

Análisis De Dos Métodos De Cuantificación De La Función Del Ventrículo Derecho Por RM Y Su Correlación Con Parámetros Ecocardiográficos.

Tipo: Comunicación Oral

Autores: Cecilia Vieira Leite, Miguel Couto Pérez, Amparo Martínez Monzonis, José Martín Carreira Villamor, Miguel Souto Bayarri

Objetivos

La cardi resonancia magnética (CRM) es la técnica de imagen más exacta y reproducible para la cuantificación de las dimensiones ventriculares. La CRM proporciona: a) información cuantitativa y cualitativa del tamaño y la función biventricular, b) información adicional acerca de la contractilidad segmentaria y del flujo sanguíneo transvalvular y c) presencia de necrosis o fibrosis focal. Por estas razones, se ha convertido en un método de imagen imprescindible en pacientes con determinadas enfermedades del ventrículo izquierdo (VI) y/o derecho (VD), con muchas publicaciones acerca de su utilidad clínica y su metodología¹⁻³.

La CRM se considera el patrón oro para la medición de las dimensiones y función sistólica del ventrículo izquierdo, empleando el método de Simpson para analizar una serie de eje corto (EC). Este procedimiento ocupa un lugar destacado como un potente marcador diagnóstico y pronóstico en una amplia variedad de enfermedades cardíacas¹⁻³.

El estudio de los volúmenes y función del ventrículo derecho también requiere de un análisis fiable, particularmente en el seguimiento de los pacientes con cardiopatías congénitas⁴⁻⁶, en enfermedades como la hipertensión pulmonar, la displasia arritmogénica del ventrículo derecho, el infarto de miocardio o la miocardiopatía dilatada.

Sin embargo, se acepta clásicamente que su evaluación es más difícil⁴⁻⁸ debido principalmente a la compleja morfología del ventrículo derecho.

Por ello, aunque la CRM es considerada también el patrón oro para la medición de las dimensiones del ventrículo derecho, aún existe controversia sobre cuál es el método de segmentación más adecuado para el análisis volumétrico del VD⁵ ya que algunos autores consideran que su evaluación en la serie eje corto es menos reproducible⁶.

Se ha sugerido como método alternativo la utilización de la serie cuatro cámaras (4C), que permite determinar con mayor facilidad los planos de la válvula tricúspide⁹⁻¹¹ como referencia inicial para determinar la función ventricular.

El objetivo de este trabajo fue comparar los dos métodos de segmentación del ventrículo derecho en los estudios de CRM, estudiar su variabilidad interobservador y realizar una correlación con parámetros ecocardiográficos.

Material y métodos

Selección de casos y adquisición de imágenes.

La población del estudio consistió en 74 pacientes consecutivos, remitidos para un estudio de CRM por diversas indicaciones clínicas (tabla 1).

De ellos, 23 fueron mujeres, con edades comprendidas entre 16 y 76 años (48 ± 17 años); y 51 hombres, con edades comprendidas entre 15 y 75 años (45 ± 18 años). El protocolo de estudio fue aprobado por el Comité Ético del hospital y todos los pacientes dieron su consentimiento informado por escrito antes de la realización de la prueba.

Los estudios se realizaron en el Servicio de Radiodiagnóstico del hospital con un equipo de resonancia magnética de 1,5 Tesla (Magnetom Symphony Quantum, Siemens Medical Systems, Erlangen, Germany). Se utilizó una antena de superficie acoplada en fase (*phased array*) de cuatro canales.

El protocolo de estudio consistió en la adquisición de secuencias *steady-state free precession* (SSFP) de todo el corazón con imágenes en modo cine, EG balanceadas, con sincronización cardíaca, adquiridas en apnea al final de la espiración, en los planos habituales: eje largo vertical (o dos cámaras), eje largo horizontal (o cuatro cámaras) y eje corto (estos dos últimos se utilizaron para la cuantificación de la función cardíaca). Se utilizaron además, dependiendo del motivo de referencia, otras secuencias (y planos) de uso habitual en CRM, apropiadas para cada indicación clínica: viabilidad miocárdica, estudios de flujo, etc.

En cada paciente se adquirieron típicamente entre 10 y 14 cortes consecutivos tanto en la serie de eje corto como en la serie cuatro cámaras. Se utilizó una matriz de 156 x 192 y se calcularon 25 fases para cada corte. Los parámetros de imagen fueron: grosor de corte: 6 mm; TR: 4,26 ms; TE: 1,3 ms; *flip angle*: 60°. El tiempo de apnea de cada corte fue entre 10 y 12 segundos.

Todos los casos fueron de calidad adecuada, y por lo tanto la segmentación del ventrículo derecho fue técnicamente viable.

A 36 pacientes se les practicó también una ecocardiografía el mismo día que se realizó el estudio de CRM. En ellos se empleó la medición del TAPSE (*tricuspid annular plane systolic excursion*), para la estimación de la función sistólica ventricular derecha. A 16 pacientes de los anteriores se les realizó también la medida del S' (*tricuspid annular systolic velocity*) (Figura 1).

Análisis de las imágenes.

Se cuantificó el volumen telediastólico (VTD) y el volumen telesistólico (VTS) del ventrículo derecho en las secuencias de cine empleando el método de Simpson que, brevemente, consiste en planimetrar en telediástole y telesístole el área endocárdica de todos los cortes de cada serie, lo que permite calcular para cada corte el volumen endocárdico, siendo la suma de todos los volúmenes endocárdicos de la serie el volumen telediastólico (VTD). El mismo proceso se repite en telesístole para obtener el volumen telesistólico (VTS). Se calculó la fracción de eyección en porcentaje (%) como $(VTD-VTS) \cdot 100 / VTD$. A continuación se detallan los criterios utilizados para trazar los contornos del VD (figura 2).

Los cortes basales, próximos al plano valvular, se revisaron cuidadosamente, para no incluir la aurícula derecha. Los músculos papilares y trabéculas se consideraron parte de los volúmenes ventriculares. Las trabeculaciones propias del ventrículo derecho se han incluido en el cálculo de los volúmenes y de la fracción de eyección en ambas series porque garantiza una menor variabilidad interoperador. Se ha prestado especial atención a la inclusión completa del tracto de salida^{12,13}.

El análisis de la función ventricular se llevó a cabo en una estación de trabajo externa (Leonardo, Siemens Medical Solutions, Erlangen, Alemania) equipada con un paquete de software dedicado al post-procesado de las imágenes adquiridas en los estudios de CRM (Argus, Syngo, Siemens Medical Solutions, Erlangen, Alemania), basado en el trazado manual de los contornos ventriculares, método considerado como el estándar de referencia en la práctica clínica actual. La identificación visual de las imágenes de máxima relajación diastólica y de máxima contracción sistólica, a través de las secuencias en modo cine adquiridas en ambas series, determinó la fase final de diástole (telediástole) y la fase final

de sístole (telesístole), respectivamente. Los contornos ventriculares se trazaron manualmente en una imagen telediastólica medial y se propagaron a través de las imágenes telediastólicas restantes, de la base al ápex ventricular. Una vez corregidos por el usuario, los contornos resultantes se propagaron de la telediástole a la telesístole, y se corrigieron nuevamente en caso de ser necesario. En 22 de los pacientes estudiados, el trazado de los contornos fue repetido por un segundo observador.

Análisis estadístico.

Los parámetros valorados se presentan como la media \pm desviación estándar. Se comprobó una distribución normal de los datos con el test de Kolmogorov-Smirnov y se utilizó la prueba de la "t" de Student para muestras pareadas con el fin de determinar la significación estadística de las diferencias halladas entre los resultados obtenidos mediante ambos métodos. El intervalo de confianza se definió en el 95% y los valores de $p \leq 0.05$ fueron interpretados como estadísticamente significativos. Para el análisis de la correlación lineal se utilizó el test de correlación de Pearson. Para evaluar la concordancia entre ambos métodos se utilizó el método propuesto por Bland y Altman¹⁴.

Imágenes en esta sección:

Tabla 1. Pacientes estudiados en función del motivo de realización del estudio con cardi resonancia magnética (CRM).

| Motivo estudio CRM | n | % |
|--|----|-------|
| Infarto de miocardio previo | 8 | 10,8 |
| Sospecha de miocarditis | 9 | 12,15 |
| Micardiopatía dilatada | 4 | 5,4 |
| Micardiopatía hipertrófica | 10 | 13,5 |
| Micardiopatía no compactada | 2 | 2,7 |
| Amiloidosis | 1 | 1,35 |
| Agenesia del pericardio | 1 | 1,35 |
| Tetralogía de Fallot corregida | 14 | 18,9 |
| Sospecha de displasia arritmogénica del ventrículo derecho | 20 | 27 |
| Trombo apical | 1 | 1,35 |
| Síndrome de Tako-Tsubo | 1 | 1,35 |
| Otras miocardopatías congénitas | 3 | 4,05 |
| Total | 74 | 100 |

Tbl. 1: Tabla 1. Pacientes estudiados en función del motivo de realización del estudio con cardi resonancia magnética (CRM).

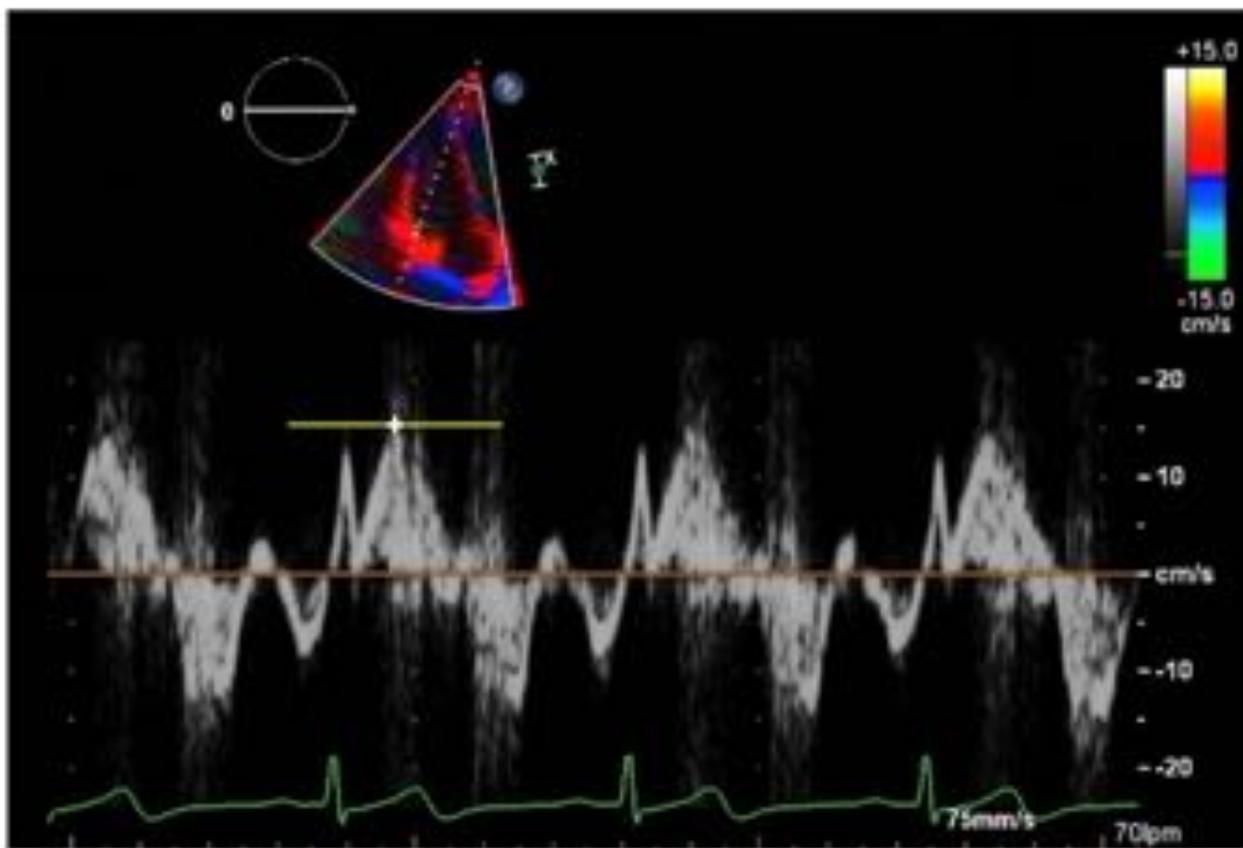
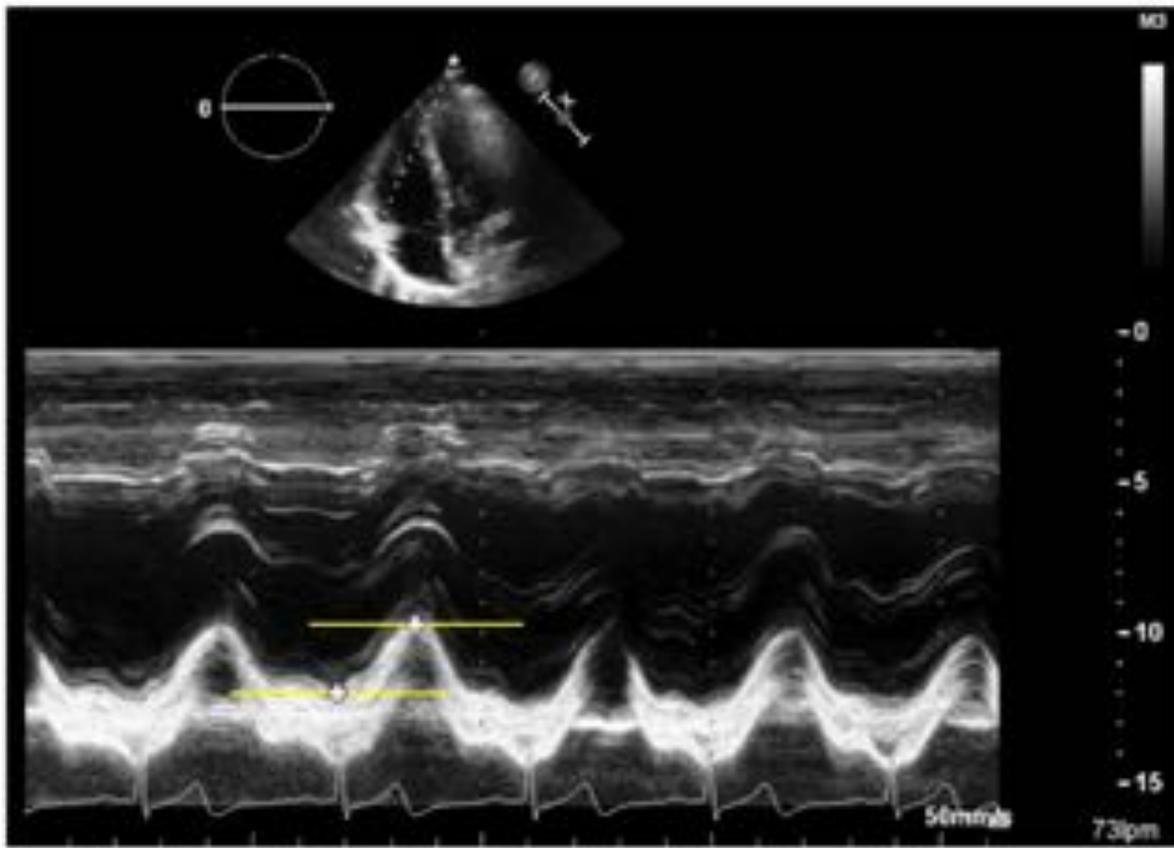


Fig. 2: Figura 1. Cálculo mediante ecocardiografía de la excursión sistólica del plano del anillo de la válvula tricúspide (TAPSE) en el plano apical 4C (arriba). Cálculo de la velocidad S' del anillo tricúspideo por Doppler tisular (abajo).

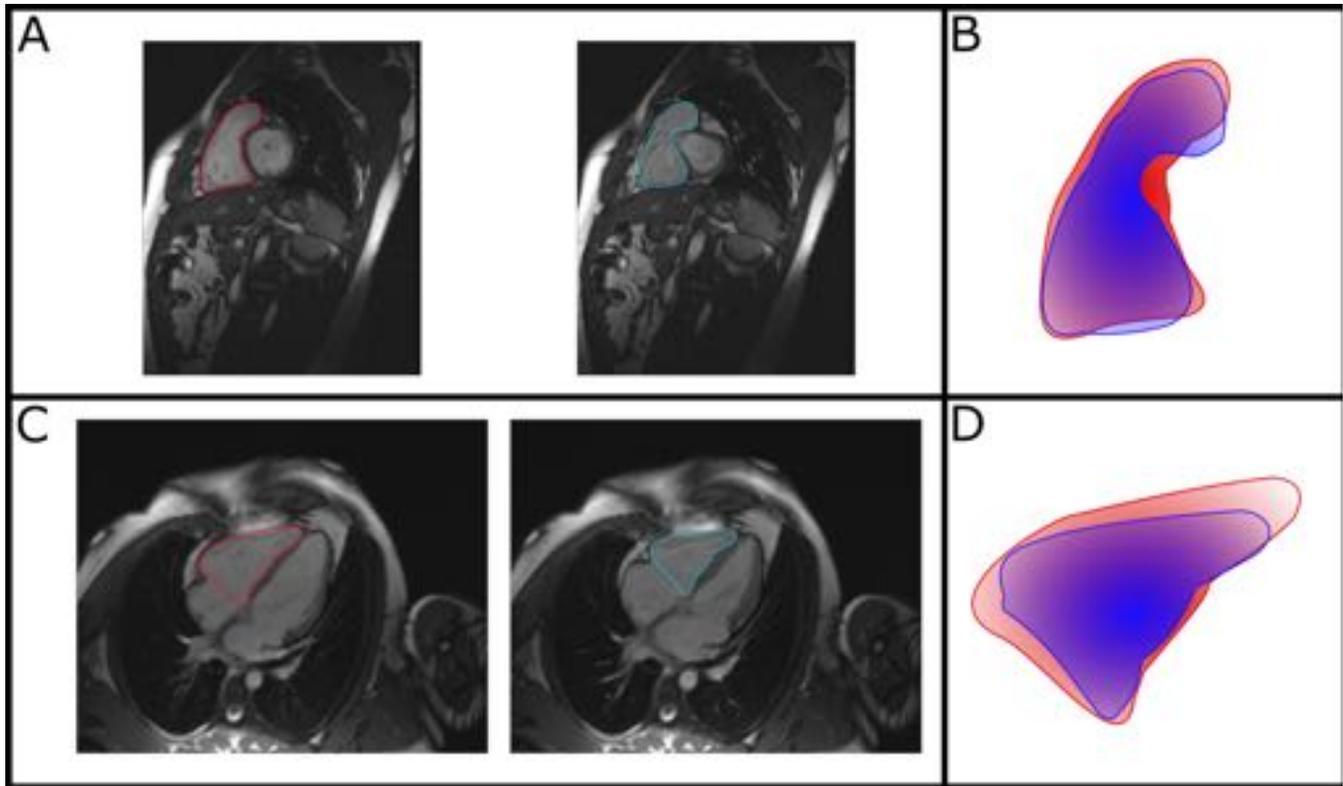


Fig. 3: Figura 2. Ejemplo de segmentación del VD con cardi resonancia magnética (CRM). A) Segmentación en un corte de la serie EC del VD en telediástole (izquierda) y telesístole (derecha). B) Superposición de los contornos obtenidos en A. C) Segmentación en un corte de la serie 4C del VD en telediástole (izquierda) y telesístole (derecha). D) Superposición de los contornos obtenidos en C. Tanto B como D, la diferencia de las áreas de los contornos indica el volumen expulsado en ese corte.

Resultados

En nuestro estudio, no se observaron diferencias estadísticamente significativas al cuantificar los parámetros de función ventricular derecha con métodos de segmentación manual en las series eje corto y cuatro cámaras ($p > 0.05$), tanto en pacientes con ventrículos normales como dilatados. La correlación entre ambas segmentaciones al estimar el VTD y el VTS fue excelente ($r > 0,95$ en ambos casos), disminuyendo levemente en el caso de la fracción de eyección ($r > 0,9$), como se muestra en la tabla 2. Los resultados obtenidos para los parámetros ventriculares se muestran también en la tabla 2. La diferencia media observada entre ellos (EC – 4C) fue -0.5 ± 4.3 % para la FE; -0.6 ± 9.3 para el VTD; 0.2 ± 6.4 para el VTS. La figura 3 representa estos datos.

En 22 pacientes se analizó la variabilidad interobservador para los tres parámetros, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 3. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre

ambas segmentaciones. La figura 4 representa estos datos.

La correlación entre la FE del ventrículo derecho medida con CRM y ambos métodos ecocardiográficos fue pobre. Para el TAPSE se obtuvo un coeficiente de correlación $r = 0.15$. Lo mismo ocurrió con el método S', con un coeficiente de correlación $r = 0.15$. La figura 5 representa estos datos.

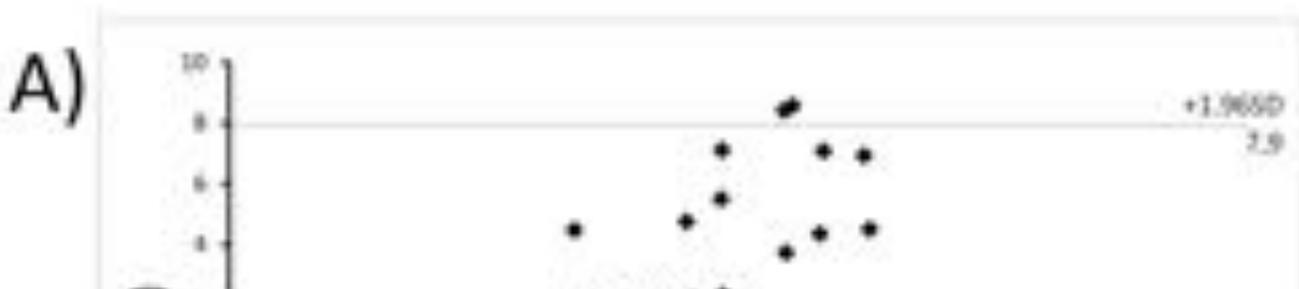
Imágenes en esta sección:

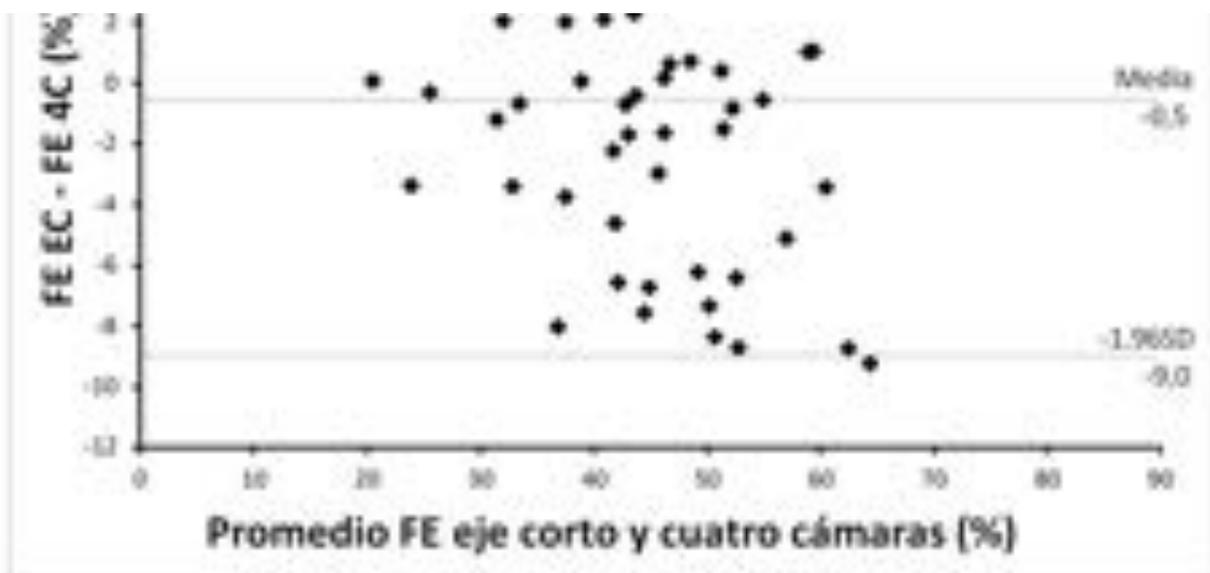
Tabla 3. Cuantificación de los parámetros de función ventricular derecha según los métodos de segmentación en cuatro cámaras y eje corto. Diferencias entre observadores.

| | Observador 1 | | Observador 2 | | Interobservador | | |
|----|--------------|-------|--------------|-------|-----------------|--------|--------|
| | Media | DE | Media | DE | R | P | |
| EC | | | | | | | |
| | FE (%) | 44,9 | 7,1 | 44,5 | 8,0 | 0,9627 | 0,2425 |
| | VTD (ml) | 104,9 | 35,2 | 104,1 | 33,9 | 0,9925 | 0,2261 |
| | VTS (ml) | 58,7 | 24,6 | 59,4 | 25,0 | 0,9903 | 0,1708 |
| 4C | | | | | | | |
| | FE (%) | 45,6 | 6,3 | 45,5 | 7,3 | 0,8536 | 0,4831 |
| | VTD (ml) | 103,1 | 35,1 | 103,3 | 34,4 | 0,9849 | 0,4366 |
| | VTS (ml) | 57,0 | 23,4 | 57,4 | 22,8 | 0,9701 | 0,3638 |

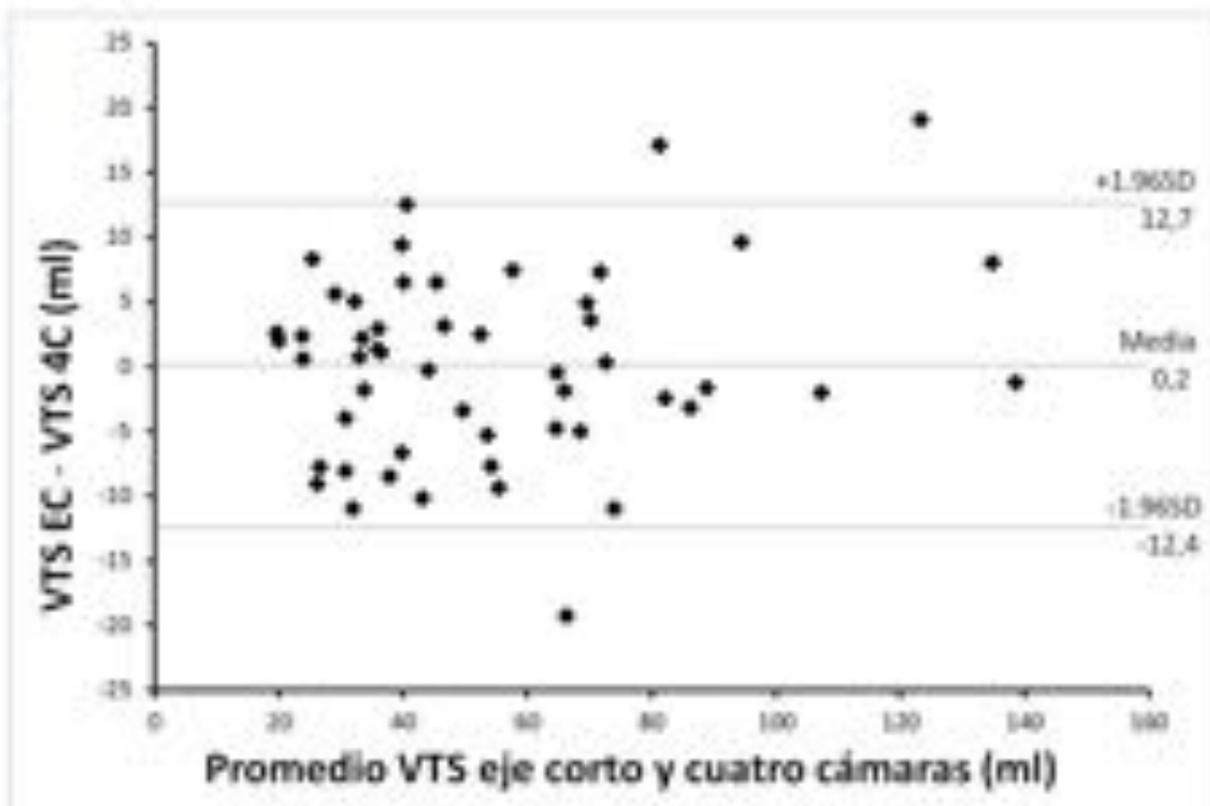
EC: eje corto; 4C: cuatro cámaras; DE: desviación estándar; R: coeficiente de correlación de Pearson; FE (%): fracción de eyección en porcentaje; VTD (ml): volumen telediastólico en mililitros; VTS (ml): volumen telesistólico en mililitros; Se considera P significativo si $\leq 0,05$.

Tbl. 4: Tabla 2. Cuantificación de los parámetros de función ventricular derecha según los métodos de segmentación en cuatro cámaras y eje corto. Estudio sobre el número total y subconjuntos seleccionados.





B)



C)



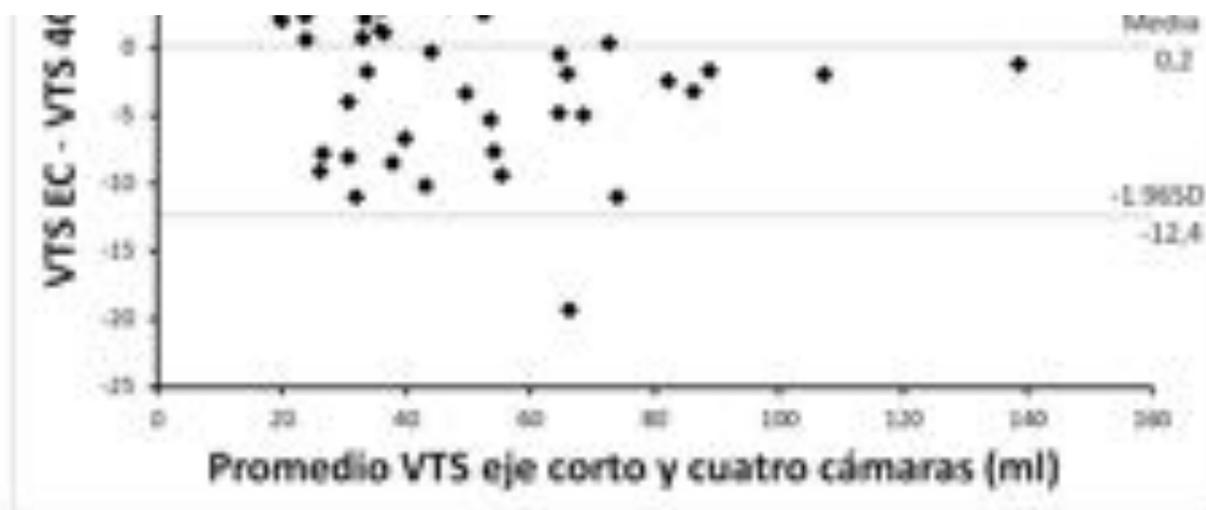


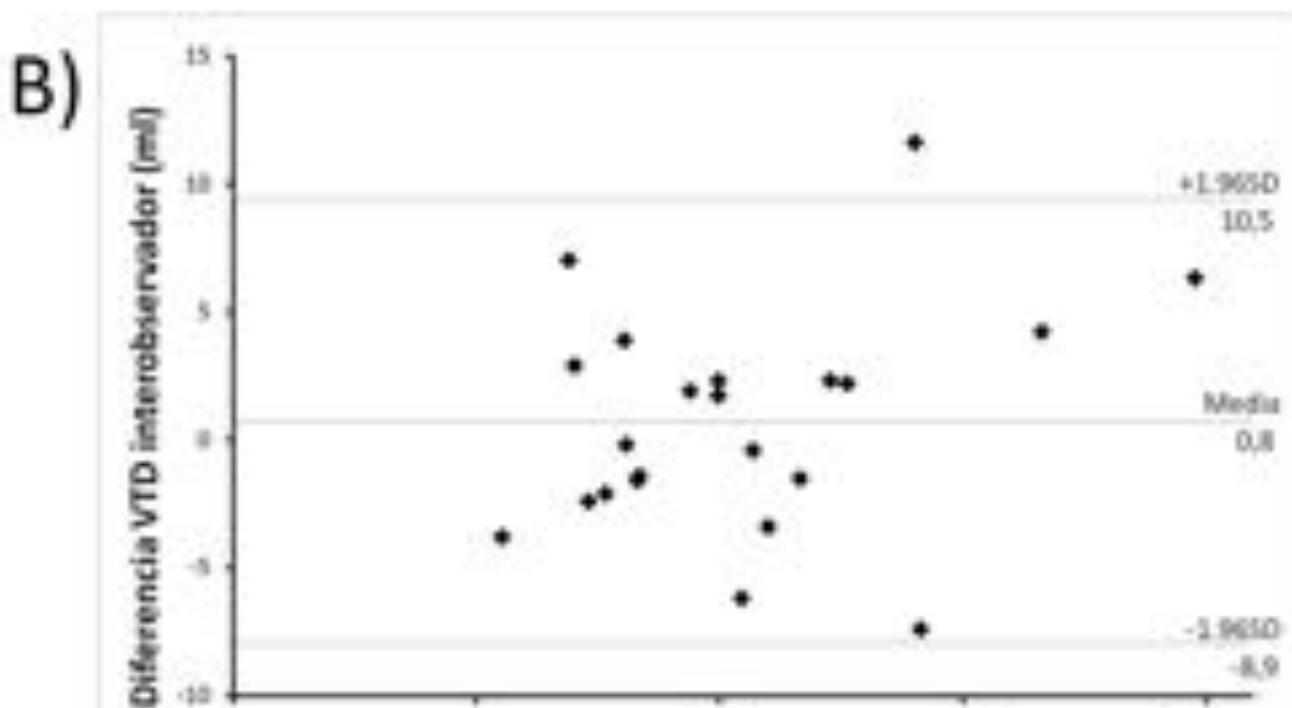
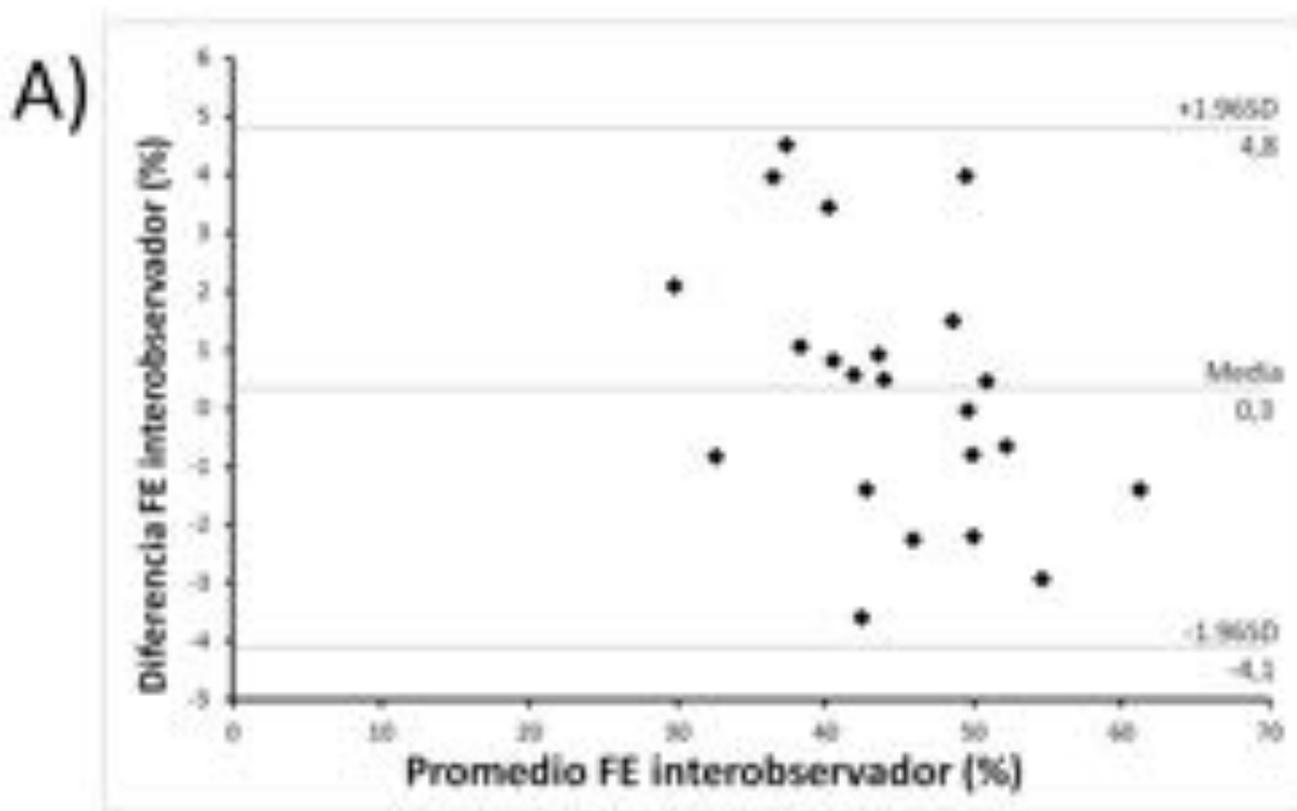
Fig. 5: Figura 3. Gráficos de Bland-Altman de los parámetros de función ventricular derecha en eje corto (EC) en comparación con cuatro cámaras (4C). A) Fracción de eyección (FE). B) Volumen telediastólico (VTD). C) Volumen telesistólico (VTS).

Tabla 2. Cuantificación de los parámetros de función ventricular derecha según los métodos de segmentación en cuatro cámaras y eje corto. Estudio sobre el número total y subconjuntos seleccionados.

| | EC | | 4C | | EC vs 4C | | |
|-----------------------------|----------|-------|-------|-------|----------|--------|--------|
| | Media | DE | Media | DE | R | P | |
| Total (n=74) | FE (%) | 45,5 | 9,7 | 46,0 | 9,7 | 0,9016 | 0,1535 |
| | VTD (ml) | 97,6 | 36,7 | 98,1 | 34,7 | 0,9673 | 0,2921 |
| | VTS (ml) | 54,7 | 27,5 | 54,6 | 26,2 | 0,9728 | 0,4174 |
| Dilatación del VD (n=34) | FE (%) | 42,2 | 9,4 | 42,7 | 9,6 | 0,9252 | 0,2213 |
| | VTD (ml) | 115,3 | 38,0 | 114,8 | 34,7 | 0,9804 | 0,3391 |
| | VTS (ml) | 68,1 | 29,8 | 67,2 | 27,9 | 0,9817 | 0,1970 |
| Miocardiopatías (n=17) | FE (%) | 46,6 | 11,4 | 47,3 | 10,2 | 0,9388 | 0,2270 |
| | VTD (ml) | 89,0 | 25,9 | 88,8 | 26,9 | 0,9276 | 0,4623 |
| | VTS (ml) | 49,2 | 22,6 | 48,5 | 22,3 | 0,9587 | 0,3223 |
| Tetralogía de Fallot (n=14) | FE (%) | 38,6 | 10,6 | 37,9 | 11,1 | 0,9338 | 0,2511 |
| | VTD (ml) | 143,4 | 37,1 | 139,5 | 32,7 | 0,9731 | 0,0693 |
| | VTS (ml) | 89,0 | 32,0 | 87,5 | 29,3 | 0,9768 | 0,2182 |

EC: eje corto; 4C: cuatro cámaras; DE: desviación estándar; R: coeficiente de correlación de Pearson; VD: ventrículo derecho; FE (%): fracción de eyección en porcentaje; VTD (ml): volumen telediastólico en mililitros; VTS (ml): volumen telesistólico en mililitros. Se considera P significativo si $\leq 0,05$.

Tbl. 6: Tabla 3. Cuantificación de los parámetros de función ventricular derecha según los métodos de segmentación en cuatro cámaras y eje corto. Diferencias entre observadores.



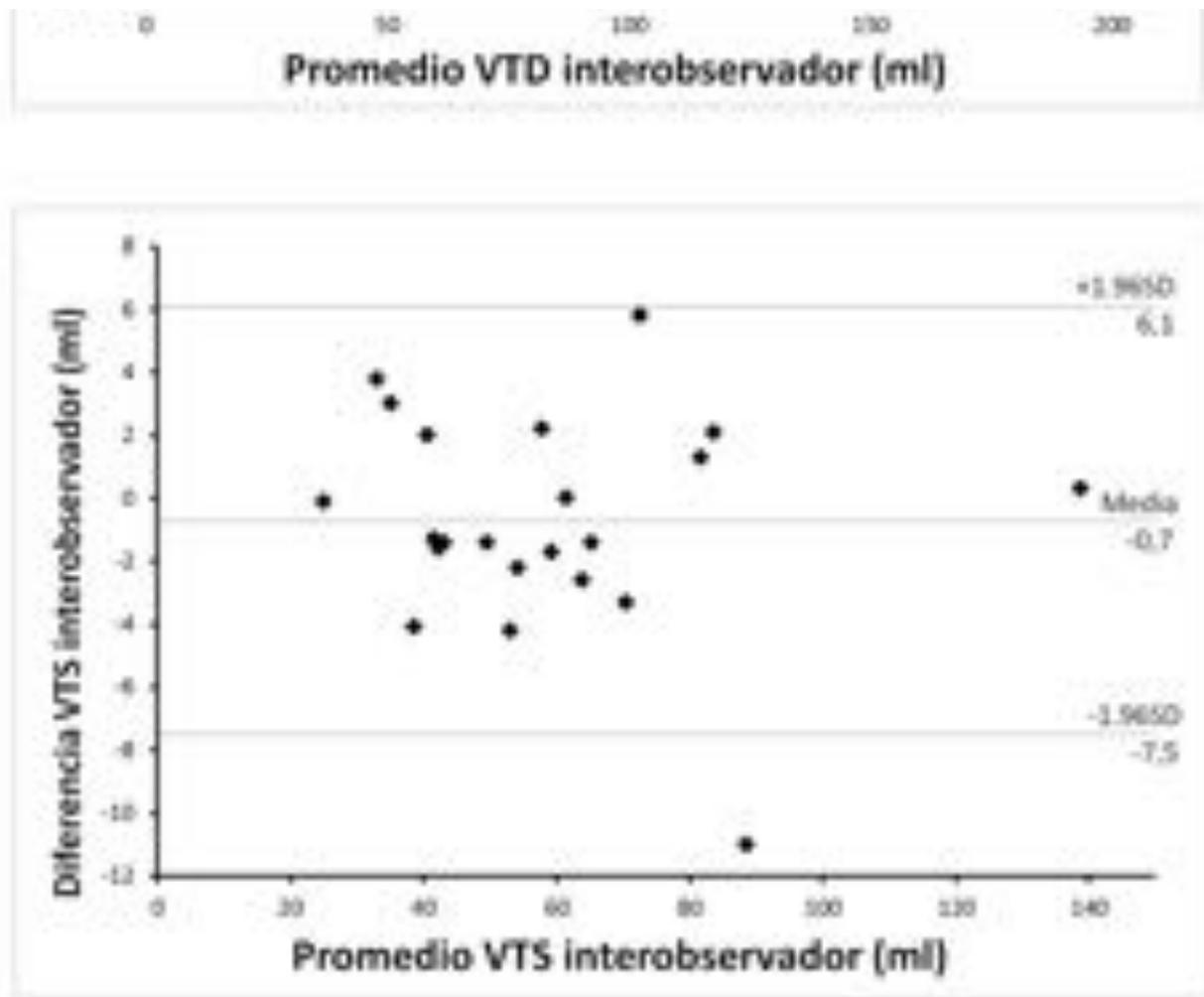


Fig. 7: Figura 4. Gráficos de Bland-Altman de los parámetros de función ventricular derecha en plano eje corto (EC) comparando las medidas de dos observadores diferentes. A) Fracción de eyección (FE). B) Volumen telediastólico (VTD). C) Volumen telesistólico (VTS).

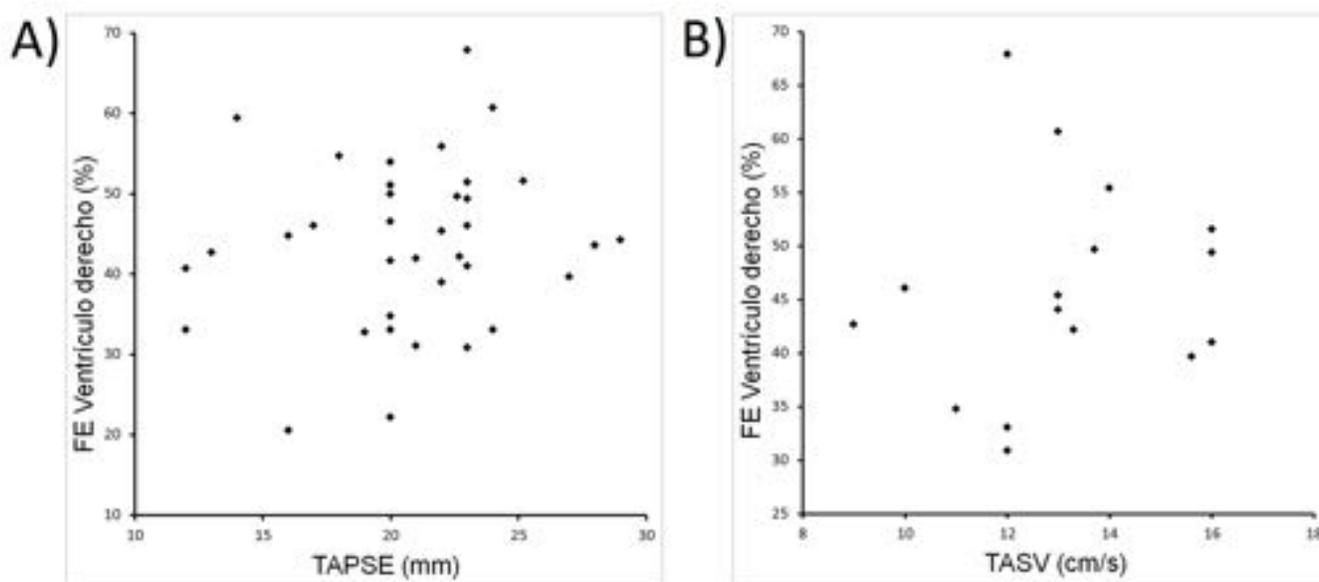


Fig. 8: Figura 5. Gráficos de dispersión ilustrando la correlación entre la fracción de eyección medida en eje corto (EC) y A) método ecocardiográfico TAPSE, B) método ecocardiográfico S’.

Conclusiones

En conclusión, nuestros resultados indican que tanto la serie de EC como la serie de 4C son apropiadas para la segmentación y la medición de la función ventricular derecha, tanto en ventrículos normales como dilatados, siempre que se preste especial cuidado a la correcta delineación del área tricuspídea, la válvula pulmonar y la cara inferior del corazón. Al existir una buena correlación de los parámetros obtenidos con ambos planos, la serie de EC puede ser suficiente por sí misma en la mayoría de los pacientes. No obstante, la serie de 4C se presenta como una alternativa útil al plano EC en pacientes en que puede haber dificultad para el análisis de los cortes más basales, visto que ambos métodos son muy reproducibles. La correlación entre la FE del ventrículo derecho y los métodos ecocardiográficos S’ y TAPSE fue pobre, corroborando la conocida dificultad de la ecocardiografía en estimar la función del VD.

Bibliografía / Referencias

1. Freling HG, van Wijk K, Jaspers K, Pieper PG, Vermeulen KM, van Swieten JM, Willems TP. Impact of right ventricular endocardial trabeculae on volumes and function assessed by CMR in patients with tetralogy of Fallot. *Int J Cardiovasc Imaging* 2013; 29(3):625-631.
2. Bastarrika G, Gavira JJ, Abizanda G, Alonso-Burgos A, Ilzarbe M, Prósper F. Función, volúmenes y masa ventricular izquierda por resonancia magnética en estudios realizados en un modelo animal con secuencias SSFP y FLASH: comparación de los resultados. *Radiología*. 2009; 51:156-62.
3. Sardanelli F, Quarenghi M, Di Leo G, Boccaccini L, TechEng, Schiavi A. Segmentation of cardiac

- cine MR images of left and right ventricles: Interactive semiautomated methods and manual contouring by two readers with different education and experience. *J Magn Reson Imaging*. 2008; 27:785-792.
4. Von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Tkachenko V, Winter L, Rieger J, Thalhammer C, Hezel F, Graessl A, Dieringer MA, Niendorf T, Schultz-Menger J. Assessment of the right ventricle with cardiovascular magnetic resonance at 7 Tesla. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013; 15: 23.
 5. Clarke CJ, Gurka MJ, Norton PT, Kramer CM, Hoyer AW. Assessment of the accuracy and reproducibility of RV volume measurements by CMR in congenital heart disease. *JACC: Cardiovascular Imaging* 2012; 5(1):28-37.
 6. Alfakih K, Plein S, Bloomer T, Jones T, Ridgway J, Sivananthan M. Comparison of right ventricular volume measurements between axial and short axis orientation using steady-state free precession magnetic resonance imaging. *J Mag Reson Imaging*. 2003; 18:25-32.
 7. Coghlan JG, Davar J. How should we assess right ventricular function in 2008? *Eur Heart J supp*. 2007; 9:22-28.
 8. Maceira AM, Prasad SK, Khan M, Pennell D. Reference right ventricular systolic and diastolic function normalized to age, gender and body surface area from steady-state free precession cardiovascular magnetic resonance. *European Heart Journal*. 2006; 27:2879-88.
 9. Geva T. Repaired tetralogy of Fallot: the roles of cardiovascular magnetic resonance in evaluating pathophysiology and for pulmonary valve replacement decision support. *J Cardiovasc Mag Reson*. 2011; 13:9-45.
 10. Mooij CF, de Wit CJ, Graham DA, Powell AJ, Geva T. Reproducibility of MRI measurements of right ventricular size and function in patients with normal and dilated ventricles. *J Magn Reson Imaging*. 2008; 28:67-73.
 11. Thunberg P, Emilsson K, Rask P, Kähäri A. Separating the left cardiac ventricle from the atrium in short axis MR images using the equation of the atrioventricular plane. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2008; 28:222-228.
 12. Calvillo P, Martí-Bonmatí L, Chaustre F, Roldán I, Mora V, Peláez a, et al. Cuantificación de la función, perfusión y realce tardío del ventrículo izquierdo no compactado mediante resonancia magnética. *Radiología*. 2009; 51:45-56.
 13. Papavassiliu T, Köhl HP, Schröder M, Süselbeck T, Bondarenko O, Böhm CK, et al. Effect of endocardial trabeculae on left ventricular measurement reproducibility at cardiovascular MR imaging. *Radiology*. 2005; 236:57-64.
 14. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986; 8476:307-10.