppler ultrasound: a report From the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Task Force on Prosthetic Valves, developed in conjunction. *Journal of the American Society of Echocardiography : official publication of the American Society of Echocardiography*. 2009 Sep;22(9):975–1014; quiz 1082–4.

106. Gotzmann M, Lindstaedt M, Bojara W, Mügge A, Germing A. Hemodynamic results and changes in myocardial function after transcatheter aortic valve implantation. *American heart journal*. 2010 May;159(5):926–32.
107. Tzikas A, Geleijnse ML, Van Mieghem NM, Schultz CJ, Nuis R-J, Van Dalen BM, et al. Left ventricular mass regression one year after transcatheter aortic valve implantation. *The Annals of thoracic surgery*. 2011 Mar;91(3):685–91.
108. Tzikas A, Piazza N, Van Dalen BM, Schultz C, Geleijnse ML, Van Geuns R-J, et al. Changes in mitral regurgitation after transcatheter aortic valve implantation. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*. 2010 Jan 1;75(1):43–9.
109. Clavel MA, Webb JG, Rodés-Cabau J, Masson JB, Dumont E, De Larocheillère R, et al. Comparison between transcatheter and surgical prosthetic valve implantation in patients with severe aortic stenosis and reduced left ventricular ejection fraction. *Circulation*. 2010 Nov 9;122(19):1928–36.
110. Devereux RB, Alonso DR, Lutas EM, Gottlieb GJ, Campo E, Sachs I, et al. Echocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy: comparison to necropsy findings. *The American journal of cardiology*. 1986 Feb 15;57(6):450–8.
111. Myerson SG, Montgomery HE, World MJ, Pennell DJ. Left ventricular mass: reliability of M-mode and 2-dimensional echocardiographic formulas. *Hypertension*. 2002 Nov;40(5):673–8.
112. Clavel M-A, Rodés-Cabau J, Dumont É, Bagur R, Bergeron S, De Larocheillère R, et al. Validation and characterization of transcatheter aortic valve effective orifice area measured by Doppler echocardiography. *JACC. Cardiovascular imaging*. 2011 Oct;4(10):1053–62.
113. Shames S, Koczo A, Hahn R, Jin Z, Picard MH, Gillam LD. Flow characteristics of the SAPIEN aortic valve: the importance of recognizing in-stent flow acceleration for the echocardiographic assessment of valve function. *Journal of the American Society of Echocardiography : official publication of the American Society of Echocardiography*. 2012 Jun;25(6):603–9.
114. Clavel M-A, Webb JG, Pibarot P, Altwegg L, Dumont E, Thompson C, et al. Comparison of the hemodynamic performance of percutaneous and surgical bioprostheses for the treatment of severe aortic stenosis. *Journal of the American College of Cardiology*. 2009 May 19;53(20):1883–91.
115. Pibarot P, Dumesnil JG. Hemodynamic and clinical impact of prosthesis-patient mismatch in the aortic valve position and its prevention. *Journal of the American College of Cardiology*. 2000 Oct;36(4):1131–41.
116. Blais C, Dumesnil JG, Baillot R, Simard S, Doyle D, Pibarot P. Impact of valve prosthesis-patient mismatch on short-term mortality after aortic valve replacement. *Circulation*. 2003 Aug 26;108(8):983–8.

117. Mohty D, Mohty-Echahidi D, Malouf JF, Girard SE, Schaff H V, Grill DE, et al. Impact of prosthesis-patient mismatch on long-term survival in patients with small St Jude Medical mechanical prostheses in the aortic position. *Circulation*. 2006 Jan 24;113(3):420–6.
118. Ewe SH, Muratori M, Delgado V, Pepi M, Tamborini G, Fusini L, et al. Hemodynamic and clinical impact of prosthesis-patient mismatch after transcatheter aortic valve implantation. *Journal of the American College of Cardiology*. 2011 Oct 25;58(18):1910–8.
119. Abdel-Wahab M, Zahn R, Horack M, Gerckens U, Schuler G, Sievert H, et al. Aortic regurgitation after transcatheter aortic valve implantation: incidence and early outcome. Results from the German transcatheter aortic valve interventions registry. *Heart (British Cardiac Society)*. 2011 Jun;97(11):899–906.
120. Zahn R, Schiele R, Kilkowski C, Zeymer U. Severe aortic regurgitation after percutaneous transcatheter aortic valve implantation: on the importance to clarify the underlying pathophysiology. *Clinical research in cardiology : official journal of the German Cardiac Society*. 2010 Mar;99(3):193–7.
121. Leon MB, Piazza N, Nikolsky E, Blackstone EH, Cutlip DE, Kappetein AP, et al. Standardized endpoint definitions for Transcatheter Aortic Valve Implantation clinical trials: a consensus report from the Valve Academic Research Consortium. *Journal of the American College of Cardiology*. 2011 Jan 18;57(3):253–69.
122. Block PC. Leaks and the “great ship” TAVI. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*. 2010 May 1;75(6):873–4.
123. Grube E, Laborde JC, Gerckens U, Felderhoff T, Sauren B, Buellesfeld L, et al. Percutaneous implantation of the CoreValve self-expanding valve prosthesis in high-risk patients with aortic valve disease: the Siegburg first-in-man study. *Circulation*. 2006 Oct 10;114(15):1616–24.
124. Kodali SK, Williams MR, Smith CR, Svensson LG, Webb JG, Makkar RR, et al. Two-year outcomes after transcatheter or surgical aortic-valve replacement. *The New England journal of medicine*. 2012 May 3;366(18):1686–95.
125. Wood S. PARTNER A: Even mild paravalvular leaks linked with higher mortality at two years. *theheart.org*. [Clinical Conditions > Interventional/Surgery > Interventional/Surgery]. 2012;Mar 26,.
126. Simpson IA, De Belder MA, Kenny A, Martin M, Nihoyannopoulos P. How to quantitate valve regurgitation by echo Doppler techniques. *British Society of Echocardiography. British heart journal [Internet]*. 1995 May [cited 2012 Dec 4];73(5 Suppl 2):1–9. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=483890&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>

127. Pouleur A-C, Le Polain de Waroux J-B, Goffinet C, Vancraeynest D, Pasquet A, Gerber BL, et al. Accuracy of the flow convergence method for quantification of aortic regurgitation in patients with central versus eccentric jets. *The American journal of cardiology*. 2008 Aug 15;102(4):475–80.
128. Kahlert P, Knipp SC, Schlamann M, Thielmann M, Al-Rashid F, Weber M, et al. Silent and apparent cerebral ischemia after percutaneous transfemoral aortic valve implantation: a diffusion-weighted magnetic resonance imaging study. *Circulation*. 2010;121(7):870–8.
129. Arnold M, Schulz-Heise S, Achenbach S, Ott S, Dörfler A, Ropers D, et al. Embolic cerebral insults after transapical aortic valve implantation detected by magnetic resonance imaging. *JACC. Cardiovascular interventions*. 2010 Nov;3(11):1126–32.
130. Ghanem A, Müller A, Nähle CP, Kocurek J, Werner N, Hammerstingl C, et al. Risk and fate of cerebral embolism after transfemoral aortic valve implantation: a prospective pilot study with diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Journal of the American College of Cardiology*. 2010 Apr 6;55(14):1427–32.
131. Piazza N, Onuma Y, Jesserun E, Kint PP, Maugenest A-M, Anderson RH, et al. Early and persistent intraventricular conduction abnormalities and requirements for pacemaking after percutaneous replacement of the aortic valve. *JACC. Cardiovascular interventions*. 2008 Jun;1(3):310–6.
132. Gutiérrez M, Rodés-Cabau J, Bagur R, Doyle D, DeLarochellière R, Bergeron S, et al. Electrocardiographic changes and clinical outcomes after transapical aortic valve implantation. *American heart journal*. 2009 Aug;158(2):302–8.
133. Fuster V, Rydén LE, Cannom DS, Crijns HJ, Curtis AB, Ellenbogen KA, et al. 2011 ACCF/AHA/HRS focused updates incorporated into the ACC/AHA/ESC 2006 Guidelines for the management of patients with atrial fibrillation: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidel. *Journal of the American College of Cardiology*. 2011 Mar 15;57(11):e101–98.
134. Douglas PS, Garcia MJ, Haines DE, Lai WW, Manning WJ, Patel AR, et al. ACCF/ASE/AHA/ASNC/HFSA/HRS/SCAI/SCCM/SCCT/SCMR 2011 Appropriate Use Criteria for Echocardiography. A Report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, American Society of Echocardiography, American Heart Associat. *Journal of the American College of Cardiology*. 2011 Mar 1;57(9):1126–66.
135. Vahanian A, Himbert D, Brochet E, Depoix J-P, Iung B, Nataf P. Transcatheter aortic valve implantation: our vision of the future. *Archives of cardiovascular diseases*. Elsevier Masson SAS; 2012 Mar;105(3):181–6.
136. Walther T, Kempfert J, Rastan A, Borger MA, Linke A, Ender J, et al. Transapical aortic valve implantation at 3 years. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2012 Feb;143(2):326–31.