

Exactitud de distintos métodos de segmentación para cuantificar parámetros de función cardiaca y masa ventricular izquierda en un modelo animal

G. Bastarrika Alemañ^a, J.J. Gavira Gómez^b, M. Arraiza Sarasa^a, G.M. Abizanda Sarasa^c, E. Nasarre Lorite^b
y F. Prósper Cardoso^c

^aServicio de Radiología. ^bDepartamento de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. ^cÁrea de Terapia Celular. Clínica Universitaria. Universidad de Navarra. España.

Objetivos. Evaluar la exactitud de los métodos de segmentación manual, semiautomático y automático, para cuantificar parámetros de función cardiaca, volúmenes y masa ventricular izquierda.

Material y métodos. Se estudiaron diez cerdos miniatura tipo Goettingen (siete machos y tres hembras; peso medio: 49,8 kg; desviación estándar: 10,65; rango: 35-65 kg) en un equipo de 1,5 Tesla con secuencias SSFP en respiración libre. Se utilizaron las secuencias obtenidas en el eje corto para cuantificar los parámetros cardíacos. En todos los animales se calcularon los volúmenes (volumen telediástolico, volumen telesistólico y volumen latido), la fracción de eyeción y la masa miocárdica del ventrículo izquierdo. Para cuantificar estos parámetros se utilizaron tres métodos de segmentación: manual, semiautomático y automático. Se estudió la correlación entre los distintos métodos de segmentación para cada variable.

Resultados. No se detectaron diferencias estadísticamente significativas en la cuantificación de volúmenes o masa ventricular izquierda con los distintos métodos de segmentación ($p > 0,05$). Su correlación fue buena para estimar la FE y el volumen telesistólico ($r > 0,6$) y excelente para cuantificar el resto de los parámetros ($r > 0,8$). El tiempo necesario para realizar la cuantificación fue menor para los métodos semiautomático y automático que para el método manual.

Conclusiones. Las secuencias SSFP permiten estudiar los parámetros de función cardiaca y masa ventricular izquierda en cerdos miniatura tipo Goettingen con exactitud sin que existan diferencias estadísticamente significativas entre los distintos métodos de segmentación empleados. Los métodos de segmentación no manuales permiten cuantificar los parámetros cardíacos de manera más rápida ($p < 0,01$).

Palabras clave: corazón, resonancia magnética, cuantificación de volumen.

Correspondencia:

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

Recibido: 1-III-07

Aceptado: 9-V-07

Accuracy of different segmentation methods to quantify cardiac function parameters and left ventricular mass in an animal model

Objectives. To evaluate accuracy of manual, semiautomatic and automatic segmentation methods to quantify cardiac function parameters, volumes, and left ventricular mass.

Material and methods. Ten Goettingen miniature pigs (seven male, three female; mean weight 49.8 kg; SD: 10.65; range: 35-65 kg) were evaluated using a 1.5 Tesla MR scanner and free-breathing SSFP sequences. Short axis images were employed to quantify cardiac parameters. In all animals volumes (end-diastolic volume, end-systolic volume, stroke volume), ejection fraction and left ventricular mass was calculated. To quantify these parameters three different segmentation methods (manual, semiautomatic, and automatic) were employed. The correlation of different segmentation methods for each variable was analyzed.

Results. No statistically significant differences in left ventricular volume or mass quantification using different segmentation methods was found ($p > 0.05$). Correlation to estimate ejection fraction and end-diastolic volume was good ($r > 0.6$) and turned to be excellent for the rest of the variables ($r > 0.8$). Mean quantification time was less for semiautomatic and automatic methods than for the manual method.

Conclusions. SSFP sequences allow to accurately evaluate cardiac function parameters and left ventricular mass in a large animal model with any of the segmentation method described in this report. Non-manual segmentation methods allow rapid quantification of cardiac parameters.

Key words: heart, magnetic resonance, volume measurement.

Introducción

La ecocardiografía es la técnica empleada en la práctica clínica diaria para determinar la masa ventricular y los parámetros de función cardiaca de forma no invasiva^{1,2}. Sin embargo, la presunción de un modelo geométrico para calcular parámetros ven-

triculares, la calidad de imagen y la variabilidad interobservador, entre otros factores, limitan en gran medida la exactitud de las mediciones ecocardiográficas. Este hecho adquiere mayor relevancia si se considera que la masa del ventrículo izquierdo es una variable independiente importante de gran utilidad para el cuidado de los pacientes con patología cardiaca, ya que constituye un factor predictor de mortalidad cardiovascular mayor que la edad, el sexo del paciente, los niveles de colesterol o la presión arterial¹. La resonancia magnética (RM) cardiaca es una técnica no invasiva que permite calcular la masa y la función del ventrículo izquierdo de forma exacta y reproducible³⁻⁵. En la rutina clínica diaria el cálculo de los parámetros cardíacos por RM se realiza de forma manual, dibujando los contornos endocárdicos y epicárdicos del corazón. Se trata de una tarea sencilla, aunque puede existir una ligera variabilidad interobservador. Además, para dibujar los contornos se debe invertir tiempo. Para disminuir estos inconvenientes se han desarrollado programas informáticos de segmentación automática y semiautomática⁶⁻⁷. La utilidad de estas técnicas de posprocesado depende de su capacidad para medir de forma exacta los parámetros de función y masa ventricular y detectar sus variaciones a lo largo del tiempo⁸. Hasta la fecha no son muchos los estudios realizados para comparar la cuantificación de los parámetros cardíacos con diferentes métodos de segmentación^{9,10}.

En este trabajo se evaluó la exactitud de los métodos de segmentación manual, semiautomático y automático, para cuantificar parámetros de función cardiaca, volúmenes y masa ventricular izquierda en diez cerdos miniatura tipo Goettingen obtenidos con secuencias eco de gradiente *steady-state with free precession* (SSFP).

Material y métodos

Se estudiaron diez cerdos miniatura tipo Goettingen (siete machos y tres hembras; con un peso medio de 49,8 kg; desviación estándar [DE]: 10,65; rango: 35-65 kg). Para realizar los estudios de RM los animales fueron inicialmente premedicados con una combinación de ketamina (15 mg/kg) y azaperona (2 mg/kg) por vía intramuscular. En el equipo de resonancia se indujo la anestesia (propofol, 3 mg/kg) que fue mantenida mediante infusión continua intravenosa (10 mg/kg/h) hasta el final de la exploración. Los animales no fueron intubados, por lo que las exploraciones se llevaron a cabo en respiración libre.

Los estudios de RM se realizaron en un equipo de 1,5 Tesla (Magnetom Symphony, versión Syngo MR 2002B, Maestro Class, Siemens, Erlangen, Alemania), con bobinas *phased array* y espinales y sincronización electrocardiográfica retrospectiva. El protocolo de estudio incluyó imágenes anatómicas y secuencias cine. Se emplearon secuencias HASTE y secuencias spin eco potenciadas en T1 y T2 para estudiar la anatomía vascular y cardíaca de los animales. Los estudios cine-RM se realizaron utilizando secuencias eco de gradiente convencionales (SSFP-TrueFISP) en los planos cuatro cámaras, eje largo, tres cámaras y eje corto con los siguientes parámetros de exploración: 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. Las secuencias obtenidas en el eje corto fueron las empleadas para cuantificar los parámetros cardíacos. Se realizaron 8-12 secciones en el eje corto incluyendo la base y el ápex de ambos ventrículos (8 mm de grosor de corte, sin espacio entre cortes). Se realizaron tres promedios para la adquisición de

cada secuencia con objeto de minimizar artefactos debidos al movimiento respiratorio. El tiempo de adquisición de cada secuencia fue variable (40-50 segundos).

Análisis de las imágenes de resonancia magnética

Todos los datos fueron analizados por un observador en distintas sesiones y de forma aleatoria, con desconocimiento de los resultados. La cuantificación de los parámetros de función cardíaca y masa ventricular se realizó con un software comercial (Argus, Siemens Medical Systems) utilizando las imágenes obtenidas en el eje corto. Las imágenes telesistólica y telediastólica fueron escogidas de acuerdo con el diámetro de la cavidad ventricular. Las imágenes basal y apical del eje corto se seleccionaron tras confirmar su localización en los ejes largos del corazón¹¹. Se ampliaron las imágenes al máximo para dibujar los contornos cardíacos. Se emplearon tres métodos de segmentación distintos: manual, semiautomático y automático. Inicialmente los contornos endocárdico y epicárdico se trazaron de forma manual en las imágenes telediastólicas y telesistólicas (*segmentación manual*) (fig. 1). Los músculos papilares se incluyeron como masa miocárdica y fueron excluidos del cálculo volumétrico. Para la *segmentación semiautomática* los contornos telediastólicos fueron dibujados manualmente y propagados a las imágenes telesistólicas, generándose contornos semiautomáticos. Los contornos adquiridos mediante este tipo de segmentación fueron editados para incluir los músculos papilares en la masa ventricular (fig. 2). Finalmente, se crearon contornos automáticos telediastólicos y telesistólicos dibujando un contorno circular endo y epicárdico en las imágenes telediastólicas y propagando automáticamente los contornos a las imágenes telesistólicas. Se utilizó la función de autoajuste de que dispone dicho software para ajustar los contornos generados a las regiones de interés (*segmentación automática*) (fig. 3). En todos los animales se obtuvieron parámetros de función cardíaca (fracción de eyección [FE], volumen telediastólico [VTD], volumen telesistólico [VTS] y volumen latido [VL]) y masa ventricular. Los volúmenes telediastólico y telesistólico se calcularon mediante el método Simpson (suma de los volúmenes de todas las imágenes en el eje corto). La masa miocárdica se calculó en telediástole tras dibujar los contornos endocárdico y epicárdico en cada corte, sumar el volumen miocárdico obtenido y multiplicar el resultado por 1,05 g/ml (densidad del miocardio). Se estudió la correlación de los distintos métodos de segmentación para cada variable.

Análisis estadístico

Los resultados descriptivos se analizaron con medidas de tendencia central y variabilidad para las variables cuantitativas. El intervalo de confianza se definió en el 95% y los valores de *p* iguales o menores a 0,05 fueron interpretados como estadísticamente significativos. La comparación de medias múltiples se realizó mediante el test de ANOVA. La correlación se analizó con la prueba de correlación de Pearson (*r*), definiéndose correlación pobre un valor de *r* = 0; correlación mínima, *r* = 0,1-0,40; correlación moderada, *r* = 0,41-0,60; correlación buena *r* = 0,61-0,80; y correlación excelente, *r* = 0,81-1,0. Para valorar la eficacia de los métodos de segmentación, los datos de todos los animales se analizaron en su conjunto, independientemente del sexo o el peso. Los cálculos estadísticos se realizaron con el programa SPSS versión 13.0 (SPSS, Chicago, Illinois).

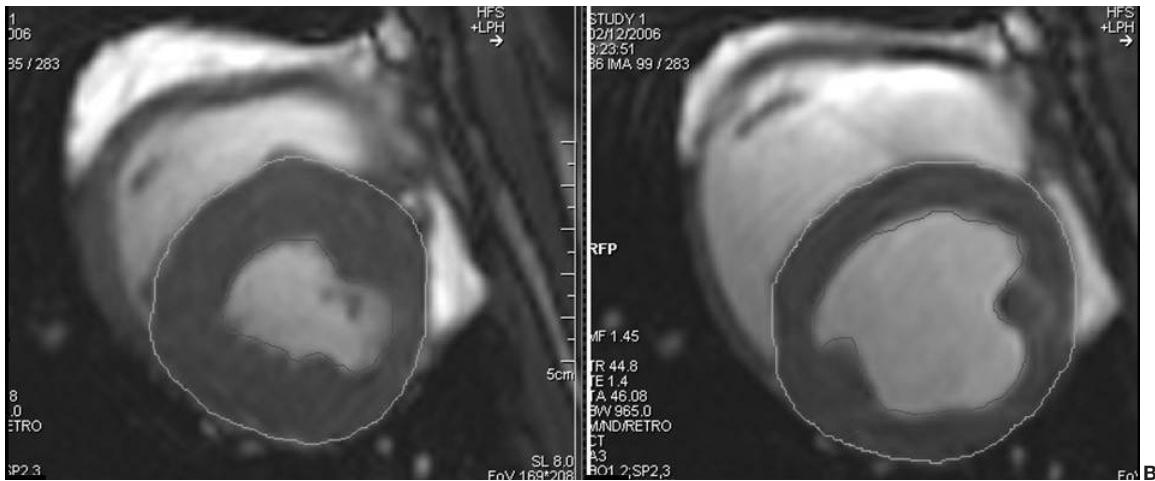


Fig. 1. Secuencia SSFP. Eje corto. (A) sístole; (B) diástole. Método de segmentación manual. Los contornos endocárdico y epicárdico del corazón se trazaron de forma manual en las imágenes telediastólicas y telesistólicas incluyendo los músculos papilares como masa miocárdica y excluyéndolos del cálculo volumétrico.

Resultados

En las tablas 1 y 2 se muestran los resultados de los parámetros de función ventricular y masa ventricular izquierda según el método de segmentación empleado (manual, semiautomático o automático). Dichos parámetros se pudieron calcular en todos los animales incluidos en el estudio.

Al comparar el método de segmentación manual con respecto al semiautomático se calcularon diferencias medias de 2,64% (DE: 1,8); -0,53 ml (DE: 0,798); -1,76 ml (DE: 1,25); 1,27 ml (DE: 1,04) y 0,01 g (DE: 1,91) para la FE, el VTD, el VTS, el VL y la masa miocárdica, respectivamente. Las diferencias medias al

comparar el método de segmentación manual con respecto al automático fueron FE: 2,59% (DE: 2,66); VTD: 2,01 ml (DE: 5,26); VTS: -1,01 ml (DE: 1,52); VL: 3,03 ml (DE: 4,73); masa ventricular: -0,34 g (DE: 4,29). Al comparar el método de segmentación semiautomático y automático se estimaron las siguientes diferencias de medias: FE: -0,05% (DE: 3,19); VTD: 2,54 ml (DE: 5,17); VTS: 0,75 ml (DE: 1,72); VL: 1,76 ml (DE: 4,87); masa ventricular: -0,35 g (DE: 5,19).

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas en la cuantificación de volúmenes o masa ventricular izquierda con los distintos métodos de segmentación empleados (manual, semiautomático o automático), siendo los resultados prácticamente superponibles ($p > 0,05$) (tabla 1). Se objetivó una corre-

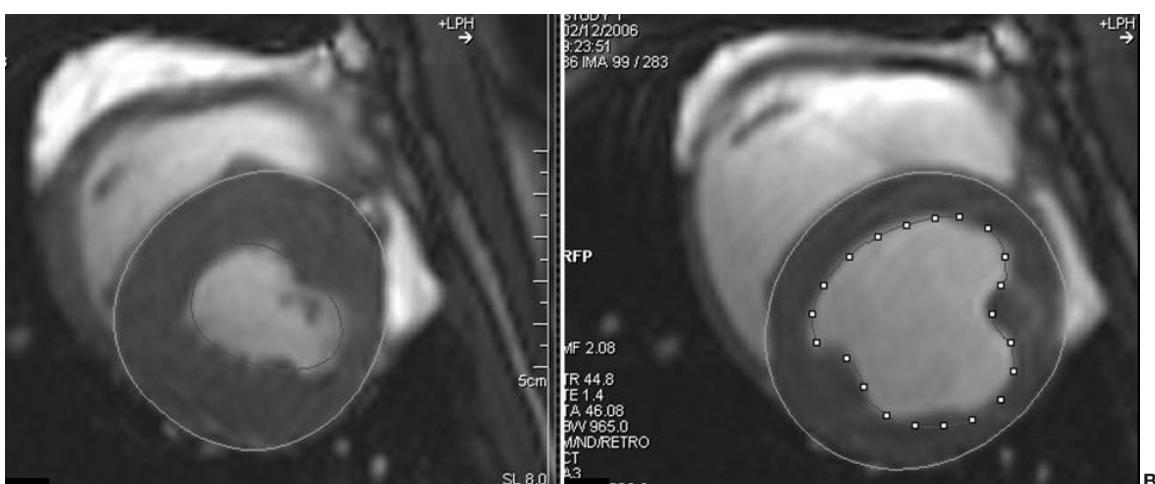


Fig. 2. Secuencia SSFP. Eje corto. (A) sístole; (B) diástole. Método de segmentación semiautomático. Los contornos telediastólicos se dibujaron manualmente y fueron propagados automáticamente a las imágenes telesistólicas para generar los contornos semiautomáticos.

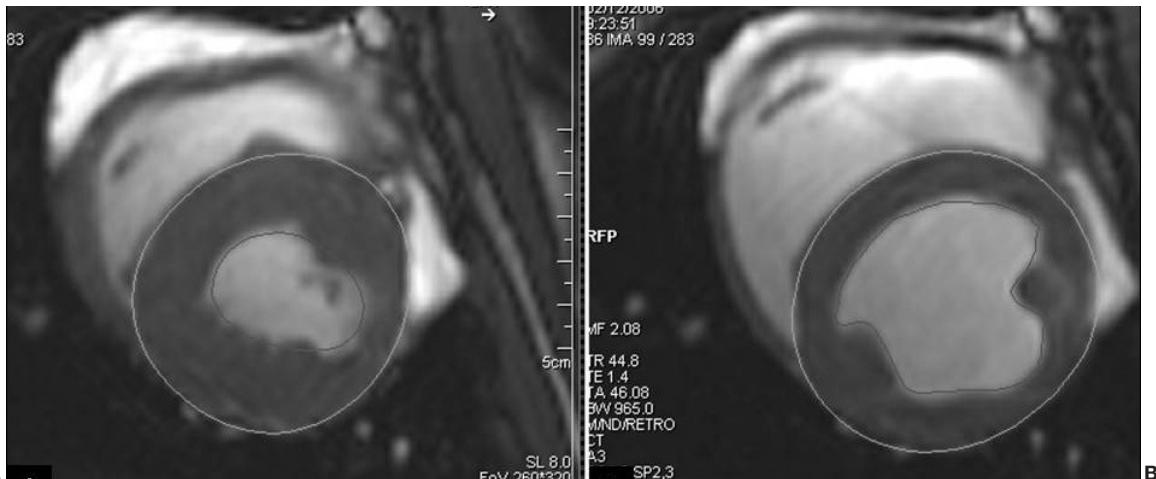


Fig. 3. Secuencia SSFP. Eje corto. (A) sístole; (B) diástole. Método de segmentación automático. Los contornos automáticos telediastólicos y telesistólicos se crearon trazando un contorno circular endo y epicárdico en las imágenes telediastólicas y propagando automáticamente estos contornos a las imágenes telesistólicas.

lación buena entre los distintos métodos de segmentación para estimar la FE y el volumen telesistólico y excelente para cuantificar el resto de los parámetros (tabla 2 y fig. 4). El tiempo necesario para realizar la cuantificación fue menor para los métodos automático (media: 218 segundos; DE: 15,25) y semiautomático (media: 299,5 segundos; DE: 20,82) que para el método manual (media: 493,6 segundos; DE: 59,17) de manera estadísticamente significativa ($p < 0,01$).

Discusión

Al contrario de lo que ocurre con otras técnicas de imagen cardiaca, que para evaluar la función y masa ventricular asumen modelos geométricos (por ejemplo la ecocardiografía), la RM permite estudiar el corazón con gran exactitud y reproducibilidad independientemente de su morfología. Dado el método generalmente empleado para cuantificar la función cardiaca con esta técnica diagnóstica (delineación de los contornos endocárdico y epicárdico del corazón y aplicación del método Simpson),

la cuantificación correcta de los parámetros cardíacos depende en gran medida del contraste existente entre la sangre y el miocardio. Las secuencias SSFP combinan una relación señal ruido óptima y un tiempo de adquisición corto, por lo que se consideran el estándar de referencia para estimar la función y la masa ventricular^{12,13}.

En este trabajo se describe el impacto potencial de introducir en la práctica clínica diaria los distintos métodos de segmentación manual, semiautomático y automático para determinar su exactitud al cuantificar parámetros de función cardiaca, volúmenes y masa ventricular izquierda. Se observó que, independientemente del método de segmentación empleado, los volúmenes, la función y la masa ventricular izquierda fueron prácticamente superponibles, con una correlación buena para estimar la FE y el volumen telesistólico y excelente para cuantificar el resto de los parámetros (tablas 1 y 2). Los contornos cardíacos fueron editados únicamente para incluir los músculos papilares en la masa ventricular izquierda. Dicha corrección se realizó sobre todo en los segmentos medios y el ápex, segmentos cardiacos en los que se ha descrito que se puede sobreestimar el tamaño ventricular si se emplean métodos de segmentación automática^{6,14}. Algunos autores proponen realizar segmentación

TABLA 1. Cuantificación de parámetros de función y masa ventricular izquierda con la secuencia SSFP según los distintos métodos de segmentación

	Manual		Semiautomático		Automático		Total		<i>p</i>
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	
FE (%)	77,35	3,14	74,71	3,67	74,76	3,19	75,61	3,46	0,149
VTD (ml)	61,55	8,64	62,08	8,95	59,54	7,75	61,06	8,24	0,78
VTS (ml)	13,83	1,92	15,59	2,63	14,84	1,18	14,75	2,06	0,162
VL (ml)	47,72	7,78	46,45	7,65	44,69	7,28	46,29	7,42	0,672
Masa (g)	75,87	11,44	75,86	11,73	76,21	12,63	75,98	11,52	0,997

DE: desviación estándar; FE (%): fracción de eyecisión en porcentaje; masa (g): masa miocárdica en gramos; VL (ml): volumen latido en mililitros; VTD (ml): volumen telediastólico en mililitros; VTS (ml): volumen telesistólico en mililitros.

TABLA 2. Diferencias de los parámetros de función ventricular según el método de segmentación

	Manual frente a semiautomático			Manual frente a automático			Semiautomático frente a automático		
	Media	DE	r	Media	DE	r	Media	DE	r
FE (%)	2,64	1,8	0,872	2,59	2,66	0,646	-0,05	3,19	0,574
VTD (ml)	-0,53	0,798	0,997	2,01	5,26	0,8	2,54	5,17	0,818
VTS (ml)	-1,76	1,25	0,897	-1,01	1,52	0,61	0,75	1,72	0,866
VL (ml)	1,27	1,04	0,991	3,03	4,73	0,804	1,76	4,87	0,789
Masa (g)	0,01	1,91	0,987	-0,34	4,29	0,941	-0,35	5,19	0,912

DE: desviación estándar; FE (%): fracción de eyección en porcentaje; masa (g): masa miocárdica en gramos; media: diferencia media; r: coeficiente de correlación de Pearson; VL (ml): volumen latido en mililitros; VTD (ml): volumen telediastólico en mililitros; VTS (ml): volumen telesistólico en mililitros.

automática de todo el corazón para reducir el tiempo de posprocesado y dibujar los contornos manualmente en los segmentos más apicales. En este estudio los contornos semiautomáticos y automáticos fueron editados manualmente y se obtuvo buena correlación con el método de segmentación manual. Se observó disminución del tiempo necesario para cuantificar los parámetros de función y masa cardiaca con los métodos de segmentación no manuales.

Los músculos papilares se incluyeron en el cálculo de la masa miocárdica y fueron excluidos del cálculo volumétrico en todos los métodos de segmentación empleados. Estudios que correla-

cianan la masa ventricular izquierda por RM y autopsia demuestran que la cuantificación de la masa miocárdica es más exacta si los músculos papilares se excluyen del cálculo volumétrico. Se ha descrito que en el ser humano los músculos papilares suponen el 6,5% del VTD⁷ o el 6,7% de la masa ventricular izquierda¹⁵. Sin embargo, se conoce que el grosor de los músculos papilares no es constante y que puede variar en determinadas patologías^{16,17}, razón por la cual en este estudio se decidió incluir los músculos papilares en el cálculo de la masa miocárdica.

Este trabajo posee varias limitaciones. Los estudios de RM se realizaron en respiración libre, por lo que para evitar los artefac-

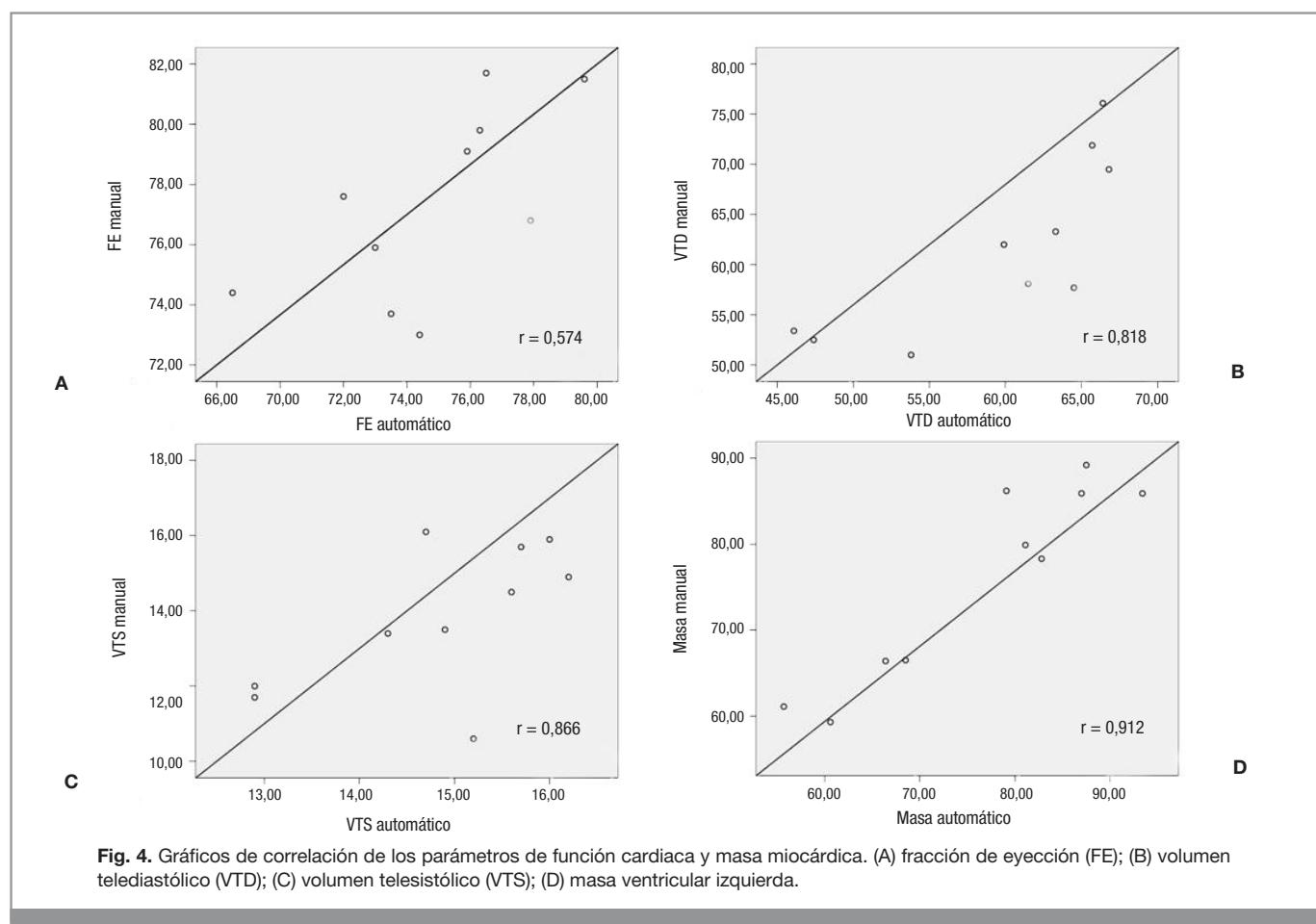


Fig. 4. Gráficos de correlación de los parámetros de función cardiaca y masa miocárdica. (A) fracción de eyección (FE); (B) volumen telediastólico (VTD); (C) volumen telesistólico (VTS); (D) masa ventricular izquierda.

tos de movimiento respiratorio las adquisiciones fueron promediadas. Por tanto, no se puede determinar si los valores descritos son idénticos a lo que se cuantificaría con secuencias realizadas en apnea. En un estudio reciente publicado por François et al¹⁸ se observó una masa ventricular izquierda media de 47,22 g (DE: 3,3), distinta a la calculada en este trabajo (masa media: 75,87 g; DE: 11,44). Estas diferencias pueden ser debidas en parte a las diferencias en el peso de los animales incluidos en los estudios (rangos: 17,3 y 29,5 kg frente a 35 y 65 kg) y al número de animales evaluados (cinco frente a diez). A pesar de que el tamaño de muestra analizado es pequeño, los resultados de este estudio son superponibles a los de otros trabajos en los que se concluye que los métodos de segmentación semiautomática y automática pueden ser empleados en la práctica clínica diaria con la misma exactitud que los métodos de segmentación manual^{9,10,18}.

Como conclusión, la RM con secuencias SSFP permite estudiar los parámetros de función y masa ventricular izquierda en cerdos miniatura tipo Goettingen. No existen diferencias estadísticamente significativas y la correlación es excelente para cuantificar el volumen, la función y la masa ventricular izquierda independientemente del método de segmentación empleado (manual, semiautomático o automático). Los métodos de segmentación no manuales permiten cuantificar los parámetros cardíacos de manera más rápida.

Agradecimientos

Este trabajo presenta resultados preliminares de un proyecto de investigación en desarrollo llevado a cabo gracias a una Beca SERAM-Industria 2004.

Bibliografía

1. Gopal AS, Schnellbaecher MJ, Shen Z, Akinboboye OO, Sapin PM, King DL. Freehand three-dimensional echocardiography for measurement of left ventricular mass: in vivo anatomic validation using explanted human hearts. *J Am Coll Cardiol*. 1997;30:802-10.
2. Devereux RB, Reichek N. Echocardiographic determination of left ventricular mass in man. Anatomic validation of the method. *Circulation*. 1977;55:613-8.
3. Pattynama PM, Lamb HJ, van der Velde EA, van der Wall EE, de Roos A. Left ventricular measurements with cine and spin-echo MR imaging: a study of reproducibility with variance component analysis. *Radiology*. 1993;187:261-8.
4. Lorenz CH, Walker ES, Morgan VL, Klein SS, Graham TP Jr. Normal human right and left ventricular mass, systolic function, and gender differences by cine magnetic resonance imaging. *J Cardiovasc Magn Reson*. 1999;1:7-21.
5. Katz J, Milliken MC, Stray-Gundersen J, Buja LM, Parkey RW, Mitchell JH, et al. Estimation of human myocardial mass with MR imaging. *Radiology*. 1988;169:495-8.
6. Baldy C, Douek P, Croisille P, Magnin IE, Revel D, Amiel M. Automated myocardial edge detection from breath-hold cine-MR images: evaluation of left ventricular volumes and mass. *Magn Reson Imaging*. 1994;12:589-98.
7. van der Geest RJ, Buller VG, Jansen E, Lamb HJ, Baur LH, van der Wall EE, et al. Comparison between manual and semiautomated analysis of left ventricular volume parameters from short-axis MR images. *J Comput Assist Tomogr*. 1997;21:756-65.
8. 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;2:271-8.
9. Young AA, Cowan BR, Thrupp SF, Hedley WJ, Dell' Italia LJ. Left ventricular mass and volume: fast calculation with guide-point modeling on MR images. *Radiology*. 2000;216:597-602.
10. Furber A, Balzer P, Cavaro-Menard C, Croue A, Da Costa E, Lethimonnier F, et al. Experimental validation of an automated edge-detection method for a simultaneous determination of the endocardial and epicardial borders in short-axis cardiac MR images: application in normal volunteers. *J Magn Reson Imaging*. 1998;8:1006-14.
11. Fieno DS, Jaffe WC, Simonetti OP, Judd RM, Finn JP. TrueFISP: assessment of accuracy for measurement of left ventricular mass in an animal model. *J Magn Reson Imaging*. 2002;15:526-31.
12. 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;17:323-9.
13. 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;7:775-82.
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;219:264-9.
15. Yamaoka O, Yabe T, Okada M, Endoh S, Nakamura Y, Mitsunami K, et al. Evaluation of left ventricular mass: comparison of ultrafast computed tomography, magnetic resonance imaging, and contrast left ventriculography. *Am Heart J*. 1993;126:1372-9.
16. Estes EH Jr, Dalton FM, Entman ML, Dixon HB 2nd, Hackel DB. The anatomy and blood supply of the papillary muscles of the left ventricle. *Am Heart J*. 1966;71:356-62.
17. Roberts WC, Cohen LS. Left ventricular papillary muscles. Description of the normal and a survey of conditions causing them to be abnormal. *Circulation*. 1972;46:138-54.
18. François 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;230:389-95.

Declaración de conflicto de intereses.

Declaramos no tener ningún conflicto de intereses.