



Avaliação da Área Valvar Aórtica Combinando Ecocardiografia e Ressonância Magnética

Assessment of Aortic Valve Area Combining Echocardiography and Magnetic Resonance Imaging

Werner Nickl¹, Reiner Füh², Jan Smettan², Till Köhler², Mark Lankisch², Frank Kramer³, Thomas Krahn³, Michael Coll Barroso¹, Rolf Michael Klein⁴, Wilfried Dinh^{1,2}

CoroVital, Institute for Sports Medicine, Wuppertal¹; Department of Cardiology, Witten/Herdecke University, HELIOS Klinikum Wuppertal²; Global Biomarker Research, Bayer Schering Pharma, Wuppertal³; Augusta Hospital Düsseldorf, Department of Cardiology, Düsseldorf, Germany⁴

Resumo

Fundamento: A ecocardiografia transtorácica (ETT) é rotineiramente utilizada para calcular a área da valva aórtica (AVA) pela equação de continuidade (EC). No entanto, a medida exata das vias de saída do ventrículo esquerdo (VSVE) pode ser difícil e a aceleração do fluxo no VSVE pode levar a erro de cálculo da AVA.

Objetivo: O objetivo do nosso estudo foi comparar as medições da AVA por ETT padrão, ressonância magnética cardíaca (RM) e uma abordagem híbrida que combina as duas técnicas.

Métodos: A AVA foi calculada em 38 pacientes (idade 73 ± 9 anos) com a ETT padrão, planimetria cine-RM e uma abordagem híbrida: Método híbrido 1: a medição da VSVE derivada pelo ETT no numerador CE foi substituída pela avaliação de ressonância magnética da VSVE e a AVA foi calculada: $(VSVE_{RM} / VSVE-VTI_{ETT}) / \text{transaórtico-VTI}_{ETT}$; Método 2: Substituímos o VS no numerador pelo VS derivado pela RM e calculamos a $AVA = VS_{RM} / \text{transaórtico-VTI}_{ETT}$.

Resultados: A média de AVA obtida pela ETT foi $0,86 \text{ cm}^2 \pm 0,23 \text{ cm}^2$ e $0,83 \text{ cm}^2 \pm 0,3 \text{ cm}^2$ pela RM-planimetria, respectivamente. A diferença média absoluta da AVA foi de $0,03 \text{ cm}^2$ para a RM versus planimetria-ressonância magnética. A AVA calculada com o método 1 e o método 2 foi de $1,23 \text{ cm}^2 \pm 0,4 \text{ cm}^2$ e $0,92 \text{ cm}^2 \pm 0,32 \text{ cm}^2$, respectivamente. A diferença média absoluta entre a ETT e os métodos 1 e 2 foi de $0,37 \text{ cm}^2$ e $0,06 \text{ cm}^2$, respectivamente ($p < 0,001$).

Conclusão: A RM-planimetria da AVA e o método híbrido 2 são precisos e demonstraram boa consistência com as medições padrão obtidas pela ETT. Portanto, o método híbrido 2 é uma alternativa razoável na eventualidade de janelas acústicas ruins ou em caso de acelerações de fluxo VSVE que limitem a precisão da ETT, particularmente em pacientes com alto risco de um estudo hemodinâmico invasivo. (Arq Bras Cardiol. 2011; [online].ahead print, PP.0-0)

Palavras-chave: Estenose da valva aórtica, ecocardiografia, espectroscopia de ressonância magnética.

Abstract

Background: Transthoracic echocardiography (TTE) is routinely used to calculate aortic valve area (AVA) by continuity equation (CE). However, accurate measurement of the left ventricular outflow tract (LVOT) can be difficult and flow acceleration in the LVOT may lead to miscalculation of the AVA.

Objective: The aim of our study was to compare AVA measurements by standard TTE, cardiac magnetic resonance imaging (MRI) and a hybrid approach combining both techniques.

Methods: AVA was calculated in 38 patients (age 73 ± 9 years) with standard TTE, cine-MRI planimetry and a hybrid approach: Hybrid Method 1: TTE-derived LVOT measurement in the CE numerator was replaced by the MRI assessment of the LVOT and AVA was calculated: $(LVOT_{MRI} / LVOT-VTI_{TTE}) / \text{transaortic-VTI}_{TTE}$. Method 2: We replaced the SV in the numerator by the MRI-derived SV and calculated $AVA = SV_{MRI} / \text{transaortic-VTI}_{TTE}$.

Results: Mean AVA derived by TTE was $0.86 \text{ cm}^2 \pm 0.23 \text{ cm}^2$ and $0.83 \text{ cm}^2 \pm 0.3 \text{ cm}^2$ by MRI- planimetry, respectively. The mean absolute difference in AVA was 0.03 cm^2 for TTE vs. MRI planimetry. AVA calculated with method 1 and method 2 was $1.23 \text{ cm}^2 \pm 0.4 \text{ cm}^2$ and $0.92 \text{ cm}^2 \pm 0.32 \text{ cm}^2$, respectively. The mean absolute difference between TTE and method 1 and method 2 was 0.37 cm^2 and 0.06 cm^2 , respectively ($p < 0.001$).

Conclusion: MRI-planimetry of AVA and hybrid method 2 are accurate and showed a good agreement with standard TTE measurements. Therefore, hybrid method 1 is a reasonable alternative if poor acoustic windows or LVOT flow accelerations limit the accuracy of TTE, particularly in patients at high risk for an invasive hemodynamic study. (Arq Bras Cardiol. 2011; [online].ahead print, PP.0-0)

Keywords: Aortic valve stenosis; echocardiography; magnetic resonance spectroscopy.

Full texts in English - <http://www.arquivosonline.com.br>

Correspondência: Wilfried Dinh •

Arrenberger Street, 20 – 42113 – Wuppertal, Germany
E-mail: wilfried.dinh@googlemail.com, wilfried.dinh@gmx.de
Artigo recebido em 24/06/11, revisado recebido em 05/09/11; aceito em 28/09/11

Introdução

Decisões terapêuticas na estenose aórtica (EA) se baseiam nos sintomas específicos da doença e da gravidade hemodinâmica medida utilizando a área da valva aórtica (AVA). Assim, é obrigatória uma avaliação precisa dessas duas questões. O ecocardiograma transtorácico (ETT) com interrogação de Doppler da válvula aórtica serve como a base do diagnóstico^{1,2}. Os parâmetros estabelecidos nas diretrizes em vigor¹ para a classificação da gravidade da EA são $AVA \leq 1,0 \text{ cm}^2$, com gradiente de pressão médio $\geq 40 \text{ mmHg}$ (Pmédia), e velocidade de pico de fluxo $\geq 400 \text{ cm/s}$ (Vmax). Em pacientes com fração de ejeção ventricular esquerda normal (FE), esses parâmetros devem permitir uma classificação confiável da gravidade da EA como leve, moderada ou grave. Na prática clínica, um bom estudo ETT pode fornecer todos os parâmetros necessários para avaliar a gravidade da estenose.

No entanto, o cálculo da AVA obtido pelo Doppler usando a equação de continuidade (EC) pode ser difícil, devido às más condições ecocardiográficas, como janela acústica limitada, calcificações pesadas da aceleração do fluxo da válvula aórtica ou VSVE, sendo esta resultante de uma protuberância septal, muito comum em casos de EA. Quando esses fatores prejudicam uma quantificação apropriada da área do orifício, temos que confiar em métodos alternativos, tal como a planimetria transesofágica da AVA, em substituição ao volume sistólico obtido pelo Doppler (VS) na EC pelo cateter de Swan-Ganz medido pelo VS ou quantificação invasiva por cateterismo cardíaco, aplicando a fórmula de Gorlin³. No entanto, a natureza invasiva e o aumento do risco de um AVC⁴ com cateterização retrógrada da válvula aórtica (VA) limitam seu uso clínico. Assim, ainda há necessidade de uma abordagem alternativa para a EC padrão e procedimentos invasivos em pacientes selecionados. A ressonância magnética (RM) cardiovascular é uma importante ferramenta não invasiva para o diagnóstico e tratamento de pacientes com doenças cardiovasculares. Medições de circulação sanguínea e volume de fluxo qualificam a RM como uma técnica ideal para a avaliação da função cardíaca e volume cardíaco. Portanto, o objetivo do nosso estudo foi comparar as medições da AVA por ETT padrão, ressonância magnética cardíaca (RM) e uma abordagem híbrida que combina as duas técnicas.

Métodos

Pacientes

Uma coorte de 38 pacientes consecutivos encaminhados ao Departamento de Cardiologia com diagnóstico de EA moderada a grave foi incluída no nosso estudo. O protocolo de estudo foi aprovado pelo comitê de ética regional. Os critérios de exclusão foram doença da válvula mitral concomitante, baixo gradiente de EA grave, $FE < 35\%$, miocardiopatia hipertrófica obstrutiva, hipertensão não controlada, arritmias graves, e os critérios gerais de exclusão para ressonância magnética.

Ecocardiografia transtorácica

Todos os pacientes foram submetidos à ecocardiografia transtorácica utilizando as técnicas de Doppler

bidimensional, onda contínua, onda pulsada, e em cores (Vingmed Vivid 7, General Electric, Milwaukee, Wisconsin). A FEVE foi quantificada de acordo com o método de Simpson. As dimensões do VE e da massa muscular do ventrículo esquerdo (MVE) foram medidas no corte paraesternal eixo longo de acordo com as diretrizes da Sociedade Americana de Ecocardiografia² e indexados para a área de superfície corporal (ASC). A avaliação da EA pelo Doppler incluiu medições de Pmédio, Pmáx e Vmáx. A AVA foi calculada por meio da EC ($AVA = ([VSVE_{\text{diâmetro}}/2])^2 * \pi * [VSVE\text{-VTI}/\text{transaórtico-VTI}]$) e indexada para a área de superfície corporal. A área da válvula aórtica ajustada pela recuperação da pressão (ou seja, pelo índice de perda de energia - IPE) foi calculada por uma fórmula previamente validada⁵. EA grave foi definida como $AVA < 1,0 \text{ cm}^2$ com Pmédia $\geq 40 \text{ mmHg}$. A análise da imagem da velocidade e do *strain* bidimensional pelo método do Doppler tecidual foi realizada como descrito previamente⁶.

Ressonância magnética

Utilizou-se um aparelho de ressonância Achieva de 1,5 tesla (Philips Medical Systems, Holanda) equipado com bobina de sinergia cardíaca de 5 elementos. Foram adquiridas imagens de cinecoronariografia com precessão livre no estado estacionário (SSFP) em apneia (TE 3,43, TR 1,72). As imagens foram avaliadas com o *software cmr42 research edition toolkit (circle cardiovascular imaging, Calgary, Canadá)* combinando cortes eixo longo e curto. Estruturas não miocárdicas e músculos papilares foram cuidadosamente excluídos e os bordos endocárdicos e epicárdicos foram delineados manualmente. Os volumes sistólicos finais e diastólicos finais foram calculados pelo *software*. A planimetria da AVA foi realizada na fase cardíaca em que a área de abertura máxima das válvulas foi observada. Foram tiradas vistas de três câmaras e vistas da VSVE por meio de cinecoronariografia utilizando sequências *fast-field echo* (FFE). A área planimétrica da área transversal da VSVE ($VSVE_{AT}$) foi medida pela área sistólica média. Além disso, o diâmetro do VSVE foi medido na vista de três câmaras (como normalmente é feito com a ETT), e a área da VSVE foi calculada de acordo com a fórmula $VSVE_{AT} = (VSVE_{\text{diâmetro}}/2)^2 * \pi$. As medições de velocidade de ressonância magnética na técnica de contraste de fase da válvula aórtica e da VSVE foram realizadas como descrito anteriormente⁷.

Abordagem híbrida

Método 1: O valor de $VSVE_{AT}$ determinado pela ecocardiografia bidimensional no numerador da EC foi substituído pela planimetria de RM da VSVE, calculando-se assim a $AVA = (VSVE_{AT} \text{ RM} * VSVE - \text{VTI ECG}) / \text{transaórtico - VTI ECG}$.

Método 2: O numerador (volume sistólico, VS) da EC foi determinado por ressonância magnética e o denominador (tempo integral da velocidade através da válvula aórtica) foi medido por ecocardiografia. Calculamos a $AVA = \text{RM do volume sistólico} / \text{VTI transaórtico}$ (ecocardiografia).

Análise estatística

Todas as análises foram realizadas utilizando *software* estatístico SPSS (SPSS 17.0, Chicago, IL). Os dados são apresentados como média \pm DP, a menos que especificado de outra forma. Um valor de $P < 0,05$ foi considerado estatisticamente significativo e ajustado para comparações múltiplas utilizando o ajuste de Bonferroni. A comparação entre dois ou mais grupos foi avaliada pela análise de variância monofatorial (ANOVA) ou pelo teste *t*, quando apropriado.

Casos em que não foram alcançadas condições de teste de normalidade e/ou variância igual, utilizou-se o teste de classificação de Kruskal-Wallis. Os coeficientes de correlação linear de Pearson foram calculados para as variáveis contínuas. Modelos de regressão múltipla variável *stepwise* foram construídos, incluindo a variável mais preditiva para as variáveis dependentes.

Resultados

População de estudo

Um total de 38 pacientes com EA moderada a grave (16 mulheres, 22 homens, idade média 73 ± 9 anos) foi incluído

no estudo. A demografia basal, características clínicas e principais medidas ecocardiográficas e de RM são destacadas na Tabela 1a. Doença arterial coronária (DAC) concomitante esteve presente em 66% dos pacientes.

Ecocardiograma

De acordo com a AVA, 26 (68%) pacientes foram classificados como tendo estenose aórtica grave (índice da AVA $< 1,0 \text{ cm}^2$) e 12 indivíduos (32%) foram classificados como tendo EA moderada, respectivamente. A AVA variou de $0,43\text{-}1,35 \text{ cm}^2$ (média de $0,86 \pm 0,23 \text{ cm}^2$, com índice médio de $0,47 \pm 0,12 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, Tabela 1b). O gradiente de pressão média foi de $45 \pm 18 \text{ mmHg}$, e $V_{\text{máx}}$ foi de $434 \pm 71 \text{ cm/s}$. A média de fração de ejeção do ventrículo esquerdo (FEVE) foi de $64 \pm 12\%$. A $VSVE_{\text{AT}}$ variou de $3,1\text{-}4,9 \text{ cm}^2$ (média de $3,62 \pm 0,62 \text{ cm}^2$) e o diâmetro da VSVE, de $2,0\text{-}2,5 \text{ cm}$ (média de $2,14 \pm 0,1818 \text{ cm}^2$). O volume sistólico médio (VS), respectivamente, foi de $80 \pm 15 \text{ ml/batimento}$.

Ressonância magnética

Todos os exames foram diagnósticos e bem tolerados pelos pacientes. Não houve complicações durante nenhuma das

Tabela 1- a) Dados clínicos e demográficos; b) Medições ecocardiográficas e de RM em indivíduos com estenose da valva aórtica

| Dados demográficos Variável | n = 38 | Ecocardiograma/RM Variável | n = 38 |
|--|-----------------|---|-----------------|
| Idade (média \pm DP) | 73 ± 9 | $V_{\text{máx}}$ (cm/s) | 434 ± 71 |
| Mulheres (n / %) | 16/42 | $P_{\text{máx}}$ (mmHg) | 77 ± 26 |
| DAC (n / %) | 25/66 | $P_{\text{média}}$ (mmHg) | 45 ± 18 |
| H de IM (n / %) | 4/10 | AVA (cm^2) | $0,86 \pm 0,23$ |
| H de revascularização miocárdica (n / %) | 2/5 | Índice da AVA ($\text{cm}^2/\text{m}^2\text{ASC}$) | $0,47 \pm 0,12$ |
| Diabetes melito (n / %) | 13/34 | ELI ($\text{cm}^2/\text{m}^2 \text{BSA}$, média \pm DP) | $0,54 \pm 0,16$ |
| Hipertensão arterial (n / %) | 33/87 | E/A | $1,1 \pm 0,8$ |
| Hiperlipidemia (n / %) | 20/53 | $S_{\text{máx}}$ (cm/s) | $4,8 \pm 1,3$ |
| Tabagismo (n / %) | 6/16 | E' (cm/s) | $4,5 \pm 1,2$ |
| Inibidor da ECA (n / %) | 26/66 | E/E' (média \pm DP) | $20,5 \pm 8,6$ |
| Betabloqueadores (n / %) | 29/76 | DC (ECG, l/min) | $5,0 \pm 2,1$ |
| Estatinas (n / %) | 19/50 | VS (RM, ml/batimento) | 86 ± 22 |
| CRP (mg/dl) | 0,94 | VS (ECG, ml/batimento) | 80 ± 15 |
| Hemoglobina (g/dL) | $13,3 \pm 1,6$ | FE (ECG, %) | 64 ± 12 |
| Creatinina (mg/dl) | 1,08 | FE (RM, %) | 68 ± 28 |
| Pressão arterial (mmHg) | 143/77 | MVE (ECG, $\text{g}/\text{m}^2 \text{AC}$) | 121 ± 36 |
| Euroscore (%) | 11,1 | SLG basal (%) | $-15,2 \pm 3,6$ |
| Euroscore aditivo | $7,1 \pm 0,3$ | Raiz da aorta (mm) | $31 \pm 3,1$ |
| NYHA | $2,61 \pm 0,97$ | Diâmetro da VSVE (RM, cm) | $2,4 \pm 0,5$ |
| NT-proBNP (pg/ml) | 2939 ± 4211 | Diâmetro da VSVE (ECG, cm) | $2,1 \pm 0,18$ |

DAC - doença arterial coronária; H - histórico de; MVE - índice de massa muscular ventricular esquerda; IM - infarto do miocárdio; DP - desvio-padrão; AVA - área da valva aórtica; SVA - substituição da válvula aórtica; ASC - área de superfície corporal; DC - débito cardíaco; IPE - índice de perda de energia; FE - fração de ejeção; SLG - strain longitudinal global; VSVE - via de saída do ventrículo esquerdo; MVE - índice de massa ventricular esquerda; RM - ressonância magnética; $S_{\text{máx}}$ - pico da velocidade sistólica pelo Doppler tecidual no anel mitral septal; VS - volume sistólico; As variáveis contínuas são apresentadas como média \pm DP.

investigações. A RM permitiu a planimetria da AVA e da $VSVE_{AT}$, bem como a medida do diâmetro da VSVE em 35 indivíduos. A frequência cardíaca média foi de 65 ± 14 batimentos/min. A AVA média medida pela planimetria foi $0,82 \pm 0,3 \text{ cm}^2$ (índice da AVA $0,46 \pm 0,16 \text{ cm}^2/\text{m}^2$), enquanto a planimetria da $VSVE_{AT}$ variou de $3,0-7,5 \text{ cm}^2$ (média de $5,01 \pm 1,08 \text{ cm}^2$). O diâmetro médio da VSVE medido na vista de três câmaras foi de $2,36 \pm 0,47 \text{ cm}$, e a $VSVE_{AT}$ calculada a partir do diâmetro da VSVE foi de $4,45 \pm 1,63 \text{ cm}^2$, respectivamente. Foi de $86 \pm 22 \text{ ml}$ /batimento o VS médio.

A Tabela 2 mostra uma comparação entre medidas ecocardiográficas e por RM. A $VSVE_{AT}$ calculada a partir do diâmetro da VSVE com técnicas de ressonância magnética mostrou-se significativamente diferente em comparação com a determinação ecocardiográfica padrão da $VSVE_{AT}$ (diferença média de $0,94 \text{ cm}^2 \pm 1,54 \text{ cm}^2$, IC $0,43-1,45$, $p = 0,001$). Da mesma forma, os resultados da medida do diâmetro da VSVE com técnicas de ressonância magnética ou ETT mostraram-se significativamente diferentes (diferença média de $0,22 \pm 0,45 \text{ cm}$, CI $0,07-0,37$, $p = 0,04$). Além disso, a planimetria da $VSVE_{AT}$ usando a ressonância magnética revela uma $VSVE_{AT}$ significativamente maior em comparação com a determinação da ETT (diferença média de $1,39 \pm 0,88 \text{ cm}^2$, IC $1,09-1,67$, $p < 0,001$). Medições do volume de ejeção com base na ressonância magnética e ETT mostraram uma correlação moderada ($r = 0,56$, $p < 0,001$, diferença média de $6,8 \pm 18,6 \text{ ml/b}$, IC $0,7-12,9$, $p = 0,03$).

Comparação da abordagem híbrida com a equação de continuidade padrão

Os resultados para o cálculo da AVA estão resumidos na Tabela 3. Não houve diferença estatisticamente significativa para a AVA média indexada entre a EC padrão e o método híbrido 2 (diferença média de $0,03 \pm 0,11 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, IC = $-0,007-0,069$, $p = 0,11$) e entre a EC padrão e a planimetria

da RM da AVA (diferença média de $0,04 \pm 0,15 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, IC $-0,09-0,012$, $p = 0,14$). Por outro lado, as medições AVA pela abordagem híbrida 1 e EC padrão revelaram uma diferença significativa (diferença média de $0,21 \pm 0,14 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, IC $-0,17-0,25$, $p < 0,001$, Figura 1). A correlação entre a EC padrão e as técnicas híbridas foram significativas (AVA indexada) para o método híbrido 1, para o método 2 e para a planimetria da AVA ($p < 0,001$, Figura 2a-c), respectivamente. Os gráficos de Bland-Altman são mostrados na Figura 3 a-c. A Tabela 4 ilustra a frequência da gravidade da EA pelas diferentes técnicas categorizadas em leve, moderada e grave.

A correlação entre a EC padrão e as técnicas híbridas para a AVA não indexada também foi significativa para o método híbrido 1, 2 e planimetria da AVA ($r = 0,556$, $r = 0,800$ e $r = 0,710$, respectivamente, todos com $p < 0,001$).

Discussão

Em indivíduos com estenose aórtica grave, a equação de continuidade modificada combinando a RM e o ecocardiograma revelou boa consistência, quando comparada à equação de continuidade padrão. A comparação do método híbrido 2 e da planimetria da RM da AVA com a ETT padrão pela análise de Bland Altman mostrou uma diferença média próxima de zero, um diferencial dentro de dois desvios-padrão (DP) e limites de consistência muito semelhantes. Além disso, a grande maioria dos pacientes (92%) foi classificada como tendo EA grave com a EC padrão, método híbrido 2 e planimetria da AVA. Uma vez que a capacidade de identificar indivíduos com EA grave pode ter implicações terapêuticas, esses achados são de grande importância.

O cálculo da AVA por meio de ecocardiografia com Doppler é um padrão amplamente utilizado para a avaliação de estenose da válvula aórtica na prática clínica. A ecocardiografia transtorácica (ETT) desempenha um papel importante na tomada

Tabela 2 - Comparação das medições da VSVE pela ETT e RM

| Medições | Diâmetro da VSVE (cm) | $VSVE_{AT}$ calculada (cm^2) | Planimetria da $VSVE_{AT}$ (cm^2) |
|-------------------------------------|-----------------------|---|--|
| ETT (média \pm DP, cm) | $2,14 \pm 0,18^*$ | $3,62 \pm 0,62^{*+}$ | - |
| RM (média \pm DP, cm^2) | $2,36 \pm 0,47^*$ | $4,45 \pm 1,63^*$ | $5,01 \pm 1,08^*$ |
| Valor de p | *0,004 | #0,001 | +< 0,001 |

AT - área transversal; ETT - ecocardiografia transtorácica; RM - ressonância magnética; VSVE - via de saída do ventrículo esquerdo; DP - desvio padrão.

Tabela 3 - Resultados do cálculo da AVA com base na EC padrão (ETT) e abordagem híbrida

| Medições | AVA EC ETT | AVA EC Método 1 | AVA EC Método 2 | AVA Planimetria da RM |
|--|--------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| AVA (cm^2) | $0,86 \pm 0,23$ | $1,23 \pm 0,41$ | $0,92 \pm 0,32$ | $0,83 \pm 0,30$ |
| Índice da AVA (cm^2/m^2) | $0,47 \pm 0,12^{*1,2,3}$ | $0,68 \pm 0,21^{*1}$ | $0,50 \pm 0,16^{*2}$ | $0,46 \pm 0,16^{*3}$ |
| Valor de p | - | *1<0,001* | *2=0,11 n.s. | *3=0,14 n.s. |

AVA - Área da valva aórtica; EC - equação de continuidade; RM - ressonância magnética; n.s. - não significativo; ETT - ecocardiografia transtorácica; * = significativo $p < 0,05$.

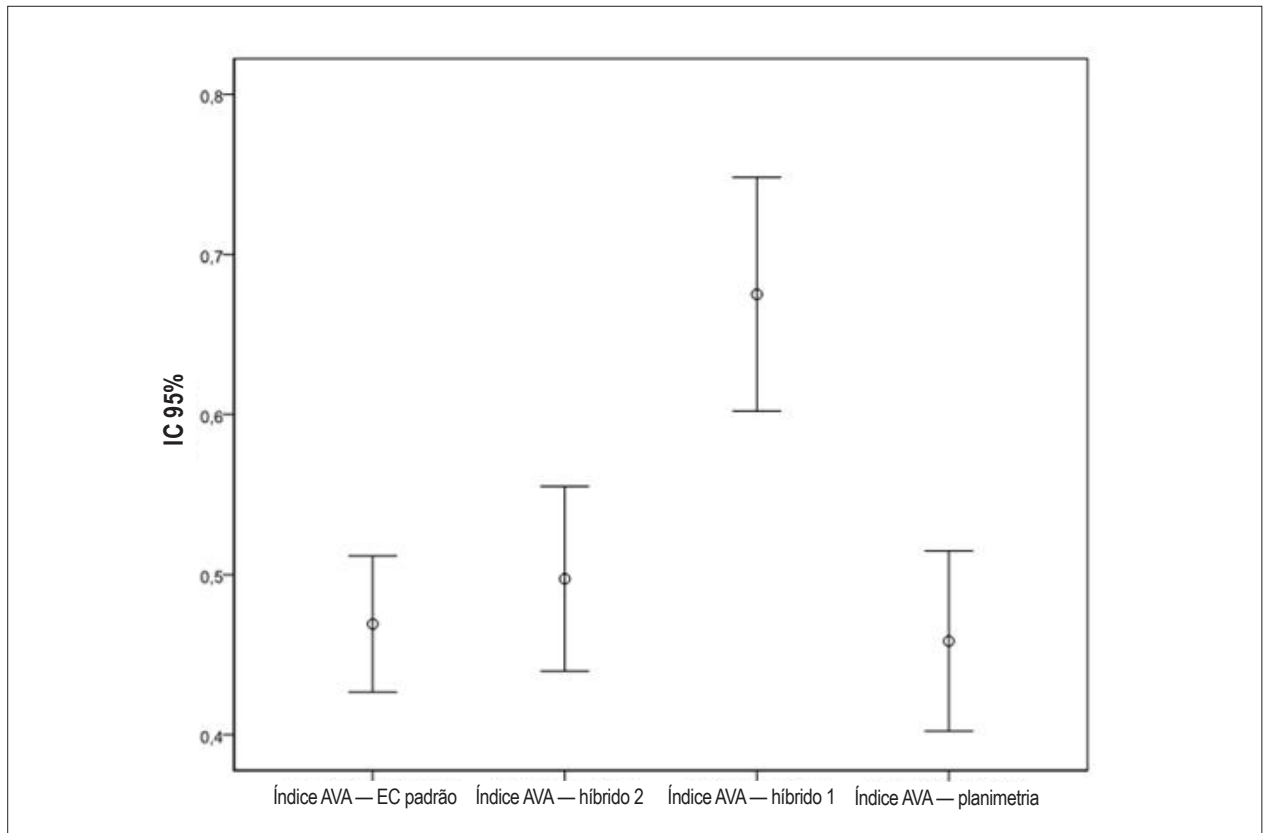


Fig. 1 - Área da válvula aórtica indexada (cm^2/m^2) determinada pela equação de continuidade padrão e técnicas híbridas; O método híbrido 1 revela uma área de válvula aórtica significativamente maior, indexada pela área de superfície corporal (índice AVA) comparada com a equação de continuidade padrão com base no ecocardiograma. Não houve diferença significativa entre a avaliação ecocardiográfica padrão do índice AVA e o método híbrido 2 e a planimetria da AVA, respectivamente. AVA - Área da válvula aórtica.

de decisões, incluindo indicações para cirurgia e agendamento de seguimentos em indivíduos com EA. A ETT não é invasiva, de fácil execução, prontamente disponível e de baixo custo, bem como oferece boa reprodutibilidade intraobservador e interobservador. Portanto, um estudo hemodinâmico completo com cateterismo retrógrado da AV não é mais recomendado se a avaliação não invasiva da gravidade da EA é adequada para avaliar a hemodinâmica da válvula.

O cálculo da área ecocardiográfica da válvula se baseia na EC, que assume que o fluxo (F) em ambos os lados do orifício da válvula aórtica é igual³. O fluxo é definido como a área transversal (AT) multiplicada pela velocidade de fluxo (V). Na válvula aórtica (VA), o fluxo é igual ao volume sistólico (VS). Devido ao fato de que o VS é o produto da área transversal (AT) e integral de velocidade (VTI), a EC pode ser elaborada de forma a produzir: $AVA = (VSVE_{VTI} \times VSVE_{AT}) / AV_{VTI}$, onde $VSVE_{VTI}$ é a integral de velocidade no nível da válvula estenótica e a AT é a área transversal da VSVE.

Na maioria dos estudos ecocardiográficos, a reprodutibilidade da medição da VSVE é suficiente. Todavia, pode ocorrer uma variabilidade significativa⁸. Dentre os possíveis fatores que podem contribuir para erros de medição, destacam-se a qualidade da imagem, calcificações anelares, anéis mitrais não circulares e falha geral na medição real da área. A medida

do diâmetro da VSVE é elevada ao quadrado, portanto, qualquer erro de medição significativo do diâmetro da VSVE também será elevado ao quadrado, produzindo um erro possivelmente inaceitável no cálculo da AVA. Nesse sentido, é imprescindível executar uma medição precisa da VSVE. Estudos anteriores mostraram que a variabilidade média de medições interobservador e intraobservador é de 5% a 8%, resultando em uma variabilidade de área valvar calculada de cerca de $0,15 \text{ cm}^2$ para uma EA limítrofe com uma AVA de $1,0 \text{ cm}^2$. Além disso, a aceleração do fluxo na VSVE pode levar a uma superestimação do VS obtido pelo Doppler e, portanto, deturpação da AVA. Sendo assim, a avaliação da gravidade da EA nem sempre é aparente.

Quando as medidas ecocardiográficas são inconsistentes, uma hemodinâmica invasiva continua sendo o padrão-ouro. No entanto, o ateroma aórtico é um achado comum em indivíduos com EA, sendo uma possível fonte de acidente vascular cerebral isquêmico, principalmente durante o cateterismo cardíaco ou cirurgia⁴. Portanto, é necessária uma alternativa não invasiva, particularmente em pacientes com alto risco de complicações associadas ao procedimento.

Nossos resultados demonstram que a EC padrão pode ser modificada quando necessário: a modificação é simples e consiste apenas em substituir o volume sistólico obtido pelo

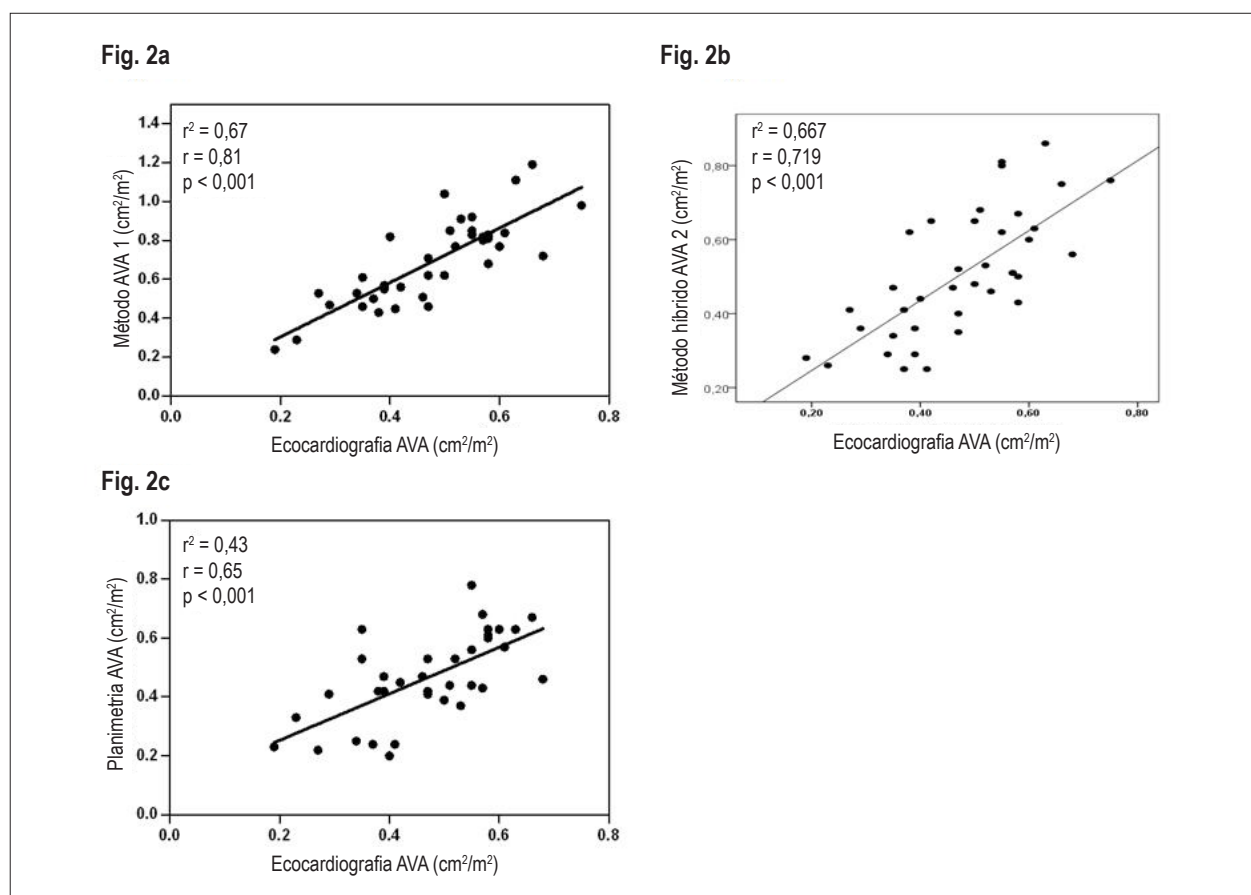


Fig. 2 - Correlação da medição do índice AVA padrão e a abordagem híbrida 1(a), 2(b) e planimetria da RM (c).

Fig. 2a - A análise de regressão linear demonstra uma correlação significativa entre o índice da AVA (cm²/m² ASC) obtido pela EC padrão (TTE) e o método híbrido 1.

Fig. 2b - A análise de regressão linear demonstra uma correlação significativa entre o índice da AVA (cm²/m² ASC) obtido pela EC padrão (TTE) e o método híbrido 2.

Fig. 2c - A análise de regressão linear demonstra uma correlação significativa entre o índice da AVA (cm²/m² ASC) obtido pela EC padrão (TTE) e a planimetria da RM.

AVA - área da válvula aórtica; ASC - área de superfície corporal; EC - equação de continuidade; ETT - ecocardiografia transtorácica.

Doppler por uma determinação do volume sistólico pela RM (método híbrido 2). Estudos anteriores demonstraram que a ressonância magnética é um instrumento muito útil para a avaliação do fluxo ventricular, tendo em vista que ela não depende de suposições geométricas, sendo precisa e reprodutível⁹. Por outro lado, a equação ecocardiográfica simplificada de Bernoulli ignora a aceleração do fluxo proximal à estenose, que é uma hipótese aceitável, desde que a velocidade de fluxo transvalvar seja significativamente maior do que a velocidade de fluxo proximal. Contudo, na presença de fluxo acelerado ou estenose menos significativa, a equação simplificada de Bernoulli é menos precisa.

A aceleração de fluxo na VSVE pode afetar o cálculo da AVA, superestimando a AVA real¹⁰. Por outro lado, o cálculo do VS pela RM não é afetado pela aceleração de fluxo na VSVE. Portanto, a substituição do VS na EC pela medição do VS medida pela RM pode ser mais precisa em situações onde haja significativa aceleração do fluxo na VSVE. Por outro lado, os gradientes obtidos pelo Doppler correlacionam-se bem com gradientes de

pressão medidos de forma invasiva como demonstrado no cenário experimental e na prática clínica^{11,12}. Sendo assim, a combinação das medidas de VS pela ressonância magnética com as medidas de VTI através da válvula aórtica pela ecocardiografia na abordagem híbrida 2 se beneficia dos dois métodos. Com isso, produzem-se resultados com diferenças muito pequenas em comparação com a EC padrão e identifica-se com precisão a grande maioria das EA graves. A utilização da abordagem híbrida é uma forma de dispensar a necessidade de uma medição precisa do diâmetro e do fluxo da VSVE e, portanto, pode ser uma alternativa aceitável quando a medição da VSVE não é possível.

Além disso, a AVA obtida pela planimetria por meio da RM é precisa e correlaciona-se bem com a obtida pelo ecocardiograma. Esses achados são compatíveis com a literatura publicada sobre esse assunto¹³. Apesar de atrativa, a planimetria direta da AVA por meio da ressonância magnética não deixa de ser um método tecnicamente exigente. Ela exige a mensuração precisa nas extremidades da válvula durante sua abertura máxima. Essa tarefa pode

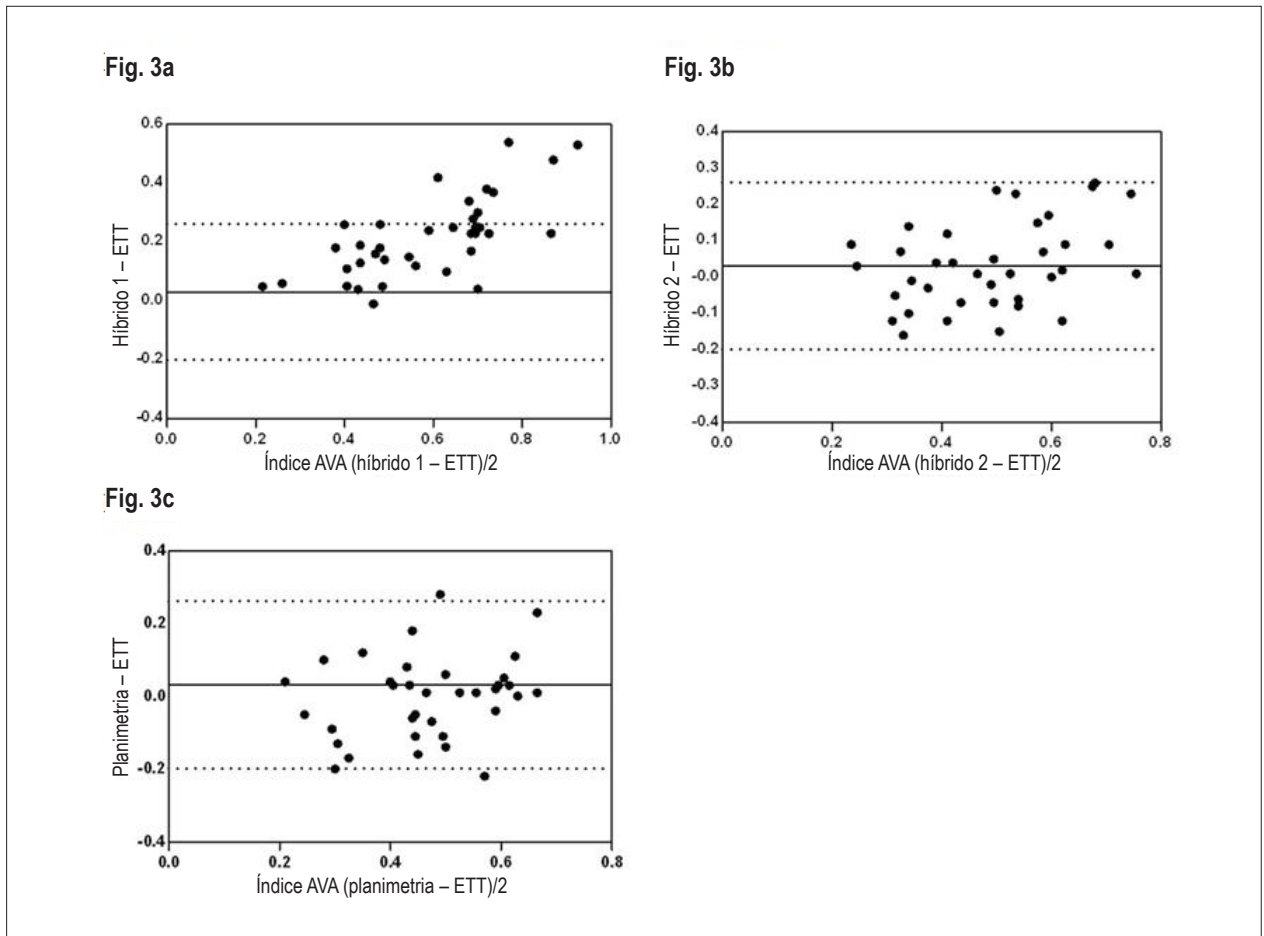


Fig. 3 - Análises de Bland-Altman ilustrando a concordância entre a avaliação padrão da AVA e a abordagem híbrida 1(a), 2(b) e a planimetria da RM(c).

Fig. 3a - Concordância entre a AVA medida pela EC padrão (ETT) indexada para ASC (cm^2/m^2) e método híbrido 1. A linha contínua representa a diferença média, e as linhas pontilhadas representam os limites de concordância.

Fig. 3b - Concordância entre a AVA medida pela EC padrão (ETT) indexada para ASC (cm^2/m^2) e método híbrido 2. A linha contínua representa a diferença média, e as linhas pontilhadas representam os limites de concordância.

Fig. 3c - Concordância entre a AVA medida pela EC padrão (ETT) indexada para ASC (cm^2/m^2) e planimetria da RM da AVA. A linha contínua representa a diferença média e as linhas pontilhadas representam os limites de concordância.

AVA - área da valva aórtica; ASC - área de superfície corporal; EC - equação de continuidade; ETT - ecocardiografia transtorácica.

Tabela 4 - Frequência da severidade da EA por 4 técnicas de imagem diferentes

| Classificação | ETT | Método Híbrido 1 | Método Híbrido 2 | AVA Planimetria da RM |
|-------------------------------------|-----|------------------|------------------|-----------------------|
| Leve ($> 1,5 \text{ cm}^2$) | - | 26% | 3% | - |
| Moderada ($1,0-1,5 \text{ cm}^2$) | 34% | 40% | 34% | 32% |
| Grave ($< 1,0 \text{ cm}^2$) | 66% | 34% | 63% | 68% |

Os valores são apresentados como porcentagem. A estenose aórtica é categorizada como leve, moderada e grave com base na área da valva aórtica (cm^2). AVA - Área da valva aórtica; ETT - Ecocardiografia transtorácica; RM - Ressonância magnética

ser um desafio porque pode haver calcificações nas extremidades, levando a artefatos de imagem, podendo ser difícil obter uma visualização precisa da válvula aórtica devido a efeitos de volume parcial. Além disso, a planimetria pela ressonância magnética representa uma medição de momento único da AVA em sístole máxima, enquanto que

a EC é medida como a média de todo o período de ejeção. A AVA, contudo, pode variar consideravelmente durante o período de ejeção¹⁴.

Em oposição à planimetria e ao método híbrido 2, o método híbrido 1 não foi capaz de demonstrar boa

concordância em comparação com a EC padrão. As imagens de RM do nosso estudo revelam que a geometria da VSVE parece mais elíptica do que circular, portanto uma $VSVE_{AT}$ maior foi determinada. A substituição da medição da $VSVE_{AT}$ na EC padrão com a planimetria pela RM da VSVE faz permanecer a dúvida sobre se a EC padrão permite um cálculo preciso da AVA, porque a EC padrão assume uma forma circular da $VSVE_{AT}$. Nesse sentido, independentemente da VSVE ser obtida pelo ecocardiograma ou pela RM, essas duas abordagens não podem ser usadas de modo intercalados.

Em geral, apesar do fato de que a ressonância magnética supera algumas das limitações metodológicas da ecocardiografia mencionadas acima, parece improvável que a ressonância magnética substitua a ETT como a modalidade de imagem preferencial na avaliação de pacientes com estenose aórtica. No entanto, nossos dados estão em concordância com estudos publicados anteriormente, sugerindo que uma abordagem híbrida que combina ETT e RM como uma promissora ferramenta alternativa de diagnóstico para avaliar a gravidade da EA de forma não invasiva, quando o ecocardiograma é inconclusivo.

Limitações

A coorte de 38 indivíduos incluídos neste estudo-piloto é relativamente pequena e não permite realizar uma análise subgrupo. Portanto, devemos manter a cautela na interpretação destes dados, considerando o número relativamente pequeno de pacientes. No entanto, esses resultados preliminares nos incentivaram a investigar esta questão em um grupo de estudo maior. Além disso, apenas uma pequena parcela dos pacientes foi submetida

à medição invasiva da AVA pelo cateterismo cardíaco. Portanto, os resultados que comparam a EC padrão e a abordagem híbrida devem ser analisados com cautela, porque há um “padrão-ouro” para determinar a gravidade da EA, ou seja, novos métodos devem ser julgados. No entanto, a medição da EA de forma invasiva se baseia na “fórmula de Gorlin”, que reconhecidamente apresenta muitas limitações¹⁵, ao passo que o método da equação de continuidade para o cálculo da AVA tem a vantagem de ser não invasivo e de não conter uma constante empírica¹⁶.

Outra limitação do nosso estudo foi uma FE bem preservada na maioria dos pacientes incluídos no estudo ($64 \pm 12\%$). No entanto, principalmente em pacientes com FE severamente prejudicada (baixo fluxo, estenose aórtica de baixo gradiente), a avaliação precisa da AVA usando a técnica de ETT pelo Doppler é desafiada pelas limitações dos parâmetros de fluxo pelo Doppler¹⁷.

Conclusões

O cálculo da AVA por uma abordagem não invasiva híbrida entre ecocardiograma e ressonância magnética é uma boa alternativa para a EC padrão e se correlaciona bem com o método padrão. A abordagem híbrida é mais demorada, não estando amplamente disponível e mais dispendiosa do que a EC padrão e certamente não irá substituir a ETT na rotina clínica. No entanto, este método poderia ser usado como uma alternativa não invasiva em pacientes nos quais os resultados ecocardiográficos são inconclusivos ou em quem os resultados conflitantes requerem esclarecimentos adicionais, particularmente em pacientes com alto risco para um estudo hemodinâmico invasivo.

Referências

1. Bonow RO, Carabello BA, Chatterjee K, de Leon AC Jr, Faxon DP, Freed MD, et al. 2008 Focused update incorporated into the ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 1998 Guidelines for the Management of Patients With Valvular Heart Disease): endorsed by the Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons. *Circulation*. 2008;118(15):e523-661.
2. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA, et al. Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr*. 2005;18(12):1440-63.
3. Taylor R. Evolution of the continuity equation in the Doppler echocardiographic assessment of the severity of valvular aortic stenosis. *J Am Soc Echocardiogr*. 1990;3(4):326-30.
4. Omran H, Schmidt H, Hackenbroch M, Illien S, Bernhardt P, von der Recke G, et al. Silent and apparent cerebral embolism after retrograde catheterisation of the aortic valve in valvular stenosis: a prospective, randomised study. *Lancet*. 2003;361(9365):1241-6.
5. García D, Pibarot P, Dumesnil JG, Sakr F, Durand LG. Assessment of aortic valve stenosis severity: a new index based on the energy loss concept. *Circulation*. 2000;101(7):765-71.
6. Bottini PB, Carr AA, Prisant LM, Flickinger FW, Allison JD, Gottdiener JS. Magnetic resonance imaging compared to echocardiography to assess left ventricular mass in the hypertensive patient. *Am J Hypertens*. 1995;8(3):221-8.
7. Caruthers SD, Lin SJ, Brown P, Watkins MP, Williams TA, Lehr KA, et al. Practical value of cardiac magnetic resonance imaging for clinical quantification of aortic valve stenosis: comparison with echocardiography. *Circulation*. 2003;108(18):2236-43.
8. Myreng Y, Molstad P, Endresen K, Ihlen H. Reproducibility of echocardiographic estimates of the area of stenosed aortic valves using the continuity equation. *Int J Cardiol*. 1990;26(3):349-54.
9. Pennell DJ. Ventricular volume and mass by CMR. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2002;4(4):507-13.
10. Zhou YQ, Faerstrand S, Birkeland S, Matre K, Koller ME, Husby P. The velocity distribution in the aortic annulus at different times during systole is mainly determined by the pattern of flow convergence in the left ventricular outflow tract—an experimental study using Doppler colour flow mapping. *Clin Physiol*. 1995;15(6):597-610.

11. Callahan MJ, Tajik AJ, Su-Fan Q, Bove AA. Validation of instantaneous pressure gradients measured by continuous-wave Doppler in experimentally induced aortic stenosis. *Am J Cardiol.* 1985;56(15):989-93.
12. Currie PJ, Seward JB, Reeder GS, Vlietstra RE, Bresnahan DR, Bresnahan JF, et al. Continuous-wave Doppler echocardiographic assessment of severity of calcific aortic stenosis: a simultaneous Doppler-catheter correlative study in 100 adult patients. *Circulation.* 1985;71(6):1162-9.
13. John AS, Dill T, Brandt RR, Rau M, Ricken W, Bachmann G, et al. Magnetic resonance to assess the aortic valve area in aortic stenosis: how does it compare to current diagnostic standards? *J Am Coll Cardiol.* 2003;42(3):519-26.
14. Arsenault M, Masani N, Magni G, Yao J, Deras L, Pandian N. Variation of anatomic valve area during ejection in patients with valvular aortic stenosis evaluated by two-dimensional echocardiographic planimetry: comparison with traditional Doppler data. *J Am Coll Cardiol.* 1998;32(7):1931-7.
15. Segal J, Lerner DJ, Miller DC, Mitchell RS, Alderman EA, Popp RL. When should Doppler-determined valve area be better than the Gorlin formula?: variation in hydraulic constants in low flow states. *J Am Coll Cardiol.* 1987;9(6):1294-305.
16. Grayburn PA, Smith MD, Harrison MR, Gurley JC, DeMaria AN. Pivotal role of aortic valve area calculation by the continuity equation for Doppler assessment of aortic stenosis in patients with combined aortic stenosis and regurgitation. *Am J Cardiol.* 1988;61(4):376-81.
17. Berglund H, Kim CJ, Nishioka T, Luo H, Siegel RJ. Influence of ejection fraction and valvular regurgitation on the accuracy of aortic valve area determination. *Echocardiography.* 2001;18(1):65-72.