

Ecocardiografía transesofágica tridimensional en la evaluación de la función ventricular izquierda

Three-dimensional transesophageal echocardiography in the evaluation of left ventricular function

MEJOR TRABAJO DE GRADUACIÓN XLVIII PROMOCIÓN DE MÉDICOS, FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS, UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Claudia Lama Von Buchwald¹, Xavier Fonseca Fuentes¹, Elsie Valdiviezo Valenzuela²

¹ Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad de Ciencias Médicas, Guayaquil, Ecuador

² Hospital clínica Kennedy, Hospital regional IESS "Dr. Teodoro Maldonado Carbo", Guayaquil, Ecuador

RESUMEN

Objetivo: validar el ecocardiograma transesofágico tridimensional como técnica no inferior y menos invasiva en comparación con la ventriculografía por cateterismo cardíaco, para la medición de volúmenes cardíacos y obtención de la fracción de eyección ventricular. **Metodología:** estudio comparativo, observacional en pacientes con indicación para cateterismo cardíaco, en el hospital clínica Kennedy; se midieron volúmenes de fin de sístole, diástole y fracción de eyección por medio de ventriculograma por cateterismo cardíaco y se compararon con las mismas variables obtenidas por ecocardiograma transesofágico tridimensional. Se realizó prueba t de Student pareada para comparar los resultados obtenidos por los dos métodos. Valor de $p < 0,05$ fue considerado significativo con intervalo de confianza de 95% (IC 95%). **Resultados:** se estudiaron 44 pacientes durante seis meses, posterior al análisis de las variables se obtuvo para fracción de eyección $p = 0,0026$ y para volumen de fin de diástole $p = 0,0067$ y volumen fin de sístole $p = 0,0484$. Esto fue corroborado por medio de análisis correlacionales de Pearson que mostró fuerte relación positiva entre métodos. **Conclusión:** los resultados obtenidos por ecocardiograma transesofágico tridimensional son cuantificables, precisos y no inferiores a los adquiridos por ventriculografía. De esta manera, el ecocardiograma transesofágico tridimensional se considera un mejor método para la obtención de la fracción de eyección y volúmenes, por ser práctico y poco invasivo.

Palabras clave: Ecocardiografía Tridimensional. Ecocardiografía Transesofágica. Cateterismo Cardíaco. Función Ventricular Izquierda. Fracción de Eyección.

ABSTRACT

Objective: to validate the three-dimensional transesophageal echocardiography technique as not inferior and less invasive compared to the cardiac catheterization ventriculography for measuring cardiac volumes and obtaining ventricular ejection fraction. **Design:** comparative, observational study in patients with indication for cardiac catheterization in the Kennedy hospital. End-systolic and end-diastolic volumes, and ejection fraction were measured via cardiac catheterization ventriculography and compared with the same variables obtained by three-dimensional transesophageal echocardiography. We performed paired Student's t test to compare the results obtained through the two methods. Value of $p < 0.05$ was considered significant with a confidence interval of 95% (IC 95%). **Results:** 44 patients were studied for 6 months, after the analysis of the variables we obtained $p = 0.0026$ for ejection fraction and end-diastolic volume of $p = 0.0067$ and end-systolic volume of $p = 0.0484$. This was corroborated by Pearson correlational analysis, which showed strong positive relation between the methods. **Conclusion:** the results obtained by three-dimensional transesophageal echocardiography are quantifiable, accurate and not inferior to those obtained by ventriculography. Thus, the three-dimensional transesophageal echocardiography method is considered a better approach for obtaining the volumes and ejection fraction as it is convenient and minimally invasive.

keywords: three-dimensional echocardiography. Transesophageal echocardiography. Cardiac Catheterization. Left Ventricular Function. Ejection Fraction.

Correspondencia a:

Md. Claudia Lama Von Buchwald

Correo electrónico: claudialamavb@hotmail.com

Recibido: 15 de junio de 2012

Aceptado: 04 de septiembre de 2012

Introducción

La cuantificación reproducible, precisa y objetiva de los volúmenes y la función ventricular izquierda juegan un papel importante en el diagnóstico, seguimiento y pronóstico de las enfermedades cardiovasculares.¹ Factores como el tamaño y morfología de la cavidad junto a la fracción de eyección (FE), a pesar de tener poca relación con la sintomatología y el consumo de oxígeno miocárdico, son predictores poderosos de morbi-mortalidad.²

Entre las situaciones clínicas que requieren exactitud en las mediciones cabe mencionar: la predicción de shock cardiogénico e insuficiencia cardíaca crónica en pacientes posinfarto agudo de miocardio, la valoración de cardiotoxicidad en pacientes tratados con antraciclínicos,³ y la decisión de colocar un defibrilador cardiovertor implantable profiláctico para la prevención primaria de muerte súbita en insuficiencia cardíaca.^{4,5}

De manera rutinaria, se sigue utilizando el ecocardiograma 2D tanto para medir volúmenes como para determinar FE,² la cual se estima de manera visual, extrapolándose imágenes en un solo plano por medio de figuras geométricas que subestiman el volumen e ignoran regiones del ventrículo con morfología atípica.^{6,7} Estudios realizados en corazones normales, con y sin cardiomiopatía isquémica y con cardiopatía congénita, han establecido la capacidad de la ecocardiografía tridimensional para superar las limitaciones antes mencionadas, con resultados no inferiores al Gold Standard, que actualmente es la resonancia magnética cardíaca (RMC).^{4,7,8,9,10,11}

Con la ayuda del software de análisis de datos, el método volumétrico directo delinea el endocardio por medio de trazado automático o semiautomático en 3D en tiempo real y mide la cavidad de manera directa, para obtener volúmenes dinámicos a lo largo del ciclo cardíaco.^{4,12} Evita formaciones geométricas y errores de perspectiva; sin embargo, es dependiente de un trazado preciso del borde endocárdico, imposible de definir con exactitud en pacientes con pobre ventana acústica debido a la mala resolución.

Pensando en esta limitante se ha utilizado una sonda transesofágica cuya localización mejora la

resolución de la imagen y aporta con una visión tomográfica de las estructuras, manteniendo relación anatómica y espacial.^{13,14}

En este medio, al no contar en la actualidad con RMC, las mediciones de volúmenes y FE se realizan por ventriculografía por cateterismo cardíaco que por ser una técnica invasiva, con contraindicaciones y riesgos, se propone al ecocardiograma transesofágico tridimensional (ETE3D) como método equivalente y menos invasivo, así como versátil, ya que puede ser adaptado tanto al ámbito clínico como transquirúrgico.^{10,15,16}

El objetivo de este estudio es validar el ETE3D como técnica no inferior y menos invasiva en comparación a la ventriculografía por cateterismo cardíaco para la medición de volúmenes cardíacos y obtención de la fracción de eyección ventricular.

Metodología

Se realizó un estudio comparativo, observacional en 63 pacientes referidos para cateterismo cardíaco que fueron incluidos en el estudio, previo consentimiento informado. Se eligieron pacientes estables, con indicación de cateterismo cardíaco diagnóstico o para valoración prequirúrgica. Se excluyeron aquellos pacientes hemodinámicamente inestables, coronarios agudos candidatos a angioplastia o que presenten contraindicaciones para ecocardiograma transesofágico (ETE). Los datos demográficos se encuentran resumidos en la tabla 1. El protocolo del estudio fue aprobado tanto por el equipo de Hemodinamia como por el Departamento de Imágenes y Comité de Ética del Hospital Clínica Kennedy.

Tabla 1. Diagnósticos de los pacientes estudiados por ETE3D y ventriculografía

Diagnóstico	n=44
Cardiopatía isquémica	20
Angina inestable	2
Cardiopatía hipertensiva	2
Cardiopatía isquémico-hipertensiva	7
Valvulopatías	6
Displasia arritmogénica del ventrículo derecho	1
Miocardopatía de yamaguchi	1
Coronarias con lesiones mínimas	2
Miocardopatía hipertrófica	1
Miocardopatía dilatada	2

Los pacientes ambulatorios (55) fueron ingresados el día previo al cateterismo, y se los contactó telefónicamente el día anterior, indicando ayuno de ocho horas. A los ocho pacientes que se encontraban ingresados, se les prescribió dicha orden. De los 63 pacientes, cinco fueron excluidos por no cumplir con el ayuno, cuatro pacientes se negaron a formar parte del estudio, un paciente fue transferido a otra institución y otro falleció. 54 pacientes fueron estudiados con ETE3D dentro de un marco de 24 horas, para minimizar las fluctuaciones de los volúmenes cardíacos.

Diez pacientes fueron excluidos, debido a que no fue posible realizarles ventriculografía, dos por enfermedad renal crónica, dos por supuesta reacción previa al medio de contraste y seis por ser considerados riesgosos de acuerdo a criterio médico. En total, se midieron volúmenes y FE de 44 pacientes por los dos métodos.

Ecocardiograma transesofágico tridimensional

Se le realizó a los pacientes guardando las horas de ayuno, bajo sedación (midazolam 0,05mg/kg), con la asistencia de un anestesiólogo. Se utilizó un transductor transesofágico matricial tridimensio-

nal con rango de fase de 7-10 MHz, con 13.000 cristales, de última generación. Los pacientes sedados fueron colocados en decúbito lateral izquierdo, posteriormente se lubricó la sonda con xilocaína en gel y se procedió a intubación esofágica. Fueron tomadas imágenes de acuerdo a los lineamientos estándar en planos: transgástrico proximal, profundo, esofágico medio e inferior, esofágico superior y aórtico. Se tomó imágenes correspondientes a primer ciclo cardíaco, simultáneas al trazado electrocardiográfico en apnea a cada paso.

Las imágenes obtenidas fueron pasadas al software del iE33 Phillips, analizadas con Qlab 3D: Análisis Avanzado Volumétrico Cuantitativo 3D; y, Análisis Cuantitativo de Válvula Mitral (MVQA); cada imagen en short-axis revisada con modo dinámico y en cortes. El borde endocárdico se trazó de manera semiautomática con correcciones manuales usando el trackball y cursor integrados del equipo. Se seleccionó el tamaño de cavidad menor (VFS) y el mayor (VFD) entre las imágenes para la reconstrucción en 3D. Los volúmenes y el cálculo automatizado de la FE se transcribieron al informe y las imágenes correspondientes fueron transferidas a un CD de manera individual (figura 1).

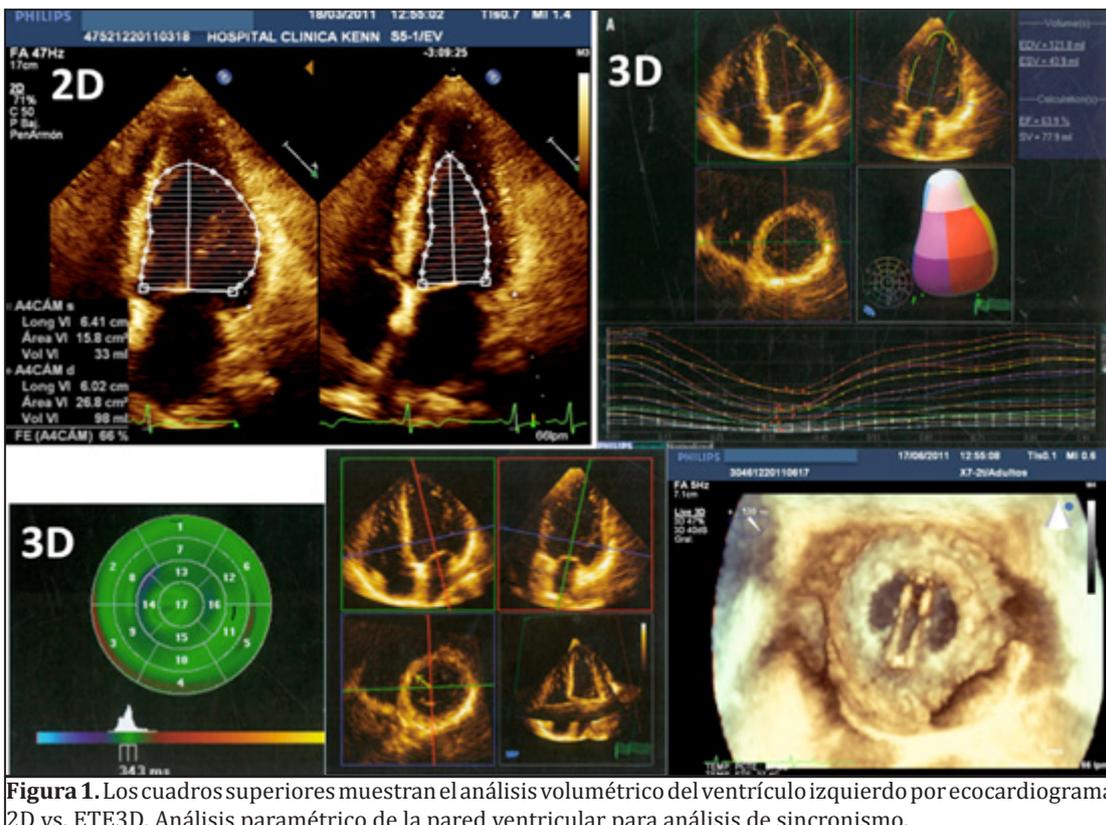


Figura 1. Los cuadros superiores muestran el análisis volumétrico del ventrículo izquierdo por ecocardiograma 2D vs. ETE3D. Análisis paramétrico de la pared ventricular para análisis de sincronismo.

Ventriculograma

Los pacientes con previa indicación para cateterismo cardíaco, fueron estudiados en el equipo Phillips XD 8073 Diff Allura Xper 8/2008, bajo sedación profunda administrada por anesthesiólogo. Por medio de punción femoral, se introdujeron catéteres cinco french (21 pacientes) y seis french (23 pacientes), de acuerdo a las preferencias del operador. Posterior a la realización de cinecoronariografía, se inyectó medio de contraste a través de inyector, en el ventrículo izquierdo, visualizándose bajo el intensificador de imágenes, el llenado de la cavidad hasta su capacidad máxima (VFD) y su posterior vaciamiento (VFS). Durante este proceso se tomó en cuenta la frecuencia cardíaca durante la inyección del medio de contraste, factor importante en el posterior análisis de los datos.

Usando el software integrado se procedió a tomar imágenes dentro del mismo ciclo cardíaco, evitando considerar aquellas que incluyeran extrasístoles u otras anomalías del ritmo. Se congelaron cuadros correspondientes al llenado máximo (VFD) y mínimo (VFS) ajustando el contraste para identificar exactamente los bordes endocárdicos. Posteriormente se delineó, de

manera manual, los bordes de ambas imágenes, ingresando el peso, la talla y la frecuencia cardíaca del paciente. El software calculó de manera automática los parámetros requeridos. El informe y las películas del procedimiento también fueron grabadas en CDs independientes.

Para evitar errores interobservador, estas mediciones fueron realizadas por el operador al momento del examen y de manera semanal, como parte del proceso de recolección de datos, con un nuevo trazado de los contornos del endocardio y cálculo por dos ocasiones. Se eligió el más cercano a la media. Los datos del paciente, tanto clínicos como relativos a las variables, fueron tabulados y analizados posteriormente (figura 2).

Análisis estadístico

Se parearon las series de las tres variables: FE, VFD y VFS de acuerdo a cada método. Se realizó el cálculo de las medidas de tendencia central, para análisis de la muestra. Se consideró un nivel de confianza de 95%. Asimismo se elaboró un boxplot basado en medidas de tendencia central. Para comparar la variabilidad entre técnicas, se realizaron pruebas t de Student pareadas para cada variable, calculando la variación en base a error

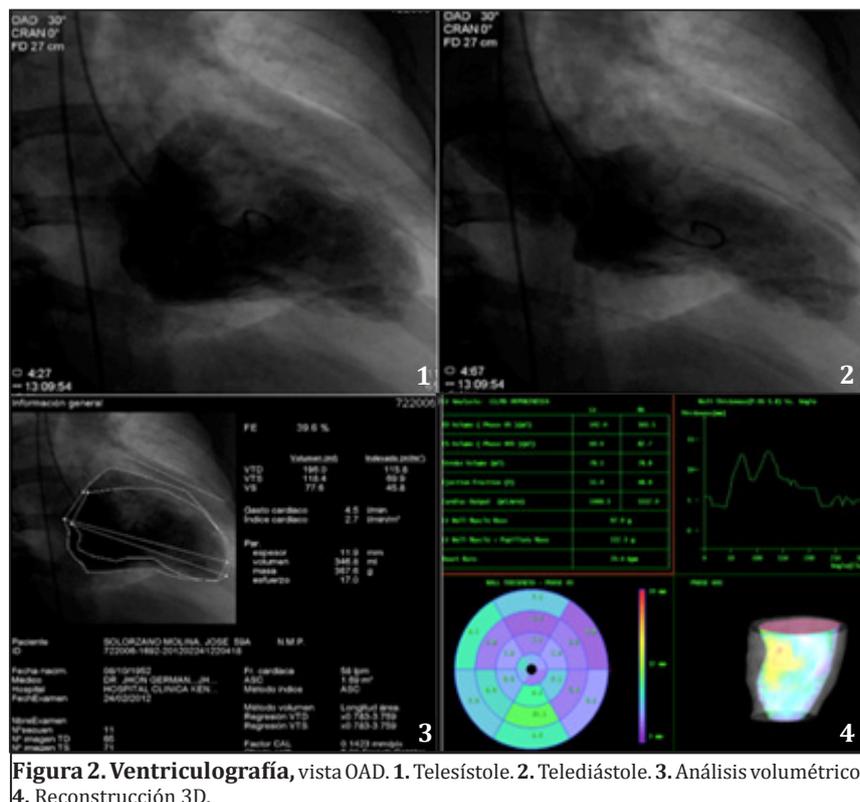


Figura 2. Ventriculografía, vista OAD. 1. Telesístole. 2. Telediástole. 3. Análisis volumétrico. 4. Reconstrucción 3D.

estándar debido al tamaño de la muestra, para evitar la dispersión de los datos. Se consideraron significativos valores de $p < 0,05$.

Como comparación cualitativa, se realizaron test de correlación de Pearson para cada variable (figura 3), con el objetivo de relacionar las variables entre sí y determinar la similitud entre los métodos diagnósticos.

Resultados

Fueron estudiados un total de 28 hombres (66%) y 16 mujeres (34%), la edad media fue de 62 años. 20 pacientes tenían el diagnóstico de cardiopatía

isquémica (45.5%), siete de cardiopatía mixta (15.9%), seis valvulopatías diversas (13.6%), dos cardiopatías hipertensivas, uno con displasia arritmogénica del ventrículo derecho, dos con coronarias con lesiones mínimas, uno con miocardiopatía de Yamaguchi, dos miocardiopatías dilatadas, uno con miocardiopatía hipertrófica, y dos anginas inestables, que juntas representaron el 25% restante.

En cuanto a las comorbilidades, dentro del grupo encontramos un total de 24 pacientes hipertensos, cuatro diabéticos, tres fumadores, ocho dislipidémicos y cinco obesos. La tabla 2 muestra la comparación de los valores de FE, VFD y VFS obtenidos de cada método.

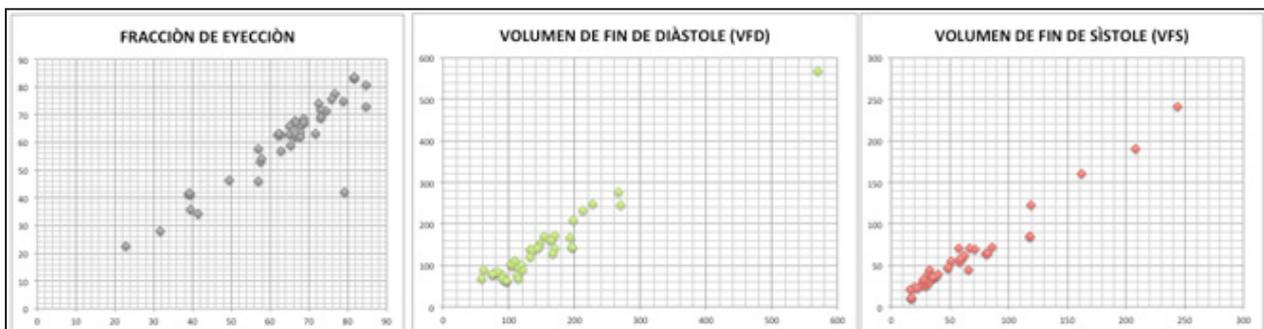


Figura 3. Gráficos de correlación de Pearson. Las líneas horizontales ascendentes hacia la izquierda muestran la fuerte correlación positiva que existe entre las variables.

Tabla 2. Resumen de la comparación de la fracción de eyección y volúmenes cardíacos en los dos métodos

		Promedio	Error típico	Límite inferior	Límite superior
FE	Ventriculografía	64.01	2.21	59.67	68.35
	ETE3D	60.96	2.25	56.56	65.37
VFD	Ventriculografía	145.00	12.48	120.53	169.46
	ETE3D	136.49	12.87	111.26	161.72
VFS	Ventriculografía	57.88	7.41	43.36	72.40
	ETE3D	54.89	6.92	41.33	68.46

En la figura 4 se observa el gráfico de box-plot que ilustra que las muestras son representativas de su población y que no existieron diferencias significativas entre ellas.

En cuanto a FE, el valor obtenido en la prueba t pareada fue $p=0.0026$ que se interpreta como significativa.

En el análisis volumétrico se obtuvieron valores correspondientes a $p=0.0067$ para VFD y $p=0.0484$ para VFS, de igual manera alcanzando significancia estadística.

En la figura 4 también se muestran los gráficos de correlación de Pearson, donde se observa la dirección ascendente en la que se agrupan los datos, en los tres casos, ilustrando la fuerte relación positiva que se encontró al comparar la FE obtenida por ventriculografía y aquella que resultó de mediciones por ETE3D. Lo mismo ocurre en las curvas de VFD y de VFS, pudiendo llegar a la conclusión de que ambos métodos son estadísticamente equivalentes para la determinación de las variables en cuestión.

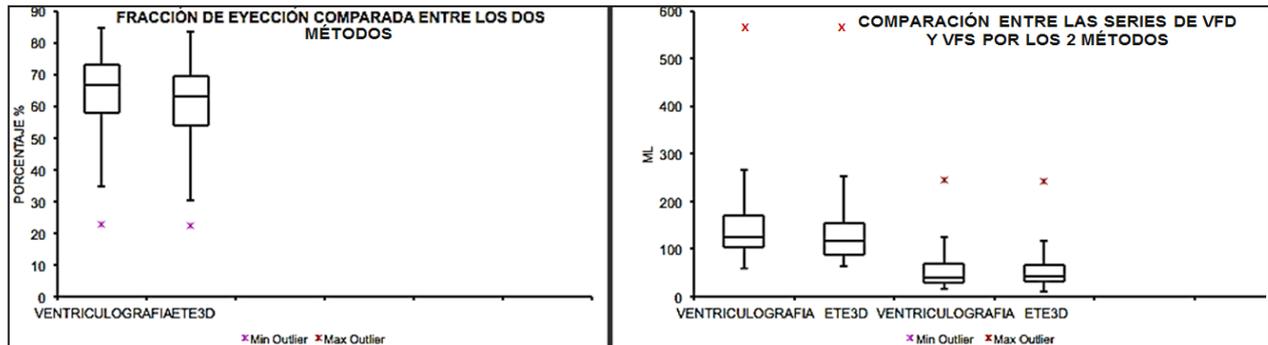


Figura 4. Box-plot que compara las muestras, basado en las medidas de tendencia central de las series. El primer gráfico corresponde a la variable FE, indica que no existen diferencias significativas entre las series, la unidad representada en el eje y equivale a porcentaje %. El segundo representa los volúmenes VFD y VFS comparados independientemente. La unidad utilizada es ml.

Discusión

La ventriculografía tiene la ventaja de ser un método diagnóstico y terapéutico; sin embargo, existen contraindicaciones y riesgos que se asocian a un procedimiento invasivo que incluyen la exposición a radiación y a medios de contraste, así como la posibilidad de sangrado.

Otra desventaja es el alto costo del procedimiento acompañado de su escasa disponibilidad.¹⁷ En el caso del presente estudio, pacientes con síndromes coronarios agudos fueron excluidos del examen, ya que por el tiempo de evolución de su patología, las paredes ventriculares se encontraban friables y a riesgo de provocar una dilatación aneurismática o una ruptura de pared, por lo que no se los sometió al ventriculograma.

La población que se observó ($n=44$), proporciona resultados que permiten hablar de un estudio con significancia estadística. Estudios similares se han hecho en base a poblaciones que se encuentran alrededor de esta cifra (entre 17 y 63 casos).^{4,6,10,11,18} Debe mencionarse también que la población fue obtenida en un solo centro hospitalario, y las mediciones ecocardiográficas fueron realizadas por un solo operador experimentado, disminuyendo el error interobservador, agregando validez a los resultados.

La muestra estuvo compuesta, en su mayoría, por hombres, en un 66%, debido a la incidencia mayor de enfermedad cardiovascular en este género, pero basado en el grupo etario (edad media = 62 años), existió un número importante de mujeres principalmente de edad avanzada, donde la incidencia se iguala. En cuanto a diagnósticos, la mayoría fueron pacientes isquémicos ya que se

incluyeron aquellos con indicación de cateterismo cardíaco.

Ambos métodos resultaron altamente concordantes entre sí. Estudios anteriores muestran que existe correlación de los resultados obtenidos con ETE3D en comparación a otros métodos como CMRI y ventriculografía nuclear, pero que ésta tiende a subestimar los volúmenes, desde unos pocos mililitros hasta un 30% del valor. De acuerdo a los resultados obtenidos se observó variabilidad, que casi siempre fue menor, pero sin significancia estadística.

Tanto la FE como los volúmenes dieron resultados que permitieron llegar a la conclusión de que no existieron diferencias entre los dos métodos.

Limitantes del estudio

La principal limitante del estudio radica en el hecho de no contar con la RMC como parámetro comparativo. La ventriculografía, si bien es el método que más se utiliza en el medio, tiene varias limitaciones como son:

La reconstrucción de las imágenes: ésta se realiza en dos dimensiones.

El tipo de pacientes: la mayoría de pacientes estudiados fueron isquémicos, esto limitó la cantidad de contraste que se puede inyectar, dificultando el trazado del borde endocárdico y debido a que el borde se confunde con las trabéculas, puede darse una mala valoración de la cavidad. El momento de la medición: la inyección de medio de contraste irrita el ventrículo, produciendo en el primer momento extrasístoles y compensatoriamente se trata de eyectar el

volumen extraño que ha ingresado, por lo que se sobreestiman tanto los volúmenes como la FE durante los primeros segundos. El no esperar a la normalización del ritmo, puede llevar a un error en la medición.

Finalmente, se concluyó, que por medio de un ETE3D se obtienen mediciones cuantitativas, que son muy aproximadas a la referencia. Estadísticamente no existe una diferencia significativa al comparar los resultados obtenidos por los dos métodos, por lo que podría afirmarse, con seguridad, que se trata de una prueba válida de resultados precisos, sin la necesidad de someter al paciente a los riesgos del cateterismo.

Sería útil realizar estudios posteriores entre ETE3D y RMC que añadan validez a los resultados que aquí se presentan. Dicha tecnología abriría nuevas puertas en el campo de la imagen cardíaca, permitiéndonos realizar diagnósticos tempranos y acertados que contribuyan a mantener la calidad de vida del paciente.

Referencias bibliográficas

1. Siu S, Rivera JM, Guerrero JL, Handschumacher MD, Lethor JP, Weyman AE, Levine RA, Picard MH. Three-dimensional Echocardiography: In vivo validation for Left Ventricular Function. *Circulation*. 1993 oct; 88 (4 pt1): 1715-23.
2. Nesser HJ, Tkalec W, Patel AR, Masani ND, Niel J, Markt B, Pandian NG. Quantitation of right ventricular volumes and ejection fraction by three-dimensional echocardiography in patients: comparison with magnetic resonance imaging and radionuclide ventriculography. Department of Cardiology, Public Hospital Elisabethinen, Linz, Austria. *Echocardiography*. 2006 Sep; 23(8): 666-80.
3. Van Der Heide JA, Kleijn SA, Aly MF, Slikkerveer J, Kamp O. Three-dimensional echocardiography for left ventricular quantification: fundamental validation and clinical applications. Department of Cardiology 5F 003, VU University Medical Center, De Boelelaan 1117, 1081 HV, Amsterdam, the Netherlands. *Am Heart J*. 2000 Sep; 140(3): 469-75.
4. Nikitin*, Constantin, Poay Huan Loh, Ghosh. New generation 3-dimensional echocardiography for left ventricular volumetric and functional measurements: Comparison with cardiac magnetic resonance. Department of Cardiology, Academic Unit, The University of Hull, Castle Hill Hospital, Castle Road, Cottingham, Kingston-upon-Hull HU16 5JQ, UK. 17 August 2006.
5. Kwak J, Andrawes M, Garvin S, D'Ambra MN. 3D Transesophageal Echocardiography. A Review of Recent Literature 2007-2009. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2010 Feb; 23(1):80-8.
6. Soliman OI, Kirschbaum SW, van Dalen BM, van der Zwaan HB, Mahdavian Delavary B, Vletter WB, van Geuns RJ, Ten Cate FJ, Geleijnse ML. Accuracy and reproducibility of Quantification of Left Ventricular Function by Real-Time 3D echocardiography versus Cardiac Magnetic Resonance. *Am J Cardiol* [2008, 102(6):778-783].
7. Kleijn SA, Aly MF, Terwee CB, van Rossum AC, Kamp O. Comparison Between Direct Volumetric and Speckle Tracking Methodologies for Left Ventricular and Left Atrial Chamber Quantification by Three-Dimensional Echocardiography. Department of Cardiology and Institute for Cardiovascular Research, VU University Medical Center, Amsterdam, The Netherlands; Interuniversity Cardiology Institute of the Netherlands, Utrecht, The Netherlands. *Echocardiography*. 2011 Jul;28(6):597-604. doi:10.1111/j.1540-8175.2011.01394.x. Epub 2011 Jul 1.
8. Rademakers, Frank E. Department of Cardiology, Universitaire Ziekenhuizen Leuven, 3000 Leuven, Belgium 3D Echocardiography: Is CMR better? GUEST EDITORIAL. *Eur J Echocardiography* (2006) 7, 339e340. 30 May 2006.
9. Nucifora G, Badano LP, Dall'Armellina E, Gianfagna P, Allocca G, Fioretti PM. Fast data acquisition and analysis with real time triplane echocardiography for the assessment of left ventricular size and function: a validation study. *Echocardiography*. 2009 Jan;26(1):66-75. Epub 2008 Nov 7.
10. Li C, Lossnitzer D, Katus HA, Buss SJ. Comparison of left ventricular volumes and ejection fraction by monoplane cineventriculography, unenhanced echocardiography and cardiac magnetic resonance imaging. Department of Cardiology, The First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, 300, Guangzhou Road, 210029, Nanjing, China. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2011 Jul 27.
11. Mor Avi, Lang. The use of real-time three-dimensional echocardiography for the quantification of left ventricular volumes and function. University of Chicago Medical Center, Chicago, Illinois, Correspondence to Victor Mor-Avi, PhD, University of Chicago Medical Center, Section of Cardiology, MC5084, 5841 S. Maryland Avenue, Chicago, IL 60637, USA *Current Opinion in Cardiology* 2009, 24:402-409.
12. Hibberd MG, Chuang ML, Beaudin RA, Riley MF, Mooney MG, Fearnside JT, Manning WJ, Douglas PS. Accuracy of three-dimensional echocardiography with unrestricted selection of imaging planes for measurement of left ventricular volumes and ejection fraction. Cardiovascular Division, Charles A. Dana Research Institute and the Harvard-Thorndike Laboratory of Medicine, Boston, MA, USA. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006 Feb;19(2):192-201.
13. Chan J, Jenkins C, Khafagi F, Du L, Marwick TH. What is the optimal clinical technique for measurement of left ventricular volume after myocardial infarction? A comparative study of 3-dimensional echocardiography, single photon emission computed tomography, and cardiac magnetic resonance imaging. University of Queensland, Brisbane, Australia.
14. Jian Xin Qin MD, Takahiro Shiota MD, James D. Thomas MD. Determination of Left Ventricular Volume, Ejection Fraction, and Myocardial Mass by Real-Time Three-Dimensional Echocardiography. 13 JUL 2007.
15. Corsi, Coon, Goonewardena, Weinert, Sugeng, Polonsky, Lang, Mor-Avi. Quantification of Regional Left Ventricular Wall Motion from Real-time 3-Dimensional Echocardiography in Patients with Poor Acoustic Windows: Effects of Contrast Enhancement Tested Against Cardiac Magnetic Resonance Original Research Article. *Journal of the American Society of Echocardiography*, Volume 19, Issue 7, July 2006, Pages 886-893.
16. Leibundgut, Rohner, Grize. Dynamic Assessment of Right Ventricular Volumes and Function by Real-Time Three-Dimensional Echocardiography: A Comparison Study With Magnetic Resonance Imaging in 100 Adult Patients. *Journal of the American Society of Echocardiography*, Volume 23, Issue 2, February 2010, Pages 116-126.

17. Mark G. Hibberd, Michael L. Chuang, Raymond A. Beaudin, Marilyn F. Riley, Matthew G. Mooney, James T. Fearnside, Warren J. Manning, Pamela S. Douglas. Accuracy of three-dimensional echocardiography with unrestricted selection of imaging planes for measurement of left ventricular volumes and ejection fraction. *American Heart Journal*, Volume 140, Issue 3, September 2000, Pages 469-475.
18. Ivan S. Salgo. Three-Dimensional Echocardiographic Technology Review Article. *Cardiology Clinics*, Volume 25, Issue 2, May 2007, Pages 231-239.
19. Hofmann T, Rybczynski M, Franzen O. Improved analysis of left ventricular function using three-dimensional echocardiography. *Kliniken Pinneberg gGmbH, Klinikum Pinneberg, Medizinische Klinik-Kardiologie, Fahltkamp 74, 25421 Pinneberg*.
20. Kleijn SA, Aly MF, Terwee CB, van Rossum AC, Kamp O. Three-Dimensional Speckle Tracking Echocardiography for Automatic Assessment of Global and Regional Left Ventricular Function Based on Area Strain. Department of Cardiology, VU University Medical Center, Amsterdam, The Netherlands. *J Am Soc Echocardiogr*. 2011 Mar; 24(3):314-21.
21. Fernández, Miguel Ángel. *Ecocardiografía Básica*.
22. Fay Y. Lin, MD, MSc, James K. Min, MD, FACC. Assessment of cardiac volumes by multidetector computed tomography. The Department of Medicine and Radiology, Weill Medical College of Cornell University, The New York Presbyterian Hospital *Int J Cardiovasc Imaging* DOI 10.1007/s10554-011-9924-0.
23. Sengupta, Bijoy K Khandheria. Transesophageal echocardiography. *Heart* 2005; 91:541-547. doi: 10.1136/hrt.2003.031757
24. Badano L, Lang R, Zamorano JL. *Textbook of Real-Time Three Dimensional Echocardiography*. Springer 2010.
25. Sugeng L, Mor-Avi V, Weinert L, Niel J, Ebner C, Steringer-Mascherbauer R, Bartolles R, Baumann R, Schummers G, Lang RM, Nesser, HJ. Quantitative Assessment of Left Ventricular Size and Function. Side by Side comparison of Real Time Three dimensional Echocardiography and Computed Tomography With Magnetic Resonance Reference. University of Chicago. 2006.
26. Pepine CJ, Allen HD, Bashore TM, Brinker JA, Cohn LH, Dillon JC, Hillis LD, Klocke FJ, Parmley WW, Ports TA, et al. ACC/AHA guidelines for cardiac catheterization and cardiac catheterization laboratories. American College of Cardiology/American Heart Association Ad Hoc Task Force on Cardiac Catheterization. *Circulation*. 1991 Nov;84(5):2213-47.