

Evaluación del Área Valvular Aórtica Combinando Ecocardiografía y Resonancia Magnética

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

Resumen

Fundamento: La ecocardiografía transtorácica (ETT) es habitualmente utilizada para calcular el área de la válvula aórtica (AVA) por la ecuación de continuidad (EC). Mientras tanto, la medida exacta de las vías de salida del ventrículo izquierdo (VSVI) puede ser difícil y la aceleración del flujo en el VSVI puede llevar a error de cálculo del AVA.

Objetivo: El objetivo de nuestro estudio fue comparar las mediciones del AVA por ETT estándar, resonancia magnética cardíaca (RM) y un abordaje híbrido que combina las dos técnicas.

Métodos: AEI AVA fue calculada en 38 pacientes (edad 73 ± 9 años) con la ETT estándar, planimetría cine-RM y un abordaje híbrido: Método híbrido 1: la medición de la VSVI derivada por el ETT en el numerador CE fue substituida por la evaluación de resonancia magnética de la VSVI y el AVA fue calculada: $(VSVI_{RM} / *VSVI-VTI_{ETT}) / \text{transaórtico-VTI}_{ETT}$; Método 2: Substituimos el VS en el numerador por el VS derivado por la RM y calculamos el AVA = $VS_{RM} / \text{transaórtico-VTI}_{ETT}$.

Resultados: La media de AVA obtenida por la ETT fue $0,86 \text{ cm}^2 \pm 0,23 \text{ cm}^2$ y $0,83 \text{ cm}^2 \pm 0,3 \text{ cm}^2$ por la RM-planimetría, respectivamente. La diferencia media absoluta del AVA fue de $0,03 \text{ cm}^2$ para la RM versus planimetría-resonancia magnética. El AVA calculada con el método 1 y el método 2 fue de $1,23 \text{ cm}^2 \pm 0,4 \text{ cm}^2$ y $0,92 \text{ cm}^2 \pm 0,32 \text{ cm}^2$, respectivamente. La diferencia media absoluta entre la ETT y los métodos 1 y 2 fue de $0,37 \text{ cm}^2$ y $0,06 \text{ cm}^2$, respectivamente ($p < 0,001$).

Conclusion: La RM-planimetría del AVA y el método híbrido 2 son precisos y demostraron buena consistencia con las mediciones estándar obtenidas por la ETT. Por lo tanto, el método híbrido 2 es una alternativa razonable en la eventualidad de ventanas acústicas malas o en caso de aceleraciones de flujo VSVI que limiten la precisión de la ETT, particularmente en pacientes con alto riesgo de un estudio hemodinámico invasivo. (Arq Bras Cardiol 2012;98(3):234-242)

Palabras clave: Estenosis de la válvula aórtica, ecocardiografía, espectroscopía de resonancia magnética.

Introducción

Decisiones terapéuticas en la estenosis aórtica (EA) se basan en los síntomas específicos de la enfermedad y de la gravedad hemodinámica medida utilizando el área de la válvula aórtica (AVA). Así, es obligatoria una evaluación precisa de esas dos cuestiones. El ecocardiograma transtorácico (ETT) con interrogación de Doppler de la válvula aórtica sirve como base del diagnóstico^{1,2}. Los parámetros establecidos en las directrices en vigor¹ para la clasificación de la gravedad de la EA son $AVA \leq 1,0 \text{ cm}^2$, con gradiente de presión medio $\geq 40 \text{ mmHg}$ (Pmedia), y velocidad de pico de flujo $\geq 400 \text{ cm/s}$ (Vmax). En pacientes con fracción de eyección ventricular izquierda normal (FE), esos parámetros deben permitir una clasificación confiable de la gravedad de la EA como leve, moderada o grave. En la práctica

clínica, un buen estudio ETT puede proveer todos los parámetros necesarios para evaluar la gravedad de la estenosis.

Mientras tanto, el cálculo del AVA obtenido por el Doppler usando la ecuación de continuidad (EC) puede ser difícil, debido a las malas condiciones ecocardiográficas, como ventana acústica limitada, calcificaciones pesadas de la aceleración del flujo de la válvula aórtica o VSVI, siendo esta resultante de una protuberancia septal, muy común en casos de EA. Cuando esos factores perjudican una cuantificación apropiada del área del orificio, tenemos que confiar en métodos alternativos, tal como la planimetría transesofágica del AVA, en substitución del volumen sistólico obtenido por el Doppler (VS) en la EC por el catéter de Swan-Ganz medido por el VS o cuantificación invasiva por cateterismo cardíaco, aplicando la fórmula de Gorlin³. Mientras tanto, la naturaleza invasiva y el aumento del riesgo de un ACV⁴ con cateterismo retrógrado de la válvula aórtica (VA) limitan su uso clínico. Así, también hay necesidad de un abordaje alternativo para la EC estándar y procedimientos invasivos en pacientes seleccionados. La resonancia magnética (RM) cardiovascular es una importante herramienta no invasiva

Correspondencia: Wilfried Dinh •

Arrenberger Street, 20 – 42113 – Wuppertal, Germany
E-mail: wilfried.dinh@googlemail.com, wilfried.dinh@gmx.de
Artículo recibido el 24/06/11, revisado recibido el 05/09/11; aceptado el 28/09/11.

para el diagnóstico y tratamiento de pacientes con enfermedades cardiovasculares. Mediciones de circulación sanguínea y volumen de flujo cualifican la RM como una técnica ideal para la evaluación de la función cardíaca y volumen cardíaco. Por lo tanto, el objetivo de nuestro estudio fue comparar las mediciones del AVA por ETT estándar, resonancia magnética cardíaca (RM) y un abordaje híbrido que combina las dos técnicas.

Métodos

Pacientes

Una cohorte de 38 pacientes consecutivos encaminados al Departamento de Cardiología con diagnóstico de EA moderada a grave fue incluida en nuestro estudio. El protocolo de estudio fue aprobado por el Comité de Ética regional. Los criterios de exclusión fueron enfermedad de la válvula mitral concomitante, bajo gradiente de EA grave, FE < 35%, miocardiopatía hipertrófica obstructiva, hipertensión no controlada, arritmias graves, y los criterios generales de exclusión para resonancia magnética.

Ecocardiografía transtorácica

Todos los pacientes fueron sometidos a ecocardiografía transtorácica utilizando las técnicas de Doppler bidimensional, onda continua, onda pulsada, y en colores (Vingmed Vivid 7, General Electric, Milwaukee, Wisconsin). La FEVI fue cuantificada de acuerdo con el método de Simpson. Las dimensiones del VI y de la masa muscular del ventrículo izquierdo (MVI) fueron medidas en el corte paraesternal eje largo de acuerdo con las directrices de la Sociedad Americana de Ecocardiografía² e indexados para el área de superficie corporal (ASC). La evaluación de la EA por el Doppler incluyó mediciones de Pmedio, Pmáx y Vmáx. El AVA fue calculada por medio de la EC ($AVA = (VS_{VI}^{diámetro}/2)^2 * \pi * [VS_{VI} - VTI / \text{transaórtico} - VTI]$) e indexada para el área de superficie corporal. El área de la válvula aórtica ajustada por la recuperación de la presión (o sea, por el índice de pérdida de energía - IPE) fue calculada por una fórmula previamente validada³. EA grave fue definida como $AVA < 1,0 \text{ cm}^2$ con Pmedia $\geq 40 \text{ mmHg}$. El análisis de la imagen de la velocidad y del *strain* bidimensional por el método del Doppler tisular fue realizado como fue descrito previamente⁶.

Resonancia magnética

Se utilizó un aparato de resonancia Achieva de 1,5 tesla (Philips Medical Systems, Holanda) equipado con bobina de sinergia cardíaca de 5 elementos. Fueron adquiridas imágenes de cinecoronariografía con precesión libre en el estado estacionario (SSFP) en apnea (TE 3,43, TR 1,72). Las imágenes fueron evaluadas con el *software cmr42 research edition toolkit (circle cardiovascular imaging, Calgary, Canadá)* combinando cortes eje largo y corto. Estructuras no miocárdicas y músculos papilares fueron cuidadosamente excluidos y los bordes endocárdicos y epicárdicos fueron delineados manualmente. Los volúmenes sistólicos finales y diastólicos finales fueron calculados por el *software*. La planimetría del AVA fue realizada en la fase cardíaca en que el área de apertura máxima de las válvulas fue observada. Fueron tomadas vistas de tres cámaras y vistas de la VSVI por medio de cinecoronariografía utilizando secuencias *fast-field*

echo (FFE). El área planimétrica del área transversal de la VSVI ($VS_{VI_{AT}}$) fue medida por el área sistólica media. Además de eso, el diámetro del VSVI fue medido en la vista de tres cámaras (como normalmente es hecho con la ETT), y área de la VSVI fue calculada de acuerdo con la fórmula $VS_{VI_{AT}} = (VS_{VI}^{diámetro}/2)^2 * \pi$. Las mediciones de velocidad de resonancia magnética en la técnica de contraste de fase de la válvula aórtica y de la VSVI fueron realizadas como es descrito anteriormente⁷.

Abordaje híbrido

Método 1: El valor de $VS_{VI_{AT}}$ determinado por la ecocardiografía bidimensional en el numerador de la EC fue substituido por la planimetría de RM de la VSVI, calculándose así el $AVA = (VS_{VI_{AT}} * VS_{VI} - VTI_{ECG}) / \text{transaórtico} - VTI_{ECG}$.

Método 2: El numerador (volumen sistólico, VS) de la EC fue determinado por resonancia magnética y el denominador (tiempo integral de la velocidad a través de la válvula aórtica) fue medido por ecocardiografía. Calculamos el $AVA = RM$ del volumen sistólico/VTI transaórtico (ecocardiografía).

Análisis estadístico

Todos los análisis fueron realizados utilizando *software* estadístico SPSS (SPSS 17.0, Chicago, IL). Los datos son presentados como media \pm DE, a menos que sea especificado de otra forma. Un valor de $P < 0,05$ fue considerado estadísticamente significativo y ajustado para comparaciones múltiples utilizando el ajuste de Bonferroni. La comparación entre dos o más grupos fue evaluada por el análisis de varianza monofactorial (ANOVA) o por el test *t*, cuando era apropiado.

En los casos en que no fueron alcanzadas condiciones de test de normalidad y/o varianza igual, se utilizó el test de clasificación de Kruskal-Wallis. Los coeficientes de correlación lineal de Pearson fueron calculados para las variables continuas. Modelos de regresión múltiple variable *stepwise* fueron construidos, incluyendo la variable más predictiva para las variables dependientes.

Resultados

Población de estudio

Un total de 38 pacientes con EA moderada a grave (16 mujeres, 22 hombres, edad media 73 ± 9 años) fue incluido en el estudio. La demografía basal, características clínicas y principales medidas ecocardiográficas y de RM son destacadas en la Tabla 1a. Enfermedad arterial coronaria (EAC) concomitante estuvo presente en 66% de los pacientes.

Ecocardiograma

De acuerdo con el AVA, 26 (68%) pacientes fueron clasificados como teniendo estenosis aórtica grave (índice del AVA $< 1,0 \text{ cm}^2$) y 12 individuos (32%) fueron clasificados como teniendo EA moderada, respectivamente. El AVA varió de $0,43\text{-}1,35 \text{ cm}^2$ (media de $0,86 \pm 0,23 \text{ cm}^2$, con índice medio de $0,47 \pm 0,12 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, Tabla 1b). El gradiente de presión media fue de $45 \pm 18 \text{ mmHg}$, y Vmáx fue de $434 \pm 71 \text{ cm/s}$. La media de fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) fue de $64 \pm 12\%$.

Tabla 1 - a) Datos clínicos y demográficos; b) Mediciones ecocardiográficas y de RM en individuos con estenosis de la válvula aórtica

Datos demográficos Variable	n = 38	Ecocardiograma/RM Variable	n = 38
Edad (media ± DE)	73 ± 9	Vmax (cm/s)	434 ± 71
Mujeres (n / %)	16/42	Pmáx (mmHg)	77 ± 26
CAD (n / %)	25/66	Pmedia (mmHg)	45 ± 18
H de IM (n / %)	4/10	AVA (cm ²)	0,86 ± 0,23
H de revascularización miocárdica (n / %)	2/5	Índice del AVA (cm ² /m ² ASC)	0,47 ± 0,12
Diabetes mellitus (n / %)	13/34	ELI (cm ² /m ² BSA, media ± DE)	0,54 ± 0,16
Hipertensión arterial (n / %)	33/87	E/A	1,1 ± 0,8
Hiperlipidemia (n / %)	20/53	Smáx (cm/s)	4,8 ± 1,3
Tabaquismo (n / %)	6/16	E' (cm/s)	4,5 ± 1,2
Inhibidor de la ECA (n / %)	26/66	E/E' (media ± DE)	20,5 ± 8,6
Betabloqueantes (n / %)	29/76	DC (ECG, l/min)	5,0 ± 2,1
Estatinas (n / %)	19/50	VS (RM, ml/latido)	86 ± 22
CRP (mg/dl)	0,94	VS (ECG, ml/latido)	80 ± 15
Hemoglobina (g/dL)	13,3 ± 1,6	FE (ECG, %)	64 ± 12
Creatinina (mg/dl)	1,08	FE (RM, %)	68 ± 28
Presión arterial (mmHg)	143/77	MVI (ECG, g/m ² AC)	121 ± 36
Euroscore (%)	11,1	SLG basal (%)	-15,2 ± 3,6
Euroscore aditivo	7,1 ± 0,3	Raíz de la aorta (mm)	31 ± 3,1
NYHA	2,61 ± 0,97	Diámetro de la VSVI (RM, cm)	2,4 ± 0,5
NT-proBNP (pg/ml)	2939 ± 4211	Diámetro de la VSVI (ECG, cm)	2,1 ± 0,18

EAC - enfermedad arterial coronaria; H - historia de; MVI - índice de masa muscular ventricular izquierda; IM - infarto de miocardio; DE - desvío-estándar; AVA - área de la válvula aórtica; SVA - sustitución de la válvula aórtica; ASC - área de superficie corporal; DC - débito cardíaco; IPE - índice de pérdida de energía; FE - fracción de eyección; SLG - strain longitudinal global; VSVI - vía de salida del ventrículo izquierdo; MVI - índice de masa ventricular izquierda; RM - resonancia magnética; Smáx - pico de la velocidad sistólica por el Doppler tisular en el anillo mitral septal; VS - volumen sistólico; Las variables continuas son presentadas como media ± DE.

La VSVI_{AT} varió de 3,1-4,9 cm² (media de 3,62 ± 0,62 cm²) y el diámetro de la VSVI, de 2,0-2,5 cm (media de 2,14 ± 0,1818 cm). El volumen sistólico medio (VS), respectivamente, fue de 80 ± 15 ml/latido.

Resonancia magnética

Todos los exámenes fueron diagnósticos y bien tolerados por los pacientes. No hubo complicaciones durante ninguna de las investigaciones. La RM permitió la planimetría del AVA y de la VSVI_{AT} así como la medida del diámetro de la VSVI en 35 individuos. La frecuencia cardíaca media fue de 65

± 14 latidos/min. El AVA media medida por la planimetría fue 0,82 ± 0,3 cm² (índice del AVA 0,46 ± 0,16 cm²/m²), mientras que la planimetría de la VSVI_{AT} varió de 3,0-7,5 cm² (media de 5,01 ± 1,08 cm²). El diámetro medio de la VSVI medido en la vista de tres cámaras fue de 2,36 ± 0,47 cm, y la VSVI_{AT} calculada a partir del diámetro de la VSVI fue de 4,45 ± 1,63 cm², respectivamente. Fue de 86 ± 22 ml/latido el VS medio.

La Tabla 2 muestra una comparación entre medidas ecocardiográficas y por RM. La VSVI_{AT} calculada a partir del diámetro de la VSVI con técnicas de resonancia magnética

Tabla 2 - Comparación de las mediciones de la VSVI por la ETT y RM

Mediciones	Diámetro de la VSVI (cm)	VSVI _{AT} calculada (cm ²)	Planimetría de la VSVI _{AT} (cm ²)
ETT (media ± DE, cm)	2,14 ± 0,18*	3,62 ± 0,62**	-
RM (media ± DE, cm ²)	2,36 ± 0,47*	4,45 ± 1,63*	5,01 ± 1,08*
Valor de p	*0,004	#0,001	* < 0,001

AT - área transversal; ETT - ecocardiografía transtorácica; RM - resonancia magnética; VSVI - vía de salida del ventrículo izquierdo; DE - desvío estándar.

se mostró significativamente diferente en comparación con la determinación ecocardiográfica estándar de la $VS_{VI_{AT}}$ (diferencia media de $0,94 \text{ cm}^2 \pm 1,54 \text{ cm}^2$, IC $0,43-1,45$, $p = 0,001$). De la misma forma, los resultados de la medida del diámetro de la VSVI con técnicas de resonancia magnética o ETT se mostraron significativamente diferentes (diferencia media de $0,22 \pm 0,45 \text{ cm}$, CI $0,07-0,37$, $p = 0,04$). Además de eso, la planimetría de la $VS_{VI_{AT}}$ usando la resonancia magnética revela una $VS_{VI_{AT}}$ significativamente mayor en comparación con la determinación de la ETT (diferencia media de $1,39 \pm 0,88 \text{ cm}^2$, IC $1,09-1,67$, $p < 0,001$). Mediciones del volumen de eyección con base en la resonancia magnética y ETT mostraron una correlación moderada ($r = 0,56$, $p < 0,001$, diferencia media de $6,8 \pm 18,6 \text{ ml/b}$, IC $0,7-12,9$, $p = 0,03$).

Comparación del abordaje híbrido con la ecuación de continuidad estándar

Los resultados para el cálculo del AVA están resumidos en la Tabla 3. No hubo diferencia estadísticamente significativa para el AVA media indexada entre la EC estándar y el método híbrido 2 (diferencia media de $0,03 \pm 0,11 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, IC $-0,007-0,069$, $p = 0,11$) y entre la EC estándar y la planimetría de la RM del AVA (diferencia media de $0,04 \pm 0,15 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, IC $-0,09-0,012$, $p = 0,14$). Por otro lado, las mediciones AVA por abordaje híbrido 1 y EC estándar revelaron una diferencia significativa (diferencia media de $0,21 \pm 0,14 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, IC $-0,17-0,25$, $p < 0,001$, Figura 1). La correlación entre la EC estándar y las técnicas híbridas fueron significativas (AVA indexada) para el método híbrido 1, para el método 2 y para la planimetría del AVA ($p < 0,001$, Figura 2a-c), respectivamente. Los gráficos de Bland-Altman son mostrados en la Figura 3 a-c. La Tabla 4 ilustra la frecuencia de la gravedad de la EA por las diferentes técnicas categorizadas en leve, moderada y grave.

La correlación entre la EC estándar y las técnicas híbridas para la AVA no indexada también fue significativa para el método híbrido 1, 2 y planimetría del AVA ($r = 0,556$, $r = 0,800$ y $r = 0,710$, respectivamente, todos con $p < 0,001$).

Discusión

En individuos con estenosis aórtica grave, la ecuación de continuidad modificada combinando la RM y el ecocardiograma reveló buena consistencia, cuando fue comparada a la ecuación de continuidad estándar. La comparación del método híbrido 2 y de la planimetría de la RM del AVA con la ETT estándar por el análisis de Bland Altman mostró una diferencia media próxima de cero, una diferencia dentro de dos desvíos-estándar (DE) y

límites de consistencia muy semejantes. Además de eso, la gran mayoría de los pacientes (92%) fue clasificada como teniendo EA grave con la EC estándar, método híbrido 2 y planimetría del AVA. Una vez que la capacidad de identificar individuos con EA grave puede tener implicaciones terapéuticas, esos hallazgos son de gran importancia.

El cálculo del AVA por medio de ecocardiografía con Doppler es un estándar ampliamente utilizado para la evaluación de estenosis de la válvula aórtica en la práctica clínica. La ecocardiografía transtorácica (ETT) desempeña un papel importante en la toma de decisiones, incluyendo indicaciones para cirugía y determinación de seguimientos en individuos con EA. La ETT no es invasiva, de fácil ejecución, rápidamente disponible y de bajo costo, así como ofrece buena reproducibilidad intraobservador e interobservador. Por lo tanto, un estudio hemodinámico completo con cateterismo retrógrado de la AV no es recomendado si la evaluación no invasiva de la gravedad de la EA es adecuada para evaluar la hemodinámica de la válvula.

El cálculo de la área ecocardiográfica de la válvula se basa en la EC, que asume que el flujo (F) en ambos lados del orificio de la válvula aórtica es igual³. El flujo es definido como el área transversal (AT) multiplicada por la velocidad de flujo (V). En la válvula aórtica (VA), el flujo es igual al volumen sistólico (VS). Debido al hecho de que el VS es el producto del área transversal (AT) e integral de velocidad (VTI), la EC puede ser elaborada de forma de producir: $AVA = (VS_{VTI} \times VS_{VI_{AT}}) / AV_{VTI}$, donde VS_{VTI} es la integral de velocidad a nivel de la válvula estenótica y la AT es el área transversal de la VSVI.

En la mayoría de los estudios ecocardiográficos, la reproductibilidad de la medición de la VSVI es suficiente. Sin embargo, puede ocurrir una variabilidad significativa⁸. Entre los posibles factores que pueden contribuir para errores de medición, se destacan la calidad de la imagen, calcificaciones anillares, anillos mitrales no circulares y falla general en la medición real del área. La medida del diámetro de la VSVI es elevada al cuadrado, por lo tanto, cualquier error de medición significativo del diámetro de la VSVI también será elevado al cuadrado, produciendo un error posiblemente inaceptable en el cálculo del AVA. En ese sentido, es imprescindible ejecutar una medición precisa de la VSVI. Estudios anteriores mostraron que la variabilidad media de mediciones interobservador e intraobservador es de 5% a 8%, resultando en una variabilidad de área valvular calculada de cerca de $0,15 \text{ cm}^2$ para una EA limítrofe con un AVA de $1,0 \text{ cm}^2$. Además de eso, la aceleración del flujo en la VSVI puede llevar a una superestimación del VS obtenido por el Doppler y, por lo

Tabla 3 - Resultados del cálculo de la AVA con base en la EC estándar (ETT) y abordaje híbrido

Mediciones	AVA EC ETT	AVA EC Método 1	AVA EC Método 2	AVA Planimetría de la RM
AVA (cm ²)	0,86 ± 0,23	1,23 ± 0,41	0,92 ± 0,32	0,83 ± 0,30
Índice del AVA (cm ² /m ²)	0,47 ± 0,12* ^{1,2,3}	0,68 ± 0,21* ¹	0,50 ± 0,16* ²	0,46 ± 0,16* ³
Valor de p	-	* ¹ <0,001*	* ² =0,11 n.s.	* ³ =0,14 n.s.

AVA - Área de la válvula aórtica; EC - ecuación de continuidad; RM - resonancia magnética; n.s. - no significativo; ETT - ecocardiografía transtorácica; + = significativo $p < 0,05$.

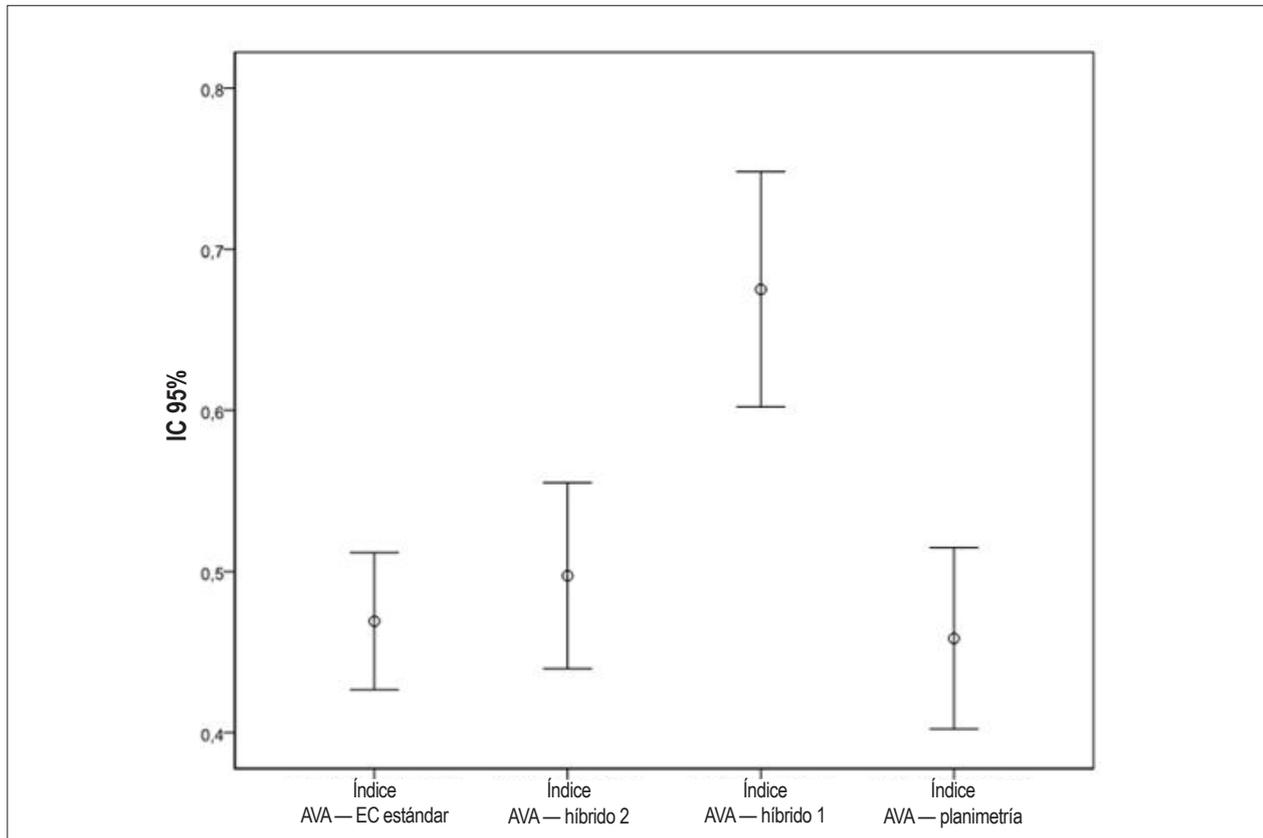


Figura 1 - Área de la válvula aórtica indexada (cm^2/m^2) determinada por la ecuación de continuidad estándar y técnicas híbridas; El método híbrido 1 revela un área de válvula aórtica significativamente mayor, indexada por el área de superficie corporal (índice AVA) comparada con la ecuación de continuidad estándar con base en el ecocardiograma. No hubo diferencia significativa entre la evaluación ecocardiográfica estándar del índice AVA y el método híbrido 2 y la planimetría del AVA, respectivamente. AVA - Área de la válvula aórtica.

tanto, tergiversación del AVA. Siendo así, la evaluación de la gravedad de la EA no siempre es aparente.

Cuando las medidas ecocardiográficas son inconsistentes, una hemodinámica invasiva continúa siendo el *gold standard*. Mientras tanto, el ateroma aórtico es un hallazgo común en individuos con EA, siendo una posible fuente de accidente cerebro vascular isquémico, principalmente durante el cateterismo cardíaco o cirugía⁴. Por lo tanto, es necesaria una alternativa no invasiva, particularmente en pacientes con alto riesgo de complicaciones asociadas al procedimiento.

Nuestros resultados demuestran que la EC estándar puede ser modificada cuando es necesario: la modificación es simple y consiste apenas en substituir el volumen sistólico obtenido por el Doppler por una determinación del volumen sistólico por la RM (método híbrido 2). Estudios anteriores demostraron que la resonancia magnética es un instrumento muy útil para la evaluación del flujo ventricular, teniendo en cuenta que ella no depende de suposiciones geométricas, siendo precisa y reproducible⁹. Por otro lado, la ecuación ecocardiográfica simplificada de Bernoulli ignora la aceleración del flujo proximal a la estenosis, que es una hipótesis aceptable, desde que la velocidad de flujo transvalvular sea significativamente mayor que la velocidad de flujo proximal. Con todo, en la presencia de flujo acelerado o estenosis menos significativa,

la ecuación simplificada de Bernoulli es menos precisa.

La aceleración de flujo en la VSVI puede afectar el cálculo del AVA, superestimando el AVA real¹⁰. Por otro lado, el cálculo del VS por la RM no es afectado por la aceleración de flujo en la VSVI. Por lo tanto, la substitución del VS en la EC por la medición del VS medida por la RM puede ser más precisa en situaciones donde haya significativa aceleración del flujo en la VSVI. Por otro lado, los gradientes obtenidos por el Doppler se correlacionan bien con gradientes de presión medidos de forma invasiva como es demostrado en el escenario experimental y en la práctica clínica^{11,12}. Siendo así, la combinación de las medidas de VS por la resonancia magnética con las medidas de VTI a través de la válvula aórtica por la ecocardiografía en el abordaje híbrido 2 se beneficia de los dos métodos. Con eso, se producen resultados con diferencias muy pequeñas en comparación con la EC estándar y se identifican con precisión la gran mayoría de las EA graves. La utilización del abordaje híbrido es una forma de descartar la necesidad de una medición precisa del diámetro y del flujo de la VSVI y, por lo tanto, puede ser una alternativa aceptable cuando la medición de la VSVI no es posible.

Además de eso, el AVA obtenida por la planimetría por medio de la RM es precisa y se correlaciona bien con la obtenida por el ecocardiograma. Esos hallazgos son

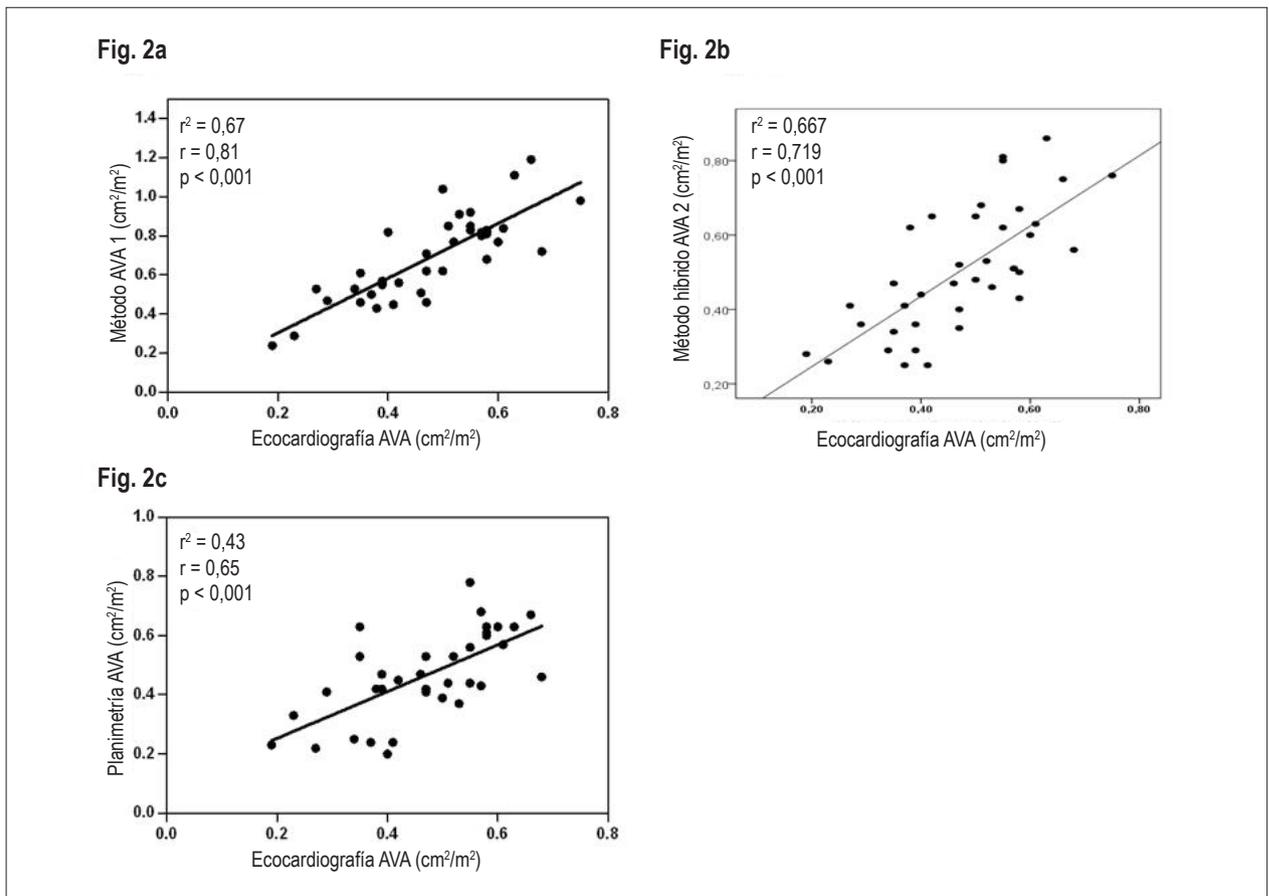


Figura 2 - Correlación de la medición del índice AVA estándar y el abordaje híbrido 1(a), 2(b) y planimetría de la RM (c).

Figura 2a - El análisis de regresión lineal demuestra una correlación significativa entre el índice del AVA (cm^2/m^2 ASC) obtenido por la EC estándar (TTE) y el método híbrido 1.

Figura 2b - El análisis de regresión lineal demuestra una correlación significativa entre el índice de la AVA (cm^2/m^2 ASC) obtenido por la EC estándar (TTE) y el método híbrido 2.

Figura 2c - El análisis de regresión lineal demuestra una correlación significativa entre el índice del AVA (cm^2/m^2 ASC) obtenido por la EC estándar (TTE) y la planimetría de la RM.

AVA - área de la válvula aórtica; ASC - área de superficie corporal; EC - ecuación de continuidad; ETT - ecocardiografía transtorácica.

compatibles con la literatura publicada sobre ese asunto¹³. A pesar de atractiva, la planimetría directa del AVA por medio de la resonancia magnética no deja de ser un método técnicamente exigente. Ella exige la medición precisa en las extremidades de la válvula durante su apertura máxima. Esa tarea puede ser un desafío porque puede haber calcificaciones en las extremidades, llevando a artefactos de imagen, pudiendo ser difícil obtener una visualización precisa de la válvula aórtica debido a efectos de volumen parcial. Además de eso, la planimetría por la resonancia magnética representa una medición de momento único del AVA en sístole máxima, mientras que la EC es medida como la media de todo el período de eyección. El AVA, con todo, puede variar considerablemente durante el período de eyección¹⁴.

En oposición a la planimetría y al método híbrido 2, el método híbrido 1 no fue capaz de demostrar buena concordancia en comparación con la EC estándar. Las imágenes de RM de nuestro estudio revelan que la geometría de la VSVI parece más elíptica que circular, por lo tanto

una VSVI_{AT} mayor fue determinada. La sustitución de la medición de la VSVI_{AT} en la EC estándar con la planimetría por la RM de la VSVI hace permanecer la duda sobre si la EC estándar permite un cálculo preciso del AVA, porque la EC estándar asume una forma circular de la VSVI_{AT}. En ese sentido, independientemente de que la VSVI sea obtenida por el ecocardiograma o por la RM, esos dos abordajes no pueden ser usados intercalados.

En general, a pesar del hecho de que la resonancia magnética supera algunas de las limitaciones metodológicas de la ecocardiografía mencionadas encima, parece improbable que la resonancia magnética sustituya a la ETT como la modalidad de imagen preferencial en la evaluación de pacientes con estenosis aórtica. Mientras tanto, nuestros datos están en concordancia con estudios publicados anteriormente, sugiriendo que un abordaje híbrido que combina ETT y RM como una promisoriosa herramienta alternativa de diagnóstico para evaluar la gravedad de la EA de forma no invasiva, cuando el ecocardiograma es inconclusivo.

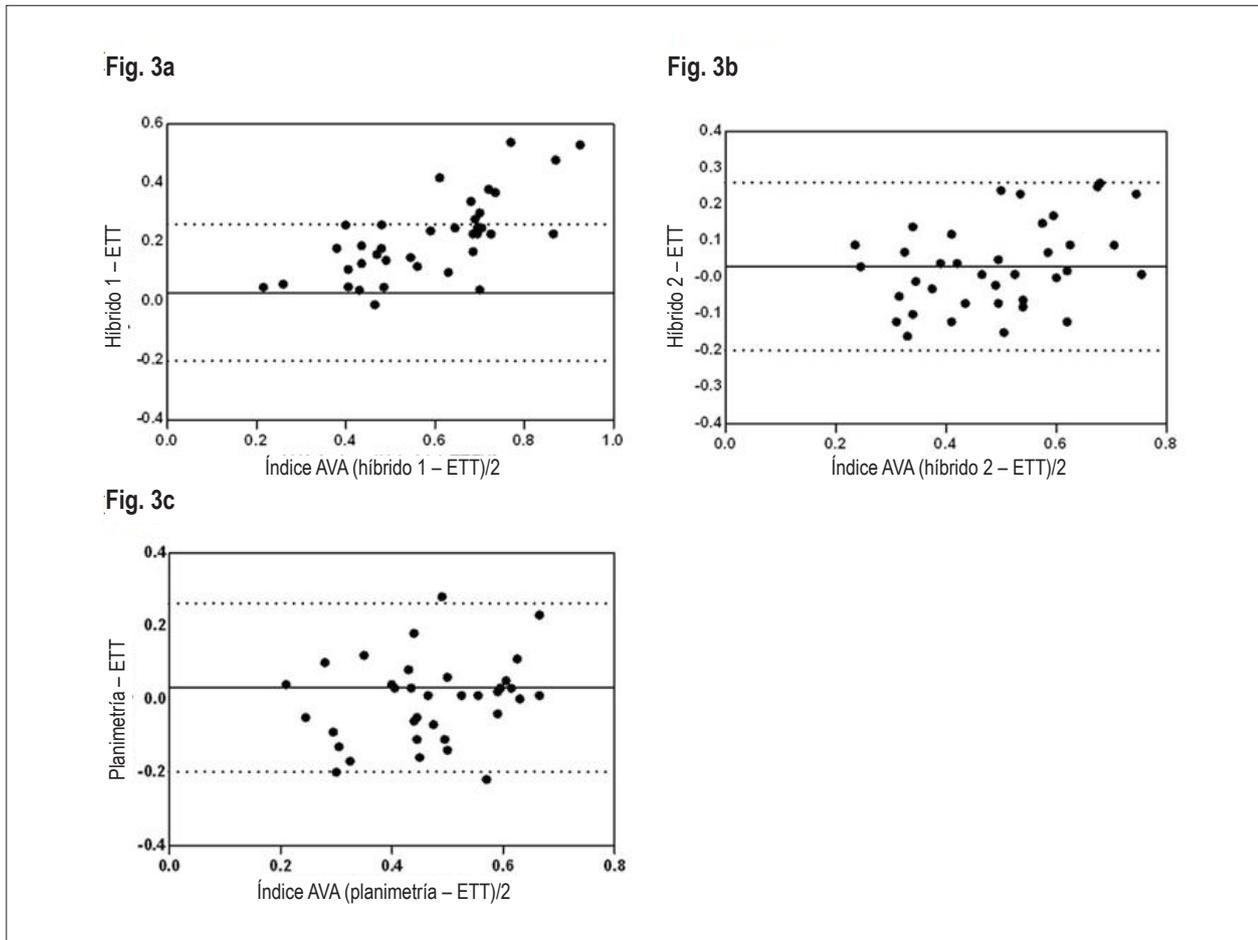


Figura 3 - Análisis de Bland-Altman ilustrando la concordancia entre la evaluación estándar de la AVA y el abordaje híbrido 1(a), 2(b) y la planimetría de la RM(c).
Figura 3a - Concordancia entre el AVA medida por la EC estándar (ETT) indexada para ASC (cm^2/m^2) y método híbrido 1. La línea continua representa la diferencia media, y las líneas punteadas representan los límites de concordancia.
Figura 3b - Concordancia entre el AVA medida por la EC estándar (ETT) indexada para ASC (cm^2/m^2) y método híbrido 2. La línea continua representa la diferencia media, y las líneas punteadas representan los límites de concordancia.
Figura 3c - Concordancia entre la AVA medida por la EC estándar (ETT) indexada para ASC (cm^2/m^2) y planimetría de la RM de la AVA. La línea continua representa la diferencia media y las líneas punteadas representan los límites de concordancia.
 AVA - área de la válvula aórtica; ASC - área de superficie corporal; EC - ecuación de continuidad; ETT - ecocardiografía transtorácica.

Tabla 4 - Frecuencia de la severidad de la EA por 4 técnicas de imagen diferentes

Clasificación	ETT	Método Híbrido 1	Método Híbrido 2	AVA Planimetría de la 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%

Los valores son presentados como porcentaje. La estenosis aórtica es categorizada como leve, moderada y grave con base en el área de la válvula aórtica (cm^2). AVA - Área de la válvula aórtica; ETT - Ecocardiografía transtorácico; RM - Resonancia magnética

Limitaciones

La cohorte de 38 individuos incluidos en este estudio piloto es relativamente pequeña y no permite realizar un análisis subgrupo. Por lo tanto, debemos mantener la cautela en la interpretación de estos datos, considerando el número

relativamente pequeño de pacientes. No obstante eso, estos resultados preliminares nos incentivaron a investigar esta cuestión en un grupo de estudio mayor. Además de eso, apenas una pequeña parte de los pacientes fue sometida a la medición invasiva de la AVA por el cateterismo cardíaco.

Por lo tanto, los resultados que comparan la EC estándar y el abordaje híbrido deben ser analizados con cautela, porque hay un "gold standard" para determinar la gravedad de la EA, o sea, nuevos métodos deben ser juzgados. Mientras tanto, la medición de la EA de forma invasiva se basa en la "fórmula de Gorlin", que reconocidamente presenta muchas limitaciones¹⁵, al tiempo que el método de la ecuación de continuidad para el cálculo del AVA tiene la ventaja de ser no invasivo y de no contener una constante empírica¹⁶.

Otra limitación de nuestro estudio fue una FE bien preservada en la mayoría de los pacientes incluidos en el estudio ($64 \pm 12\%$). Mientras tanto, principalmente en pacientes con FE severamente perjudicada (bajo flujo, estenosis aórtica de bajo gradiente), la evaluación precisa del AVA usando la técnica de ETT por el Doppler es desafiada por las limitaciones de los parámetros de flujo por el Doppler¹⁷.

Conclusiones

El cálculo del AVA por un abordaje no invasivo híbrido entre ecocardiograma y resonancia magnética es una buena alternativa para la EC estándar y se correlaciona bien con

el método estándar. El abordaje híbrido es más demorado, no estando ampliamente disponible y es más caro que la EC estándar y seguramente substituirá a la ETT en la rutina clínica. Mientras tanto, este método podría ser usado como una alternativa no invasiva en pacientes en los cuales los resultados ecocardiográficos son inconclusivos o en quienes los resultados conflictivos requieren esclarecimientos adicionales, particularmente en pacientes con alto riesgo para un estudio hemodinámico invasivo.

Potencial Conflicto de Intereses

Declaro no haber conflicto de intereses pertinentes.

Fuentes de Financiación

El presente estudio no tuvo fuentes de financiación externas.

Vinculación Académica

No hay vinculación de este estudio a programas de postgrado.

Referencias

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. Garcia 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, Faerestrands 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.

Artículo Original
