

Precisión y eficiencia de un software automático para cuantificar los volúmenes del ventrículo izquierdo por cardio-resonancia magnética (CRM)

Tipo: Comunicación Oral

Autores: Pablo Bartolomé Leal, Paula García Barquín, Almudena Quílez Larragan, Meylin Caballeros Lam, Jesús Pueyo Villoslada, Gorka Bastarrika Alemañ

Objetivos

Evaluar la precisión, fiabilidad, y eficiencia temporal de un software de segmentación del ventrículo izquierdo totalmente automatizado recientemente comercializado, para calcular los volúmenes y función del VI, comparado con la segmentación manual convencional.

Material y métodos

Este estudio de cohortes consistió en 67 individuos consecutivos con enfermedad isquémica conocida o sospechada, a los que se les indicó una RM cardíaca de estrés con adenosina. Todos los pacientes estaban estables y en ritmo sinusal en el momento de la exploración.

Los pacientes con claustrofobia severa, objetos no compatibles con RM, portadores de marcapasos/DAI e insuficiencia renal (filtrado glomerular < 30 ml/min) fueron excluidos. A los pacientes se les indicó evitar alimentos y bebidas con cafeína en las 24h anteriores a la exploración. El comité institucional aprobó el protocolo del estudio.

Protocolo de adquisición de RM.

Los estudios de RM cardíaca se realizaron en un aparato de 1.5 T (MAGNETOM Aera, Siemens Healthcare, Erlangen, Germany) empleando una bobina de 18 canales. Para valorar la función ventricular se emplearon secuencias convencionales de precesión libre del estado estacionario (SSFP) con sincronización-ECG retrospectiva, obtenidas en los planos cuatro cámaras, dos cámaras y eje corto, siguiendo los siguientes parámetros: TR: 2.79 ms, TE: 1.12 ms, *flip angle*: 80, matriz: 180×240, *field of view*: 350×262 mm, 25 fases por ciclo cardíaco. Resolución en el plano de 1.5×1.5 mm. En el eje corto se obtuvieron 9-12 imágenes contiguas de 6 mm de grosor con un intervalo del 20% entre ellas.

El protocolo de perfusión estrés/reposo se realizó tras la inyección de 140 mcg/kg/min de adenosina durante 3 minutos. Una dosis total de Gadobutrol (Gadovist, Bayer Schering Pharma AG, Berlin-Wedding, Germany) de 0.2 mmol/kg se separó entre a adquisición de estrés y la de reposo. Se

obtuvieron cortes representativos del eje corto del ventrículo izquierdo basal, medio y apical. La presencia de realce tardío de gadolinio se valoró con una secuencia *PSIR* (Phase Sensitive Inversion Recovery) en los ejes corto y largo.

Todos los estudios se transfirieron a una estación de trabajo externa para su análisis, y fueron archivados permanentemente en el *PACS*. (Picture Archives and Communication System).

Análisis de la RM Cardíaca

Dos lectores independientes evaluaron ciegamente los estudios de RMC. Arbitrariamente, la base del corazón se definió como la imagen más basal que contenía al menos un 50% de la circunferencia del VI rodeada de miocardio, y el ápex como la última imagen con luz visible.

Para la segmentación manual se emplearon las imágenes sucesivas del eje corto de la base al ápex. Las fases telediastólica y telesistólica se asignaron manualmente como las imágenes con el mayor y menor volumen ventricular, respectivamente.

Los contornos endocárdicos se dibujaron manualmente en telesístole y telediástole con la ayuda de una herramienta de software estándar (Argus; Siemens Medical Solutions, Forchheim, Germany) para obtener los parámetros ventriculares. ([Fig. 1](#)).

Para la segmentación automática se cargaron las imágenes de eje largo y eje corto en un software comercialmente disponible (*syngo*.MR Cardiac 4D Ventricular Function, Siemens Healthcare). Esta herramienta requiere definición manual del ápex, cavidad sanguínea, punto de inserción anterior del ventrículo derecho y plano valvular mitral. Con un click después el software automáticamente dibuja los contornos epi- y endocárdicos. Para el propósito del estudio, los contornos generados automáticamente no se ajustaron.

Al igual que con el trazado manual, los músculos papilares se incluyeron en el análisis volumétrico. En todos los pacientes se calcularon la fracción de eyección del VI (EF), el volumen telediastólico (VTD), el volumen telesistólico (VTS) y volumen/latido (VL).

Para cada paciente se tomó nota del tiempo requerido para obtener los contornos tanto manualmente como con el modo automático.

Análisis estadístico

Todos los datos se recogen como media±desviación estándar. La distribución normal de los datos se analizó con el test Kolmogorov-Smirnov. Las diferencias entre los parámetros ventriculares medidos con cada método se compararon empleando el test de la t de Student para muestras emparejadas. Para la correlación lineal se calculó el coeficiente de correlación de Pearson. Para valorar el grado de concordancia y los errores sistemáticos entre ambos algoritmos de segmentación se obtuvieron gráficos de Bland y Altman y coeficientes de correlación de Lin (CCC) para cada variable. Los análisis estadísticos se realizaron con herramientas de software comercialmente disponibles (SPSS for Mac (version 20.0/SPSS Inc., Chicago, IL)) y MedCalc (version 9.3.0.0. MedCalc Software, Mariakerke, Belgium). Se consideró como estadísticamente significativo un valor p de 0.05 o inferior.

Imágenes en esta sección:

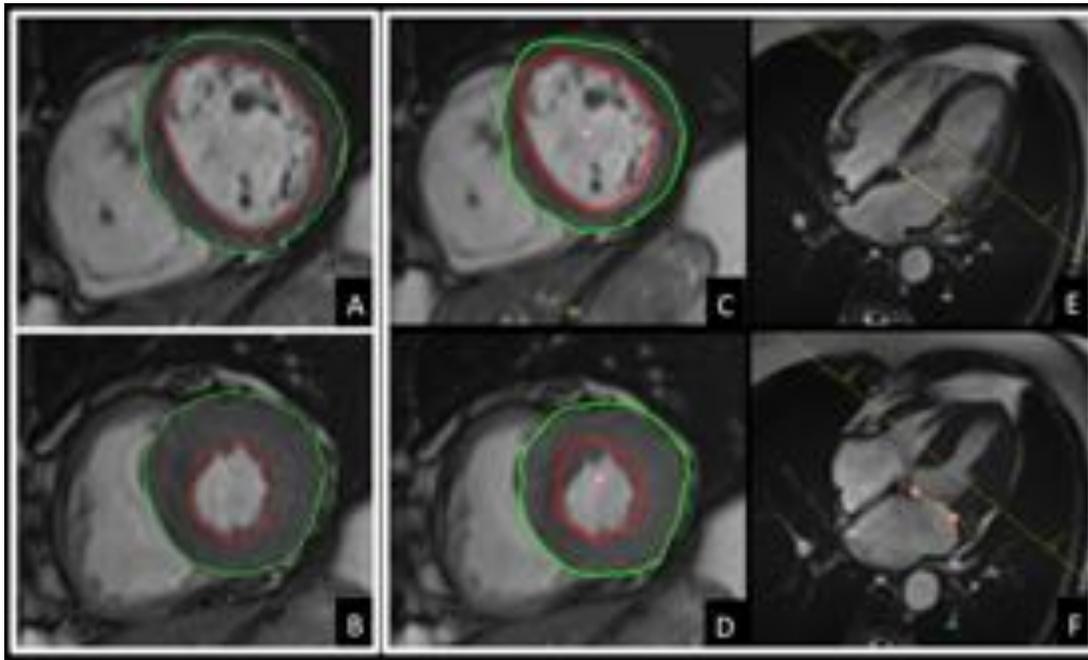


Fig. 1: Imagen de eje corto medioventricular de una RMC en un paciente de 62 años con sospecha de enfermedad isquémica. A, C, E: imágenes telediastólicas. B, D, F: imágenes telesistólicas. A, B: segmentación manual. . C-F: Segmentación con software automatizado. se muestran los contornos trazados manualmente (A, B) y los trazados usando el software automático (C, D). Se muestra el plano valvular mitral y su seguimiento por parte del software durante la contracción ventricular. (E, F).

Resultados

Resultados

Las características de los pacientes y las indicaciones clínicas para la RMC de perfusión estrés/reposo se muestran en la [Figura 2](#). La población del estudio fue predominantemente masculina (53 varones, 14 mujeres) con una edad media de 62.5 ± 10.9 años (rango de 36-85 años) y una superficie corporal media de 1.93 ± 0.2 m². La frecuencia cardíaca media durante la exploración fue de 72.1 ± 14.5 latidos por minuto (lpm) (rango de 49-114 lpm).

Se realizó una RMC en 21 pacientes con enfermedad coronaria conocida y revascularización quirúrgica o percutánea previa, 21 con angina típica o dolor torácico atípico, 8 con tests de estrés no concluyentes, 5 con anomalías en el ECG, 4 con sospecha de miocardiopatía, 4 con episodios sincopales, y 4 con disnea. El test de estrés con adenosina demostró isquemia inducible en 14 individuos (20.9%). Se encontraron áreas de realce tardío de gadolinio que representaban infartos previos en 14 individuos.

Todos los estudios fueron de calidad diagnóstica suficiente para las medidas ventriculares. Una segmentación correcta, tanto manual como automática fue posible en todos los casos.

Cuantificación de la función y los volúmenes ventriculares.

La FE media calculada tras el trazado manual fue de $61.76 \pm 11.98\%$, mientras que con el software automático fue $58.81 \pm 12.45\%$ ($p < 0.001$).

La cuantificación de los volúmenes ventriculares no mostró diferencias estadísticamente significativas al

estimar el VTD (156.99 ± 52.58 mL y 158.98 ± 55.39) para trazado manual and automatizado, respectivamente, $p= 0.15$), mientras que el VTS (63.30 ± 41.23 mL vs. 69.71 ± 46.02 mL) y el VL (93.69 ± 25.31 mL vs. 89.26 ± 24.71 mL) difirieron significativamente ($p < 0.01$). Los datos están resumidos en la [Figura 3](#).

Concordancia entre algoritmos de segmentación

Los gráficos de Bland y Altman y el índice CCC mostraron un acuerdo excelente entre los algoritmos de segmentación evaluados. Globalmente, la herramienta de segmentación automática mostró una leve pero sistemática infraestimación de la fracción de eyección del VI (diferencia media de $2.95 \pm 3.94\%$) y volumen sistólico (diferencia media de 4.43 ± 8.53 mL), y una mínima sobreestimación del volumen telesistólico (diferencia media de 6.41 ± 10.77 mL) Los gráficos de Bland y Altman mostrando el acuerdo y los errores sistemáticos entre algoritmos se muestran en la [Figura 4](#).

La correlación para la FE y todos los volúmenes del VI entre ambos métodos fue excelente. ($r \geq 0.94$). El índice de correlación de Lin también mostró una fiabilidad excelente para todos los parámetros ventriculares. (CCC para la FE= 0.92, CCC para el VTD= 0.98, CCC para el VTS= 0.96, CCC para el VL= 0.93).

Eficiencia temporal

El tiempo medio requerido para el delineado manual para la evaluación del ventrículo izquierdo fue de 414.7 ± 91 s. El cálculo totalmente automatizado de los parámetros ventriculares se realizó en un tiempo medio de 85 ± 16.11 s. (reducción media de tiempo del 79%)

El tiempo total requerido para la evaluación de la FE y volúmenes del VI difirió significativamente entre ambos métodos ($p < 0.001$).

Imágenes en esta sección:

Género (hombres/mujeres)	53/14
Edad (años)	62.5 ± 10.9
Frecuencia cardíaca media (lpm)	72.1 ± 14.5
Superficie corporal (m ²)	1.9 ± 0.2
Indicación clínica para RMC	
- Enfermedad coronaria previa revascularizada	21
- Angina/dolor atípico	21
- Estudio de estrés previo no concluyente	8
- ECG anormal	5
- Cardiomiopatía	4
- Síncope	4
- Disnea	4

Fig. 2: Características demográficas e indicaciones clínicas para la realización de RMC.

	Manual	Auto	Valor p	Valor r	CCC	Bland-Altman
FE (%)	61.76±11.98	58.81±12.45	<0.001	0.95	0.92	2.95 (1.99 a 3.91)
VTD (mL)	156.99±52.58	158.98±55.39	0.15	0.98	0.98	1.99 (-4.71 a 0.73)
VTS (mL)	63.3±41.23	69.71±460.2	<0.001	0.98	0.96	6.41 (-9.03 a -3.78)
VL (mL)	93.69±25.31	82.26±24.71	<0.001	0.94	0.93	4.43 (2.34 a 6.51)

FE: Fracción de eyección. VTD: Volumen telediastólico. VTS: Volumen telesistólico.
VL: lumen/latido.

Fig. 3: Volúmenes ventriculares izquierdos y función determinados tanto por el método manual como por la herramienta de software automático

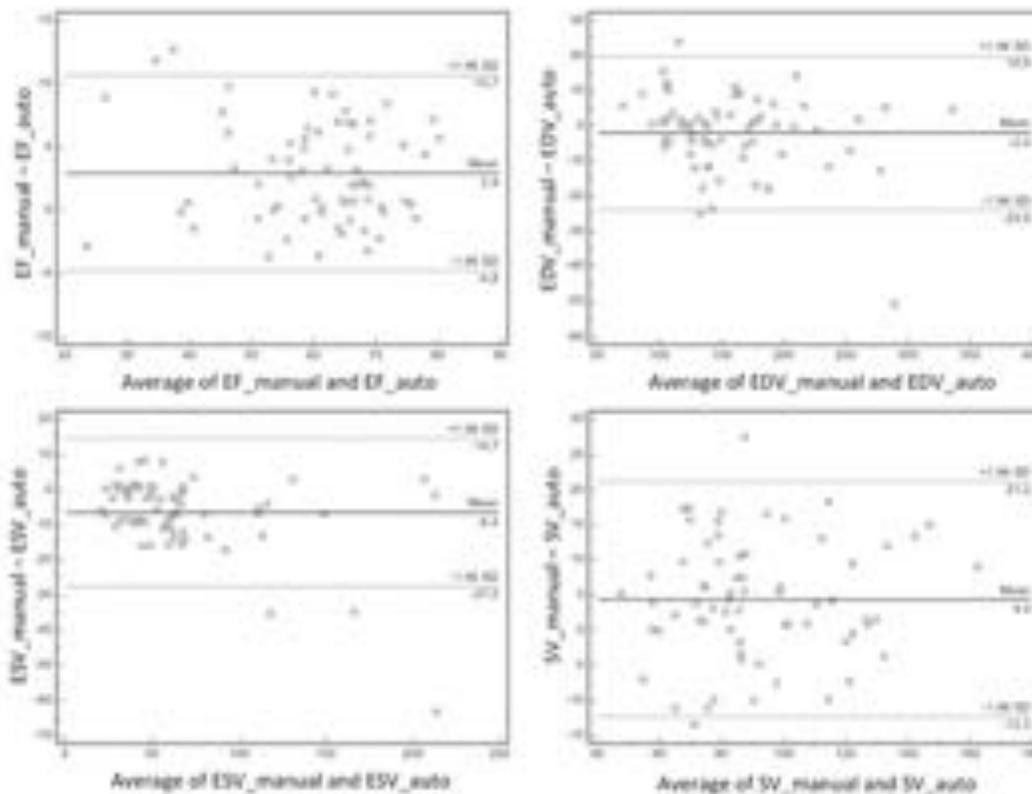


Fig. 4: Gráficos de Bland y Altman mostrando el acuerdo entre el trazado manual (manual) y el automático (auto) para el cálculo de la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FE), volumen telediastólico (EDV), volumen telesistólico (ESV), y volumen/latido.

Conclusiones

El hallazgo principal de este estudio es que la herramienta de software comercial totalmente automática permitió una estimación fiable de los volúmenes ventriculares izquierdos y de la fracción de eyección, con un ahorro de tiempo considerable.

Las medidas obtenidas de dicho software mostraron una mínima infraestimación de la FE del VI, y del volumen/latido, y una ligera sobreestimación del VTS. El software automático requirió aproximadamente 1/5 del tiempo que se emplea habitualmente con el trazado lineal manual.

Los volúmenes y fracción de eyección del VI poseen significado pronóstico en pacientes con enfermedad isquémica cardíaca. Por lo tanto, el cálculo de dichos parámetros debe ser preciso y reproducible. En la práctica clínica habitual se hace generalmente empleando el método de Simpson, trazando manualmente los contornos miocárdicos para obtener datos volumétricos. Este proceso, aunque es aceptado como el estándar de referencia, consume mucho tiempo y puede tener un impacto negativo, sobrecargando el flujo de trabajo en áreas de RMC. Es más, con el avance en los equipos de RM y en diseño de secuencias, los protocolos de RMC se están volviendo más complejos y prolongados. Por ejemplo, El estudio de perfusión en reposo y estrés farmacológico se está incluyendo rutinariamente a los protocolos de enfermedad isquémica, lo que alarga el tiempo de la examinación y de la interpretación. Por lo tanto, al aumentar la complejidad de los protocolos de RMC, la necesidad de herramientas que faciliten el análisis es especialmente relevante.

Ya existen herramientas de software semiautomáticas desarrolladas que han mostrado resultados aceptables en la valoración de los parámetros ventriculares. Sin embargo, estas herramientas aún requieren interacción con el usuario para ajustar los contornos generados, limitando la eficiencia del programa en cuanto a ahorro de tiempo. Por contra, el software automático evaluado en este estudio permite el cálculo de los parámetros ventriculares en un tiempo significativamente más corto si lo comparamos con el delineado manual tradicional (tiempo medio de 85 ± 16.11 s versus 414.7 ± 91 s, respectivamente).

Una característica interesante de este software, es que no depende sólo de las imágenes del eje corto, sino también del eje largo, para llevar a cabo la segmentación. En general, en algoritmos de segmentación basados en imágenes del eje corto, la base del corazón es asignada arbitrariamente como el corte que presenta al menos el 50% del volumen sanguíneo rodeado por miocardio, sin tener en cuenta otras consideraciones anatómicas. El software evaluado en este estudio, sin embargo, permite una demarcación más precisa de la base del VI al mostrar el plano mitral y seguir su movimiento longitudinal en la vista de eje largo, permitiendo una segmentación más precisa.

Como se ha descrito, el software evaluado mostró resultados fiables comparados con el protocolo manual habitual. De hecho, aunque los parámetros calculados difirieron significativamente, salvo en el VTD, estas diferencias no parecen tener relevancia clínica en la práctica habitual. La ligera sobreestimación sistemática del VTS (diferencia media de 6.41 ± 10.77 mL) y la infraestimación consiguiente de la FE (diferencia media de $2.95 \pm 3.94\%$) son probablemente debidas a una designación imprecisa de la imagen basal en la telesístole y a inclusión de la cavidad auricular en los cálculos. Esto se puede corregir fácilmente editando a mano los contornos generados automáticamente.

En conclusión, la herramienta de software totalmente automática evaluada en este estudio permitió una estimación de los volúmenes y la FE del VI de modo rápido, preciso y fiable, con una concordancia excelente con respecto al método de trazado manual convencional. De acuerdo a nuestras observaciones, sin embargo, la herramienta necesita refinamiento para identificar correctamente la imagen basal del VI. Más estudios son requeridos para validar la precisión de esta herramienta en otras condiciones cardíacas y situaciones clínicas.

Bibliografía / Referencias

1. Windecker S, Kolh P, Alfonso F, Collet JP, Cremer J, et al. 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *European heart journal*. 2014;35(37):2541-619.
2. Bruder O, Wagner A, Lombardi M, Schwitter J, van Rossum A, Pilz G, et al. European Cardiovascular Magnetic Resonance (EuroCMR) registry--multi national results from 57 centers in 15 countries. *Journal of cardiovascular magnetic resonance : official journal of the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2013;15:9.
3. Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E. Standardized cardiovascular magnetic resonance (CMR) protocols 2013 update. *Journal of cardiovascular magnetic resonance : official journal of the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2013;15:91.
4. Hundley WG, Bluemke DA, Finn JP, Flamm SD, Fogel MA, Friedrich MG, et al. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 expert consensus document on cardiovascular magnetic resonance: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *Journal of the American College of Cardiology*. 2010;55(23):2614-62.
5. Codella NC, Cham MD, Wong R, Chu C, Min JK, Prince MR, et al. Rapid and accurate left ventricular chamber quantification using a novel CMR segmentation algorithm: a clinical validation study. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI*. 2010;31(4):845-53.
6. Kawaji K, Codella NC, Prince MR, Chu CW, Shakoor A, LaBounty TM, et al. Automated segmentation of routine clinical cardiac magnetic resonance imaging for assessment of left ventricular diastolic dysfunction. *Circulation Cardiovascular imaging*. 2009;2(6):476-84.
7. Nassenstein K, de Greiff A, Hunold P. MR evaluation of left ventricular volumes and function: threshold-based 3D segmentation versus short-axis planimetry. *Investigative radiology*. 2009;44(10):635-40.
8. Francois CJ, Fieno DS, Shors SM, Finn JP. Left ventricular mass: manual and automatic segmentation of true FISP and FLASH cine MR images in dogs and pigs. *Radiology*. 2004;230(2):389-95.
9. Nguyen C, Kuoy E, Ruehm S, Krishnam M. Reliability and reproducibility of quantitative assessment of left ventricular function and volumes with 3-slice segmentation of cine steady-state free precession short axis images. *European journal of radiology*. 2015;84(7):1249-58.
10. Schulz-Menger J, Bluemke DA, Bremerich J, Flamm SD, Fogel MA, Friedrich MG, et al. Standardized image interpretation and post processing in cardiovascular magnetic resonance: Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) board of trustees task force on standardized post processing. *Journal of cardiovascular magnetic resonance : official journal of the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2013;15:35.
11. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of

clinical measurement. *Lancet*. 1986;1(8476):307-10.

12. Lin LI. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*. 1989;45(1):255-68.

13. Bingham SE, Hachamovitch R. Incremental prognostic significance of combined cardiac magnetic resonance imaging, adenosine stress perfusion, delayed enhancement, and left ventricular function over preimaging information for the prediction of adverse events. *Circulation*. 2011;123(14):1509-18.

14. Kelly MJ, Thompson PL, Quinlan MF. Prognostic significance of left ventricular ejection fraction after acute myocardial infarction. A bedside radionuclide study. *British heart journal*. 1985;53(1):16-24.

15. Reinstadler SJ, Klug G, Feistritzer HJ, Kofler M, Pernter B, Gobel G, et al. Prognostic value of left ventricular global function index in patients after ST-segment elevation myocardial infarction. *European heart journal cardiovascular Imaging*. 2015.

16. Mazonakis M, Grinias E, Pagonidis K, Tziritas G, Damilakis J. Development and evaluation of a semiautomatic segmentation method for the estimation of LV parameters on cine MR images. *Physics in medicine and biology*. 2010;55(4):1127-40.

17. Papavassiliu T, Kuhl HP, Schroder M, Suselbeck T, Bondarenko O, Bohm CK, et al. Effect of endocardial trabeculae on left ventricular measurements and measurement reproducibility at cardiovascular MR imaging. *Radiology*. 2005;236(1):57-64.