

Cuantificación de la función y masa ventricular con secuencias SSFP en tiempo real y respiración libre

G. Bastarrika Alemañ^a, P.D. Domínguez Echávarri^a, P.M. Azcárate Agüero^b, S. Castaño Rodríguez^b, M.E. Fernández Jarne^b y J.J. Gavira Gómez^b

^aServicio de Radiología. ^bDepartamento de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Clínica Universitaria. Universidad de Navarra. Pamplona. España.

Objetivos. Comparar la cuantificación de la función y masa ventricular en estudios de resonancia magnética (RM) cardíaca realizados con una secuencia SSFP en tiempo real y respiración libre (SSFP-RL) con respecto a la secuencia SSFP segmentada convencional (SSFP-apnea).

Material y métodos. Se analizó la función y masa cardíaca en 15 pacientes consecutivos con cardiopatía a los que se realizó RM por diversas indicaciones. Las secuencias se planificaron en plano eje corto, incluyendo desde la base hasta el ápex ventricular. Se emplearon dos secuencias: secuencia segmentada SSFP convencional en apnea, de 7 mm de grosor de corte e intervalo de 3 mm y secuencia SSFP en tiempo real y respiración libre de 10 mm de grosor de corte. Se evaluaron los volúmenes (volumen telediastólico [VTD] y volumen telesistólico [VTS]) y fracción de eyeccción (FE) de ambos ventrículos y la masa ventricular izquierda (MVI). Se estudió la correlación entre las distintas secuencias para cada variable.

Resultados. Se observó una correlación excelente entre las dos secuencias realizadas para la cuantificación de parámetros cardíacos en ambos ventrículos ($0.9; p < 0.01$). Las diferencias medias para la FE, VTD, VTS y volumen latido fueron 2,5% (2,1); 5,6 ml (14,2); -0,8 ml (6,4); 6,4 ml (9,4) para el ventrículo izquierdo y 1,7% (3,1); 1,8 ml (18,7); -1,9 ml (9,8); 3,7 ml (10,8) para el ventrículo derecho. La diferencia media de la masa ventricular izquierda (MVI) fue de 4,8 g (6,3).

Conclusiones. La secuencia SSFP en tiempo real y respiración libre es útil para cuantificar la función y masa ventricular. La correlación es excelente con respecto a la secuencia SSFP convencional. Ambas secuencias permiten la cuantificación de los parámetros cardíacos de forma exacta y reproducible.

Palabras clave: corazón, resonancia magnética, cuantificación, volúmenes ventriculares, masa miocárdica.

Quantification of ventricular mass and function using real-time free-breathing SSFP sequences

Objectives. To compare real-time free-breathing steady-state free precession (SSFP) sequences with conventional breath-hold segmented SSFP sequences on the quantification of ventricular mass and function.

Material and methods. Cardiac function and mass were assessed in 15 consecutive patients with cardiopathies who underwent MRI for diverse indications. Sequences were planned in the short axis to include the area from the base to the apex of the ventricle. Two sequences were used: 1) a conventional breath-hold segmented SSFP sequence with 7-mm-thick slices and 3-mm gap between slices and 2) a real-time free-breathing SSFP sequence with 10-mm-thick slices. The systolic and diastolic volumes (VTD, VTS) and ejection fraction (EF) of both ventricles were evaluated and the mass of the left ventricle (LVM) was measured. The correlation between the different sequences was studied for each variable.

Results. An excellent correlation was observed between the two sequences on the quantification of cardiac parameters in both ventricles ($0.9; p < 0.01$). The mean differences for EF, VTD, VTS, and stroke volume (VTD-VTS) were 2.5% (2.1), 5.6 ml (14.2), -0.8 ml (6.4), 6.4 ml (9.4), respectively, for the left ventricle and 1.7% (3.1), 1.8 ml (18.7), -1.9 ml (9.8), 3.7 ml (10.8), respectively, for the right ventricle. The mean difference between the LVM was 4.8 g (6.3).

Conclusions. The real-time free-breathing SSFP sequence is useful for the quantification of ventricular mass and function. The correlation with conventional SSFP is excellent. Both sequences allow the cardiac parameters to be precisely quantified and the results are reproducible.

Key words: heart, magnetic resonance, quantification, ventricular volumes, myocardial mass.

Introducción

La resonancia magnética cardíaca (RMC) es la técnica de elección para el estudio de un gran número de enfermedades cardíacas, y constituye la exploración complementaria a otras técnicas de imagen¹. La RMC se ha convertido en el estándar de referencia para evaluar la anatomía y función cardíaca debido a que es la técnica que aporta mejor calidad de imagen, es la exploración más exacta y reproducible y no presenta las limitaciones de otras técnicas diagnósticas²⁻⁵. El estudio de la función cardíaca por

Correspondencia:

GORKA BASTARRIKA ALEMAÑ. Servicio de Radiología. Clínica Universitaria. Avda. Pío XII, 36. 31008 Pamplona. bastarrika@unav.es

Recibido: 4-X-05

Aceptado: 8-I-07

TABLA 1. Características de los pacientes e indicación clínica

Sexo	Edad (años)	Indicación clínica
V	64	Miocardiopatía dilatada
M	76	Aneurisma de aorta
M	38	Tumor carcinoide ileal
V	46	Aneurisma del seno de Valsalva
V	51	Dolor precordial
V	61	Comunicación interauricular
V	60	Pericarditis recidivante
V	27	Miocardiopatía hipertrófica
V	58	Infarto de miocardio
M	39	Aneurisma de aorta
M	35	Transposición de grandes arterias
V	66	Infarto de miocardio
V	41	Coartación de aorta
M	87	Miocarditis
M	63	Pericarditis

M: mujer; V: varón.

RMC requiere realizar numerosas apneas y sincronizar la adquisición de las imágenes con el registro electrocardiográfico (ECG). Característicamente se necesitan de 7 a 12 adquisiciones separadas en el eje deseado (generalmente, el eje corto). Para cada una de estas adquisiciones, incluso empleando las secuencias más recientes (*fast imaging with steady-state precession – SSFP [TrueFISP, Siemens]*), es preciso que el paciente realice una apnea de 10-14 segundos, lo que en determinados pacientes supone una limitación. Además, en circunstancias concretas, como por ejemplo en pacientes arrítmicos, no es posible obtener un buen trazado ECG con el que sincronizar el estudio de RMC. Recientemente se han modificado las secuencias SSFP segmentadas convencionales para obtener secuencias en tiempo real⁶⁻¹². Dadas las características de estas secuencias todas las imágenes se obtienen en un único intervalo R-R'. Los estudios se pueden realizar en respiración libre, sin necesidad de sincronización ECG, aunque a expensas de menor resolución espacial y temporal. Por tanto, teóricamente se pueden emplear este tipo de secuencias SSFP-RL en sujetos en que se desee cuantificar de manera exacta la función cardíaca y no sean capaces de soportar apneas prolongadas y/o presenten arritmia.

El objetivo de este trabajo es comparar la exactitud de la cuantificación de parámetros de función cardíaca empleando una secuencia SSFP en tiempo real y respiración libre (SSFP-RL) con respecto a la secuencia SSFP convencional (SSFP-apnea) en pacientes con patología cardíaca.

Material y métodos

Se incluyeron 15 pacientes consecutivos con patología cardíaca a los que se realizó RMC por diversas indicaciones clínicas (tabla 1). Los estudios se realizaron en un equipo de 1,5 Tesla (Magnetom Symphony con gradientes Quantum; amplitud de gradiente máximo, 30mT/m; slew rate, 125 mT/m/s- Siemens

Medical Systems, Erlangen, Alemania) con bobina de superficie acoplada en fase (*phased-array*) de 4 canales.

Protocolo de estudio

Las secuencias de RMC se sincronizaron con el ciclo cardíaco (sincronización ECG) mediante electrodos específicos para RM: las secuencias SSFP-apnea convencionales se sincronizaron de forma retrospectiva, incluyendo todo el ciclo cardíaco, y las secuencias SSFP-RL se sincronizaron de forma prospectiva (ECG triggering). El protocolo de estudio incluyó imágenes cine con secuencias SSFP-apnea convencionales en los planos: cuatro cámaras, dos cámaras, tres cámaras (tracto de salida del ventrículo izquierdo) y eje corto. El estudio con secuencias SSFP-RL se realizó en el eje corto.

Los parámetros de la secuencia SSFP-apnea convencional fueron: TR: 43,26 ms, TE: 1,3 ms; *flip angle*: 80°; matriz: 156 × 192, campo de visión: 260-280 × 325-375 mm, tamaño del píxel: 1,7 × 1,7 mm; 14 segmentos, 25 fases calculadas. Se realizaron 8-12 secuencias en el eje corto para incluir todo el ventrículo izquierdo desde la base al ápex (7 mm de grosor de corte; 3 mm de espacio entre cortes). El tiempo de adquisición de la secuencia fue variable (10-14 segundos), según la frecuencia cardíaca del paciente (fig. 1).

Para las secuencias SSFP-RL obtenidas en la misma posición de corte, se emplearon los siguientes parámetros: TR: 92,34 ms, TE: 1,05 ms; *flip angle*: 55°; matriz: 66 × 128; campo de visión: 261 × 380 mm; tamaño del píxel: 4 × 3 mm; 20 fases; grosor de corte de 10 mm (fig. 2). Las adquisiciones de las secuencias SSFP-apnea convencionales se realizaron en apnea, al final de la inspiración. Las secuencias SSFP-RL se realizaron en respiración libre.

Análisis de las imágenes

La cuantificación de la función ventricular y de la masa miocárdica del ventrículo izquierdo se realizó en el plano eje corto. Se midió el volumen telediástolico, volumen telesistólico, volumen latido y fracción de eyección y la masa ventricular izquierda. La cuantificación se realizó con un software comercial (ARGUS, Siemens Medical Systems). Las imágenes correspondientes a la telediástole y telesistole se determinaron según el diámetro de la cavidad ventricular. Los contornos endocárdico y epicárdico se trazaron manualmente en cada imagen (segmentación manual). Los músculos papilares se incluyeron como masa miocárdica y se excluyeron del cálculo de los volúmenes ventriculares. Los volúmenes telediástolico y telesistólico se calcularon mediante el método Simpson. La masa miocárdica se midió mediante la suma del volumen miocárdico (obtenido en cada corte tras dibujar los contornos endocárdico y epicárdico) multiplicado por 1,05 g/ml (densidad del miocardio). Se estudió la correlación entre las distintas secuencias para cada variable.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se empleó el programa SPSS para Windows (versión 13.0/SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.). 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 de las dos secuencias. El intervalo de confianza se definió en 99% y los valores de $p \leq 0,01$ fueron interpretados como estadísticamente significativos. La correlación se analizó mediante el test de correlación de Pearson.

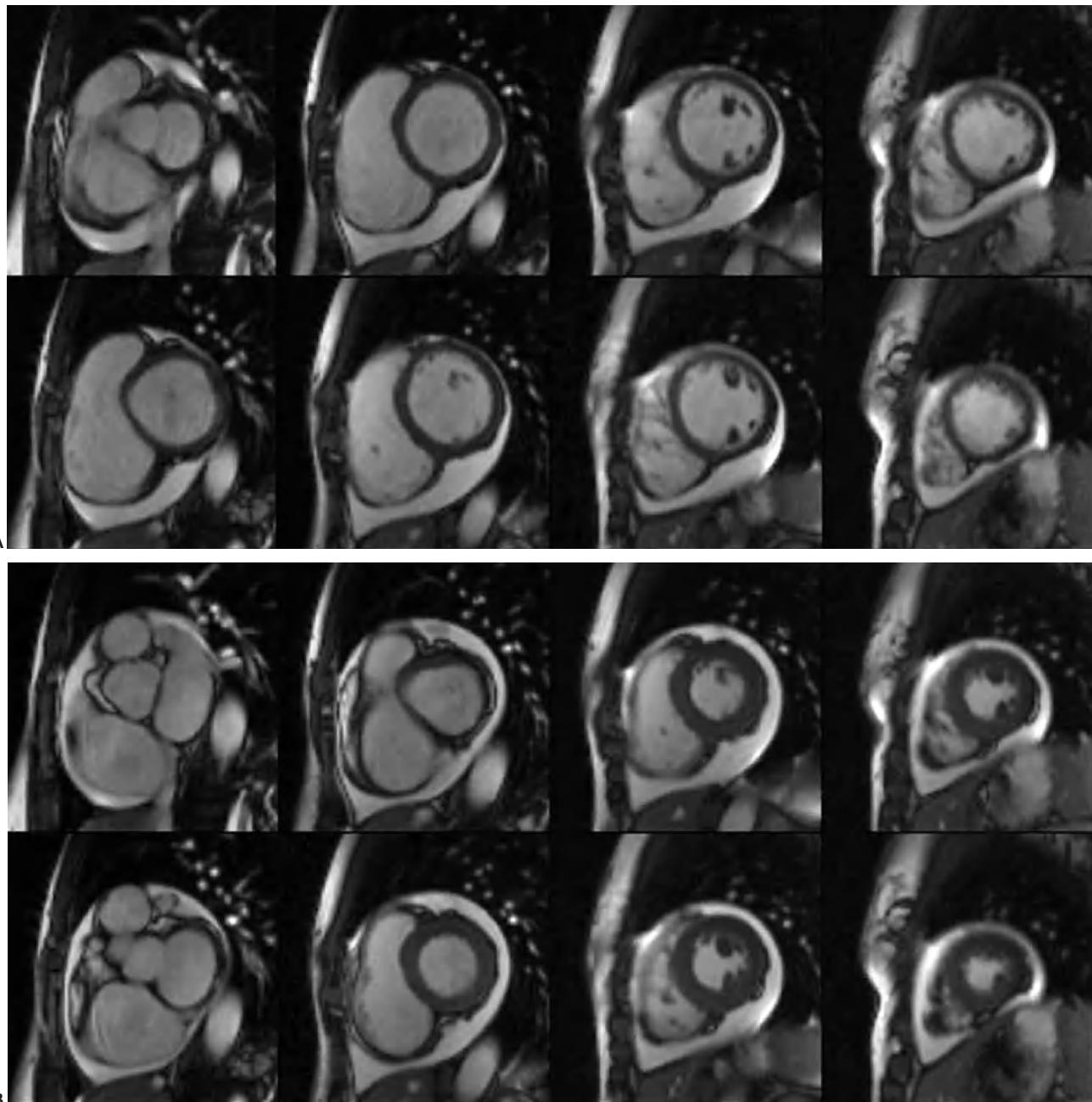


Fig. 1. (A) Diástole; (B) sístole. Secuencia SSFP convencional (SSFP-apnea) realizada con sincronización electrocardiográfica retrospectiva. Eje corto.

Resultados

La calidad de las imágenes obtenidas mediante la secuencia SSFP-RL fue suficiente para cuantificar los parámetros descritos en todos los pacientes. El tiempo necesario para realizar el estudio en el eje corto con la secuencia SSFP-RL (un minuto) fue inferior al empleado con la secuencia SSFP-apnea convencional (de 12 a 15 minutos). Los resultados se resumen en las tablas 2 y 3.

Ventrículo izquierdo

Se demostró una correlación excelente entre las dos secuencias para cuantificar los parámetros estudiados en el ventrículo izquierdo (tabla 3; $r > 0,95$) (fig. 3). En general, excepto para el volumen telesistólico, con la secuencia SSFP-apnea convencional los valores obtenidos fueron superiores a los calculados con la secuencia SSFP-RL. La fracción de eyección calculada del ventrículo izquierdo fue inferior con la secuencia SSFP-RL (dife-

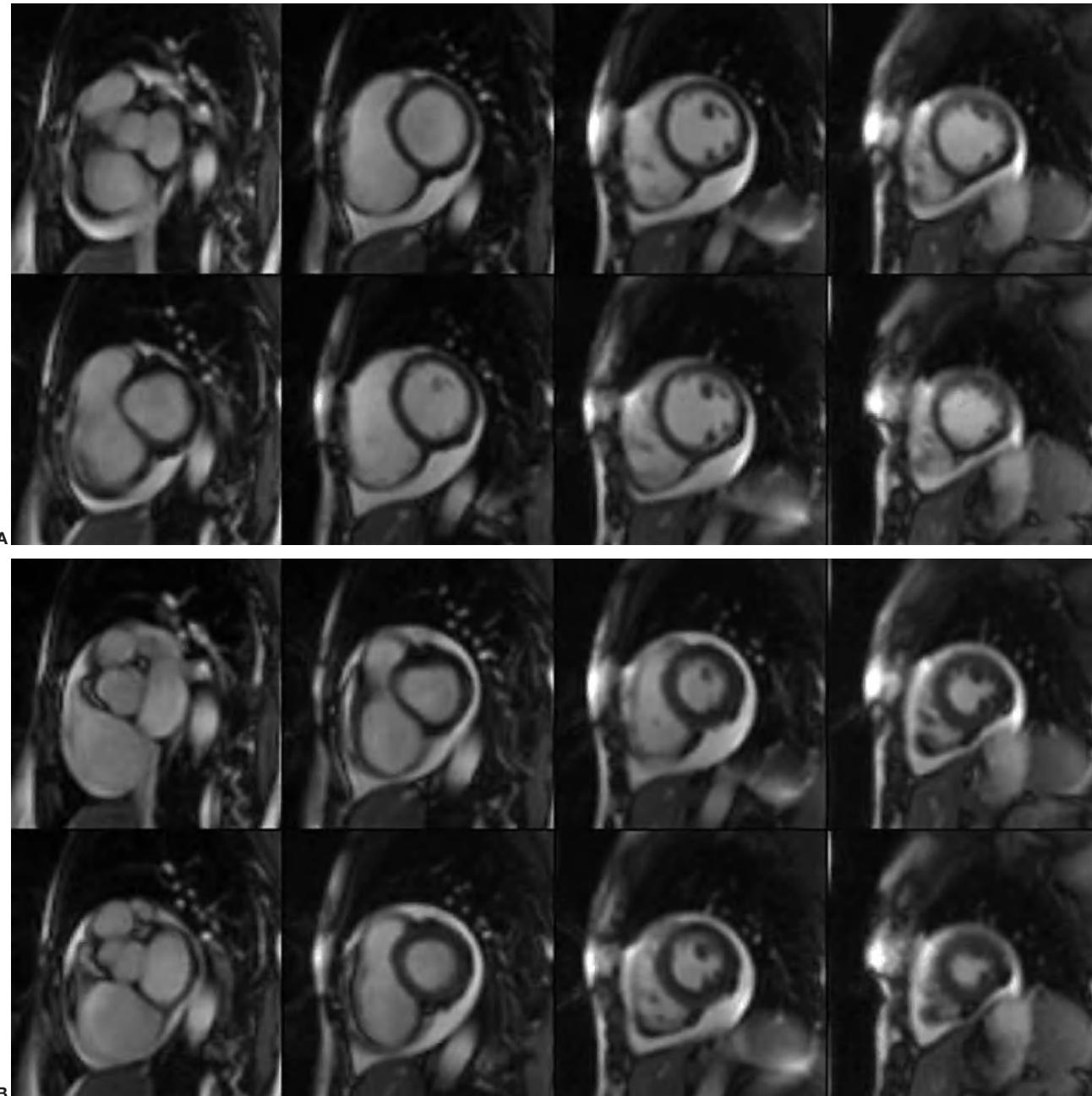


Fig. 2. (A) Diástole; (B) sístole. Secuencia SSFP en tiempo real y respiración libre (SSFP-RL) con sincronización electrocardiográfica prospectiva. Eje corto.

rencia media: 2,5; DE: 2,1). La cuantificación de los volúmenes telesistólico y telediastólico fue muy similar con los dos tipos de secuencia. El volumen latido calculado empleando la secuencia SSFP-RL fue inferior al calculado empleando la secuencia SSFP-apnea convencional (diferencia media: 6,4; DE: 9,4). Empleando la secuencia SSFP-RL también se cuantificó menos masa miocárdica que mediante la secuencia convencional (diferencia media: 4,8; DE: 6,3). Todos los resultados fueron estadísticamente no significativos ($p > 0,01$), excepto la fracción de eyeción y la masa ventricular izquierda.

Ventrículo derecho

En el caso del ventrículo derecho también se demostró una correlación excelente entre las dos secuencias para cuantificar los parámetros de función ventricular (tabla 3; $r > 0,89$) (fig. 4). Al igual que en el caso del ventrículo izquierdo, excepto para el volumen telesistólico, con la secuencia SSFP-apnea convencional los valores obtenidos fueron discretamente superiores a los calculados con la secuencia SSFP-RL. La fracción de eyeción (diferencia media: 1,7; DE: 3,1) y el volumen latido (diferencia me-

TABLA 2. Parámetros de función cardíaca y masa miocárdica del ventrículo izquierdo

Parámetros	SSFP-apnea		SSFP-RL		Diferencias relacionadas		
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	p
Ventrículo izquierdo							
FE (%)	63,5	9,7	61,1	9,3	2,5	2,1	< 0,01
VTD (ml)	139,4	57,1	133,8	46,8	5,6	14,2	0,148
VTS (ml)	53,2	30,6	53,9	27,7	-0,8	6,4	0,652
Vol. latido (ml)	86,2	32,6	79,7	26,1	6,4	9,4	0,019
Masa miocárdica (g)	163,4	61,9	158,6	57,9	4,8	6,3	0,01
Ventrículo derecho							
FE (%)	59,4	8,7	57,7	8,6	1,7	3,1	0,045
VTD (ml)	131,5	52,9	129,7	53,4	1,8	18,7	0,711
VTS (ml)	55,7	36,9	57,6	40,1	-1,9	9,8	0,453
Vol. latido (ml)	75,9	23,5	72,1	19,7	3,7	10,8	0,204

DE: desviación estándar; FE (%): fracción de eyección en porcentaje; SSFP-apnea: secuencia SSFP convencional; SSFP-RL: secuencia SSFP en tiempo real y respiración libre; Vol. latido (ml): volumen latido en mililitros; masa miocárdica en gramos; VTD (ml): volumen telediastólico en mililitros; VTS (ml): volumen telesistólico en mililitros; Se considera p significativo si < 0,01.

dia: 3,7; DE: 10,8) calculados fueron inferiores con la secuencia SSFP-RL. La cuantificación de los volúmenes telesistólico y telediastólico resultó prácticamente superponible con las dos secuencias empleadas. Todos los resultados fueron estadísticamente no significativos ($p > 0,01$).

Discusión

La cuantificación correcta de la función y masa ventricular depende en gran medida del contraste existente entre la sangre en la cavidad ventricular y el miocardio. Las secuencias cine-RM que inicialmente se utilizaron en RMC fueron eco de gradiente *fast-low-angle-shot* (FLASH); en estas secuencias el contraste entre sangre y miocardio es inferior al que se obtiene con las eco de gradiente con segmentación del espacio-k (SSFP)^{13,14}, que actualmente se considera el estándar de referencia para medir la función y masa ventricular^{15,16}.

Recientemente las secuencias SSFP-apnea convencionales han sido modificadas para obtener secuencias en tiempo real

(SSFP-RL)^{17,18}. Con respecto a la secuencia SSFP-apnea convencional la secuencia SSFP-RL tiene dos limitaciones: la resolución temporal es menor que en la secuencia SSFP-apnea convencional, por lo que potencialmente los resultados de los volúmenes cardíacos pueden ser inexactos⁶; además, en la secuencia SSFP-RL la resolución espacial es menor (en la empleada en este estudio el tamaño del píxel es de 4 × 3 mm, frente al 1,7 × 1,7 mm de la SSFP-apnea convencional), por lo que la delineación de los contornos endocárdico y epicárdico puede resultar más difícil y, por tanto, puede existir variabilidad inter e intraobservador entre las mediciones¹⁹.

En la muestra estudiada con la secuencia SSFP-RL se calculó menor volumen telediastólico, volumen telesistólico y fracción de eyección y mayor volumen telesistólico para ambos ventrículos que utilizando la secuencia SSFP-apnea convencional. Con la secuencia SSFP-RL también se estimó menor masa miocárdica. Todos los resultados fueron estadísticamente no significativos ($p > 0,01$), excepto la fracción de eyección, un parámetro que se deriva del cálculo de volúmenes y cuya diferencia media calculada fue de 2,5% y la masa ventricular izquierda (diferencia media: 4,8 g). Estas diferencias pueden ser debidas a las limitaciones descritas. Según los datos obtenidos la cuantificación de parámetros de función cardíaca con secuencias SSFP-RL no fue idéntica a los calculados con la secuencia SSFP-apnea convencional, pero las diferencias observadas no fueron significativas desde el punto de vista clínico. Se han obtenido resultados similares en otros estudios^{17,19}.

En las secuencias habitualmente empleadas (FLASH y SSFP) se necesitan múltiples apneas para adquirir las imágenes. El estudio del corazón en el eje corto requiere la realización de al menos 8 a 12 cortes, cada uno con una apnea de 10 a 14 segundos, según la frecuencia cardíaca y el número de fases adquiridas. La necesidad de realizar apneas puede constituir una limitación en múltiples circunstancias. Estudios previos han comparado la cuantificación de los volúmenes cardíacos con secuencias SSFP-RL en apnea y secuencias SSFP-apnea convencionales, y han demostrado buena correlación entre los parámetros medidos^{8,20}. En este trabajo también se confirma una correlación excelente

TABLA 3. Correlaciones de muestras relacionadas

Parámetros	VI	VD
FE (%)	0,97	0,936
VTD (ml)	0,982	0,938
VTS (ml)	0,981	0,97
Vol. latido (ml)	0,973	0,889
Masa miocárdica (g)	0,996	

FE (%): fracción de eyección en porcentaje; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo; Vol. latido (ml): volumen del latido en mililitros; VTD (ml): volumen telediastólico en mililitros; VTS (ml): volumen telesistólico en mililitros; masa miocárdica en gramos. Se considera p significativo si < 0,01.

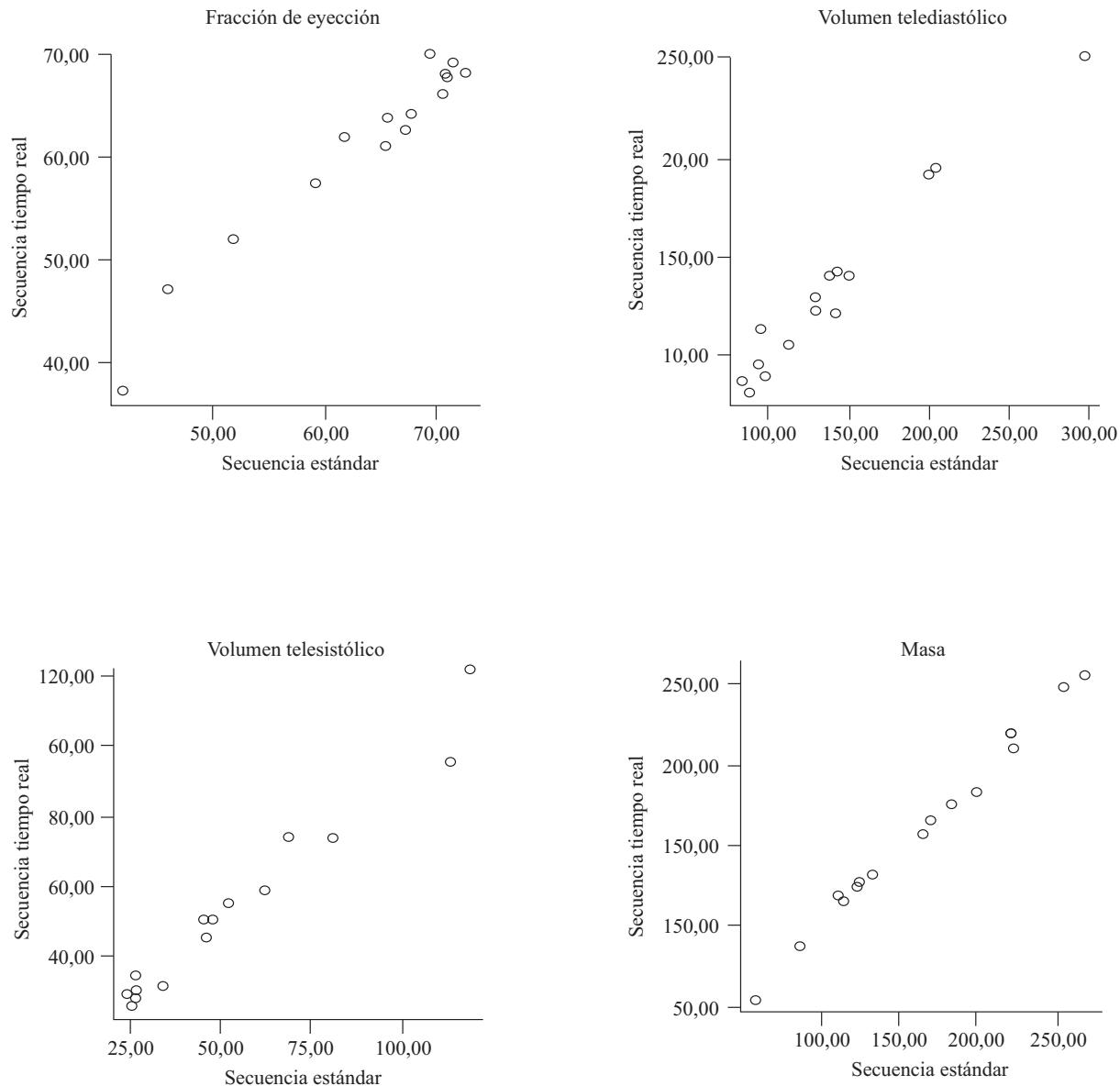


Fig. 3. Representación gráfica de la dispersión de los parámetros del ventrículo izquierdo.

en las medidas de función ventricular obtenidas con SSFP-RL y con SSFP en apnea.

Una de las limitaciones de este estudio es que no se ha realizado un análisis de la variabilidad intra e interobservador, aunque trabajos recientes demuestran que la variabilidad en la cuantificación de parámetros de función cardíaca por RMC no es alta^{5,19,21-23}. En este estudio la secuencia SSFP-RL se ha sincronizado de forma prospectiva con el registro ECG, aunque ésta no es imprescindible. La sincronización ha permitido conocer con exactitud el momento del ciclo cardíaco para definir la sístole y la diástole. De hecho, la secuencia SSFP-RL puede ser útil en pacientes con arritmias¹⁷. Además de para cuantificar la función cardíaca esta secuencia también se puede utilizar para conocer la contractilidad regional en tiempo real^{24,25}, estudiar

las alteraciones de la misma en situaciones hemodinámicas concretas (pericarditis constrictiva)²⁶ y guiar procedimientos intervencionistas^{27,28}.

Como conclusión, la secuencia SSFP en tiempo real y SSFP-RL es útil para cuantificar la función ventricular y la masa ventricular izquierda. Existe una correlación excelente de los parámetros obtenidos con ambas secuencias, y las diferencias observadas no son estadísticamente significativas. La secuencia SSFP-RL, a pesar de su menor resolución espacial y temporal, es una alternativa útil a la secuencia SSFP-apnea convencional en pacientes en que se decide realizar el estudio de manera rápida, y en los que no puedan realizar las apneas durante el tiempo necesario para un estudio con secuencias SSFP convencionales.

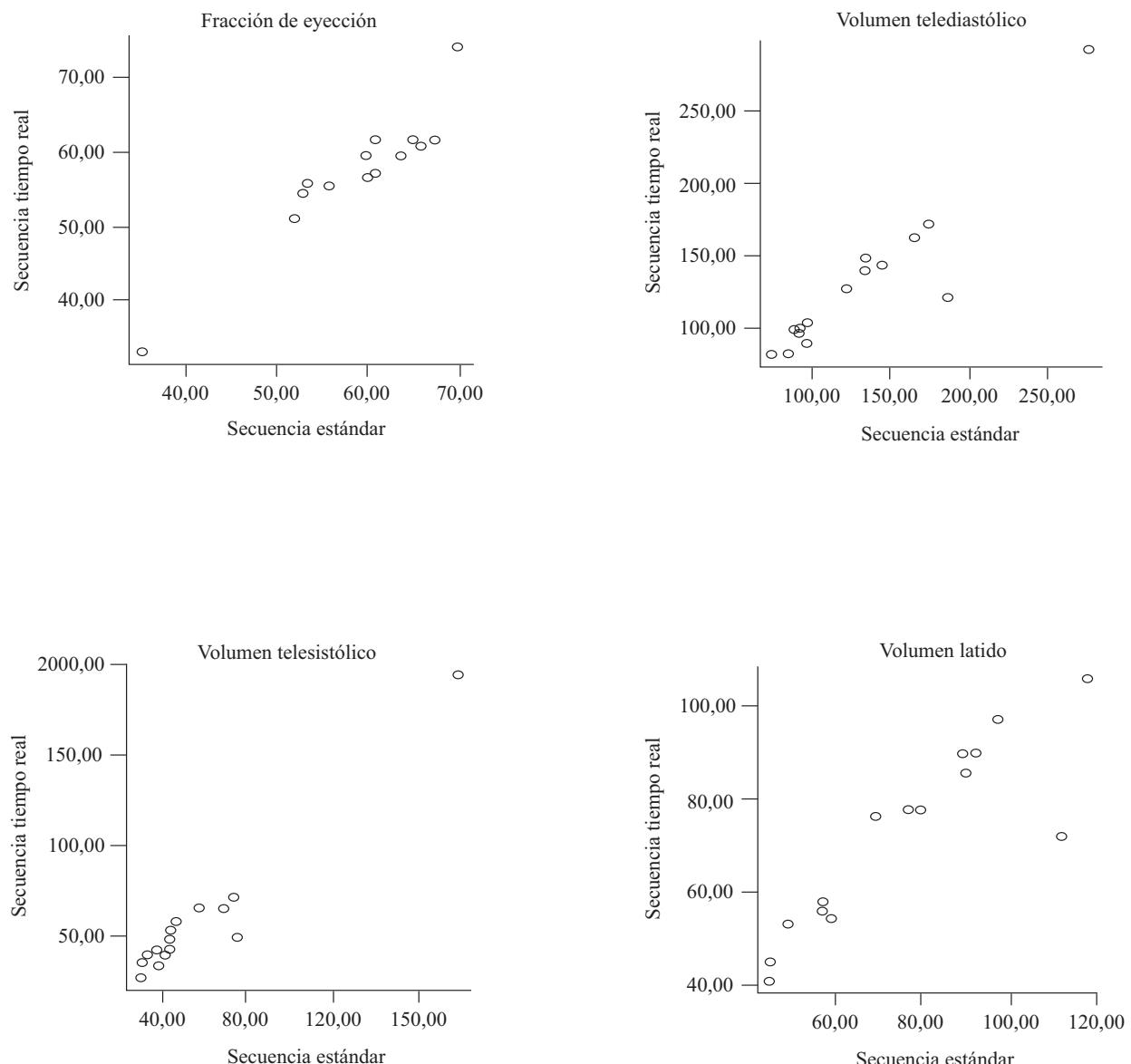


Fig. 4. Representación gráfica de la dispersión de los parámetros del ventrículo derecho.

Bibliografía

- Pennell DJ, Sechtem UP, Higgins CB, Manning WJ, Pohost GM, Rademakers FE, et al. Clinical indications for cardiovascular magnetic resonance (CMR): Consensus Panel report. *Eur Heart J.* 2004;25(21):1940-65.
- Herregods MC, De Paep G, Bijnens B, Bogaert JG, Rademakers FE, Bosmans HT, et al. Determination of left ventricular volume by two-dimensional echocardiography: comparison with magnetic resonance imaging. *Eur Heart J.* 1994;15(8):1070-3.
- Rumberger JA, Behrenbeck T, Bell MR, Breen JF, Johnston DL, Holmes DR, Jr., et al. Determination of ventricular ejection fraction: a comparison of available imaging methods. The Cardiovascular Imaging Working Group. *Mayo Clin Proc.* 1997;72(9):860-70.
- Sakuma H, Fujita N, Foo TK, Caputo GR, Nelson SJ, Hartiala J, et al. Evaluation of left ventricular volume and mass with breath-hold cine MR imaging. *Radiology.* 1993;188(2):377-80.
- Semelka RC, Tomei E, Wagner S, Mayo J, Kondo C, Suzuki J, et al. Normal left ventricular dimensions and function: interstudy reproducibility of measurements with cine MR imaging. *Radiology.* 1990;174 3 Pt 1:763-8.
- Setser RM, Fischer SE, Lorenz CH. Quantification of left ventricular function with magnetic resonance images acquired in real time. *J Magn Reson Imaging.* 2000;12(3):430-8.
- Nagel E, Schneider U, Schalla S, Ibrahim T, Schnackenburg B, Bornstedt A, et al. Magnetic resonance real-time imaging for the evaluation of left ventricular function. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2000;2(1):7-14.
- Schalla S, Nagel E, Lehmkohl H, Klein C, Bornstedt A, Schnackenburg B, et al. Comparison of magnetic resonance real-time imaging of left ventricular function with conventional magnetic resonance imaging and echocardiography. *Am J Cardiol.* 2001;87(1):95-9.
- Plein S, Bloomer TN, Ridgway JP, Jones TR, Bainbridge GJ, Sivananthan MU. Steady-state free precession magnetic resonance imaging of the heart: comparison with segmented k-space gradient-echo imaging. *J Magn Reson Imaging.* 2001;14(3):230-6.

10. Narayan G, Nayak K, Pauly J, Hu B. Single-breathhold, four-dimensional, quantitative assessment of LV and RV function using triggered, real-time, steady-state free precession MRI in heart failure patients. *J Magn Reson Imaging.* 2005;22(1):59-66.
11. Kunz RP, Oellig F, Krummenauer F, Oberholzer K, Romaneehsen B, Vomweg TW, et al. Assessment of left ventricular function by breath-hold cine MR imaging: comparison of different steady-state free precession sequences. *J Magn Reson Imaging.* 2005;21(2):140-8.
12. Spuentrup E, Schroeder J, Mahnken AH, Schaeffter T, Botnar RM, Kuhl HP, et al. Quantitative assessment of left ventricular function with interactive real-time spiral and radial MR imaging. *Radiology.* 2003;227(3):870-6.
13. Carr JC, Simonetti O, Bundy J, Li D, Pereles S, Finn JP. Cine MR angiography of the heart with segmented true fast imaging with steady-state precession. *Radiology.* 2001;219(3):828-34.
14. Barkhausen J, Ruehm SG, Goyen M, Buck T, Laub G, Debatin JF. MR evaluation of ventricular function: true fast imaging with steady-state precession versus fast low-angle shot cine MR imaging: feasibility study. *Radiology.* 2001;219(1):264-9.
15. Alfakih K, Plein S, Thiele H, Jones T, Ridgway JP, Sivananthan MU. Normal human left and right ventricular dimensions for MRI as assessed by turbo gradient echo and steady-state free precession imaging sequences. *J Magn Reson Imaging.* 2003;17(3):323-9.
16. Hudsmith LE, Petersen SE, Francis JM, Robson MD, Neubauer S. Normal human left and right ventricular and left atrial dimensions using steady state free precession magnetic resonance imaging. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2005;7(5):775-82.
17. Lee VS, Resnick D, Bundy JM, Simonetti OP, Lee P, Weinreb JC. Cardiac function: MR evaluation in one breath hold with real-time true fast imaging with steady-state precession. *Radiology.* 2002;222(3):835-42.
18. Shankaranarayanan A, Simonetti OP, Laub G, Lewin JS, Duerk JL. Segmented k-space and real-time cardiac cine MR imaging with radial trajectories. *Radiology.* 2001;221(3):827-36.
19. Hori Y, Yamada N, Higashi M, Hirai N, Nakatani S. Rapid evaluation of right and left ventricular function and mass using real-time true-FISP cine MR imaging without breath-hold: comparison with segmented true-FISP cine MR imaging with breath-hold. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2003;5(3):439-50.
20. Barkhausen J, Goyen M, Ruhm SG, Eggebrecht H, Debatin JF, Ladd ME. Assessment of ventricular function with single breath-hold real-time steady-state free precession cine MR imaging. *AJR Am J Roentgenol.* 2002;178(3):731-5.
21. Boxt LM, Katz J, Kolb T, Czegledy FP, Barst RJ. Direct quantitation of right and left ventricular volumes with nuclear magnetic resonance imaging in patients with primary pulmonary hypertension. *J Am Coll Cardiol.* 1992;19(7):1508-15.
22. Mattheijssen NA, Baur LH, Reiber JH, van der Velde EA, van Dijkman PR, van der Geest RJ, et al. Assessment of left ventricular volume and mass by cine magnetic resonance imaging in patients with anterior myocardial infarction intra-observer and inter-observer variability on contour detection. *Int J Card Imaging.* 1996;12(1):11-9.
23. Bellenger NG, Davies LC, Francis JM, Coats AJ, Pennell DJ. Reduction in sample size for studies of remodeling in heart failure by the use of cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2000;2(4):271-8.
24. Kuhl HP, Spuentrup E, Wall A, Franke A, Schroder J, Heussen N, et al. Assessment of myocardial function with interactive non-breath-hold real-time MR imaging: comparison with echocardiography and breath-hold Cine MR imaging. *Radiology.* 2004;231(1):198-207.
25. Pan L, Stuber M, Kraitchman DL, Fritzges DL, Gilson WD, Osman NF. Real-time imaging of regional myocardial function using fast-SENC. *Magn Reson Med.* 2006;55(2):386-95.
26. Francone M, Dymarkowski S, Kalantzi M, Rademakers FE, Bogaert J. Assessment of ventricular coupling with real-time cine MRI and its value to differentiate constrictive pericarditis from restrictive cardiomyopathy. *Eur Radiol.* 2006;16(4):944-51.
27. van den Bosch AE, Robbers-Visser D, Krenning BJ, Voormolen MM, McGhie JS, Helbing WA, et al. Real-time transthoracic three-dimensional echocardiographic assessment of left ventricular volume and ejection fraction in congenital heart disease. *J Am Soc Echocardiogr.* 2006;19(1):1-6.
28. Raval AN, Karmarkar PV, Guttman MA, Ozturk C, Desilva R, Aviles RJ, et al. Real-time MRI guided atrial septal puncture and balloon septostomy in swine. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2006;67(4):637-43.

Declaración de conflicto de intereses.

Declaramos no tener ningún conflicto de intereses.