

ORIGINAL

Resonancia magnética del ventrículo izquierdo en sujetos sanos: valores normales de morfología, función, perfusión y viabilidad

L.F. Chaustre-Mendoza^{a,b}, L. Martí-Bonmatí^{a,b,*}, I. Roldán^c, P. Calvillo^a,
R. Sanz-Requena^b y D. Moratal^d

^aServicio de Radiodiagnóstico, Hospital Universitario Doctor Peset, Valencia, España

^bServicio de Radiología, Hospital Quirón, Valencia, España

^cServicio de Cardiología, Hospital Universitario Doctor Peset, Valencia, España

^dDepartamento de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España

Recibido el 8 de noviembre de 2007; aceptado el 7 de febrero de 2008

Disponible en Internet el 14 de marzo de 2009

PALABRAS CLAVE

Corazón;
Resonancia magnética;
Morfología;
Función;
Perfusión;
Viabilidad

Resumen

Objetivos: Definir unos patrones de normalidad en la cuantificación de la función, la perfusión y la viabilidad cardíaca del ventrículo izquierdo (VI) mediante resonancia magnética (RM), analizando las diferencias relevantes por edad y sexo.

Material y métodos: Se analizaron 18 sujetos sanos con edad comprendida entre los 15 y los 77 años. Las adquisiciones se realizaron utilizando 2 equipos de RM de 1,5 y 3 teslas. Mediante una herramienta informática para el procesado de las imágenes (Cardio-RM, View Forum, Philips Sistemas Médicos) se evaluaron parámetros morfofuncionales (volumen telediastólico y telesistólico, volumen latido, fracción de eyección, gasto cardíaco, masa miocárdica, espesor miocárdico, engrosamiento y movimiento miocárdico), de perfusión (pendiente ascendente máxima relativa, realce máximo relativo) y de realce tardío (porcentaje de hiperrealce tardío). Para el análisis estadístico se utilizó la prueba de la t de Student.

Resultados: Se observaron diferencias entre sexos, con un aumento estadísticamente significativo de los volúmenes telediastólico y telesistólico, del volumen latido y de la masa miocárdica en los varones. Las mujeres presentaron un aumento estadísticamente significativo de la fracción de eyección. Los sujetos sanos mayores de 45 años presentan diferencias estadísticamente significativas en el espesor del miocardio.

Conclusión: Se describen los valores de referencia de los parámetros morfofuncionales, de perfusión y de realce tardío para los estudio de RM del corazón. El sexo y la edad tienen que tenerse en cuenta como covariables relacionadas con algunos de estos parámetros.

© 2007 SERAM. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: marti_lui@gva.es (L. Martí-Bonmatí).

KEYWORDS

Heart;
Magnetic resonance;
Morphology;
Function;
Perfusion;
Viability

Magnetic resonance Imaging of the left ventricle in healthy subjects: normal values for morphology, function, perfusion, and viability

Abstract

Objective: To define normal values of MRI parameters related to cardiac morphology, function, perfusion, and delayed enhancement of the left ventricle and to analyze differences based on age and sex.

Material and methods: We used 1.5 T and 3 T MRI scanners to analyze 18 healthy subjects ranging in age from 15 to 77 years old. Dedicated image processing software (Cardio-MR, View Forum, Philips Medical Systems) was used to evaluate morphological and functional parameters (end-diastolic and end-systolic volume, stroke volume, ejection fraction, cardiac output, wall mass, wall thickness, wall thickening, wall motion), perfusion parameters (relative maximum upslope, relative maximum enhancement), and delayed enhancement (percentage of late hyperenhancement). Student's *t*-test was used for statistical analyses.

Results: Sex differences were observed: end-diastolic and end-systolic volumes, stroke volume, and wall mass were significantly higher in men and the ejection fraction was significantly larger in women. Healthy subjects over 45 years of age had significantly greater wall thickness.

Conclusion: We report cardiac MRI reference values for morphological, functional, perfusion, and delayed enhancement parameters. Sex and age should be taken into account as important variables related to some of these parameters.

© 2007 SERAM. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

Los equipos de resonancia magnética (RM) han mejorado de forma sustancial en la última década, lo que ha permitido ampliar su campo de aplicaciones en las enfermedades cardiovasculares. Inicialmente, estos estudios se limitaban al análisis morfológico del corazón, con una aproximación a la función cardíaca mediante secuencias eco de gradiente (EG) de baja resolución temporal y espacial. El desarrollo de gradientes de campo cada vez más potentes ha permitido el empleo de nuevas formas de obtención de imágenes, principalmente basadas en secuencias eco de gradiente en estado estacionario con compensación en las 3 direcciones (EE-EG) que permiten evaluar la morfología y la movilidad de todo el ventrículo izquierdo (VI) durante el ciclo cardíaco. Estas adquisiciones multicorte multifase se han empleado con éxito para el estudio de las malformaciones congénitas, las enfermedades de la aorta, y el análisis de la morfología y movilidad miocárdicas, constituyendo una parte imprescindible del arsenal diagnóstico para evaluar el corazón¹. Estas imágenes se complementan con los estudios de perfusión tras la administración intravenosa de un medio de contraste, utilizando secuencias rápidas EG potenciadas en T1, y con los de viabilidad miocárdica, que se basan en secuencias con preparación de la magnetización tisular mediante pulsos iniciales de inversión.

El soporte digital de las imágenes de RM del corazón y su mayor calidad temporoespacial (imágenes de una alta resolución en plano adquiridas durante múltiples fases del ciclo cardíaco) han permitido el desarrollo y la validación de técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes. Estas herramientas informáticas permiten obtener medidas cuantitativas de múltiples variables del VI (morfológicas, funcionales, perfusión, realce), habiendo mejorado la

capacidad de la RM para diagnosticar las enfermedades cardíacas².

Aunque su utilización es cada vez más rutinaria, todavía hay una cierta incertidumbre en los rangos de normalidad y las influencias que sobre ellos tienen el sexo y la edad del sujeto analizado. Estos parámetros, muy estandarizados en las exploraciones cardíacas mediante ecografía, se reconocen como diferentes en RM, no habiendo sido sistemáticamente evaluados en los equipos más actuales de RM, con gradientes más potentes, y con las técnicas más avanzadas de postproceso.

En este estudio se cuantifican en sujetos normales los diferentes valores morfológicos, funcionales, de perfusión y viabilidad miocárdica del VI para conocer los rangos de normalidad y la influencia que sobre ellos pudieran tener el sexo y la edad de los sujetos.

Material y métodos**Sujetos**

De una serie de 147 pacientes explorados mediante RM y analizados todos sus datos (morfológicos, funcionales, perfusión, realce tardío) en estación de trabajo, se seleccionaron para este estudio 18 sujetos sanos. Todos ellos carecían de antecedentes de enfermedad cardíaca, eran normotensos, estaban asintomáticos y presentaban un electrocardiograma, una analítica general y un estudio de ecocardiografía normales. Los sujetos se habían estudiado dentro de un programa de cribado de enfermedad miocárdica por presentar antecedentes familiares de diversas miocardiopatías.

Los sujetos tenían una media de edad de 41 años, con una desviación típica de 20 años y un rango de edades comprendido entre los 15 y los 77 años. Estratificados por edad³, 9 sujetos eran menores de 45 años y los otros 9 tenían una edad de 45 años o mayores. Hubo una distribución igual para ambos sexos (9 mujeres y 9 varones).

Técnica de resonancia magnética

Los estudios se adquirieron en equipos superconductores de alto campo. Se empleó un equipo de 1,5 teslas (T) (Intera, Philips Sistema Médicos, Países Bajos) en 5 sujetos (2 varones y 3 mujeres) y de 3 T (Achieva, Philips Sistema Médicos, Países Bajos) en 13 sujetos (7 varones y 6 mujeres). La potencia de los gradientes era de entre 180 y 200 T/m/s real por eje (para 1,5 y 3 T, respectivamente). En ambos equipos se utilizó siempre una antena específica cardíaca, con 5 elementos de superficie acoplados en fase. Las diferencias debidas a la variación de la intensidad de campo magnético se consideraron despreciables⁴. Las imágenes se adquirieron con sincronización del vectorcardiograma.

Para reducir los artefactos de movimiento se instruyó a los sujetos para que mantuvieran la respiración en espiración máxima durante la adquisición de la secuencia (o la mayor parte de ella, cuando se adquirían estudios dinámicos en los que la duración de la secuencia era mayor que la pausa espiratoria). Ningún sujeto necesitó la administración de bloqueadores beta para disminuir la frecuencia cardíaca, que siempre estuvo por debajo de las 90 pulsaciones por minuto.

Todos los estudios de RM incluyeron secuencias para análisis morfofuncional de “sangre blanca” con adquisiciones “cine” multicorte multifase EE-EG (*balanced-TFE*) (fig. 1). Esta secuencia se obtuvo en apnea espiratoria con segmentación retrospectiva del ciclo cardíaco y aceleración de la adquisición con reconstrucción de la imagen en paralelo (tipo SENSE). Para ambos equipos, los parámetros principales de las secuencias se mantuvieron con un TR muy

corto (2,8–3,8 ms), el menor TE posible (1,4–1,9 ms) y un ángulo de excitación alto (de 45–60°). En todos los sujetos se adquirieron las imágenes en los principales planos del corazón (eje largo y eje corto del VI, 4 cámaras y tracto de salida del VI), cubriendo entre 16 y 32 fases del ciclo cardíaco en función de la frecuencia cardíaca y la potencia de los gradientes empleados. El número de cortes en esta secuencia fue el necesario para cubrir el VI en cada uno de los planos, oscilando entre 3 para el eje largo y 6–8 para el eje corto.

El estudio de la perfusión de primer paso para valorar dinámicamente el realce miocárdico durante la fase intravascular tras la administración del quelato de gadolinio (fig. 2) se realizó mediante una secuencia turbo eco de gradiente (T-EG) potenciada en T1 con disparo único (TR = 2,9–3,8 ms; TE = 1,4–1,89 ms; ángulo = 20–60°; con un TI = 300–400 ms). Se adquirieron en ambos equipos 3 cortes orientados en el eje corto, incluyendo la base, el tercer medio y el ápex del VI. Las imágenes se obtuvieron en la telediástole para maximizar la señal intravascular. Como medio de contraste se administraron 0,05 ml/kg intravenosos de gadobutrol (Gadovist®, 1 mmol/ml, Bayer Schering Pharma, Alemania) a 5 ml/s, con un lavado de suero fisiológico (40 ml a la misma velocidad). De los 18 sujetos analizados, sólo aceptaron que se les realizara el estudio de perfusión 8 (5 mujeres y 3 varones), probablemente debido a que el estudio era de cribado y se requirió de un consentimiento informado para la administración del contraste.

Al finalizar la perfusión se inyectó una dosis adicional de 0,15 ml/kg del contraste, alcanzando finalmente una dosis total de 0,2 ml/kg. Tras una espera aproximada de 10 min desde la finalización de la administración de la dosis completa, se procedió a adquirir las secuencias de realce tardío (fig. 3). Para minimizar la señal del miocardio y poder evaluar el hiperrealce con mayor eficacia se calculó el valor del tiempo óptimo de inversión. Para ello se adquirió en el mismo eje corto, antes de adquirir las imágenes de viabilidad, una secuencia eco planar turbo EG (TEG-EPI,

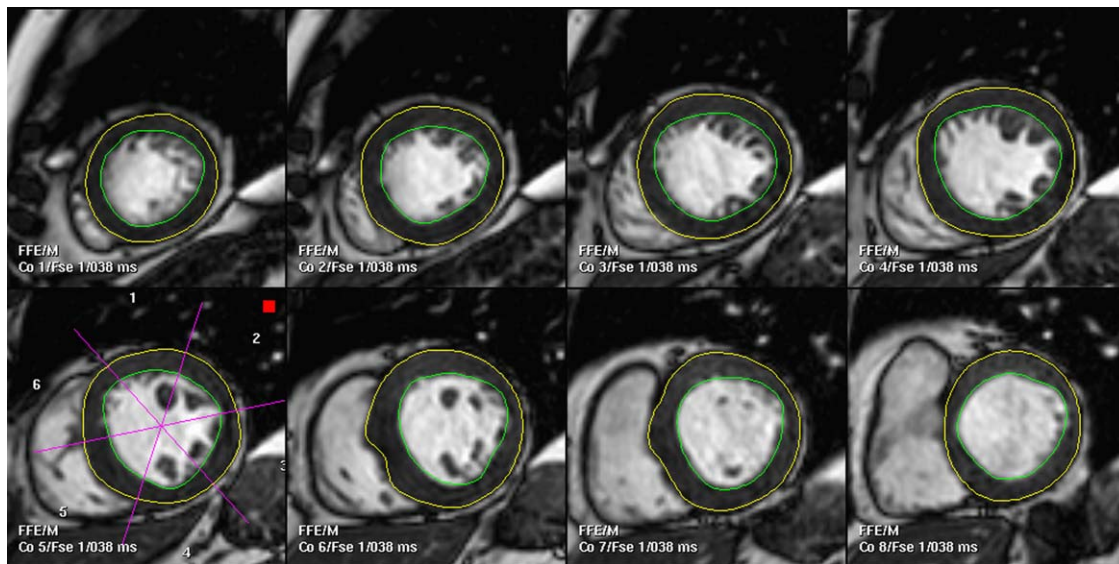


Figura 1 Imagen representativa de la adquisición “cine” multicorte multifase eco de gradiente en el estado estacionario (*balanced-TFE*) en un varón sano de 49 años con definición de contornos y regiones.

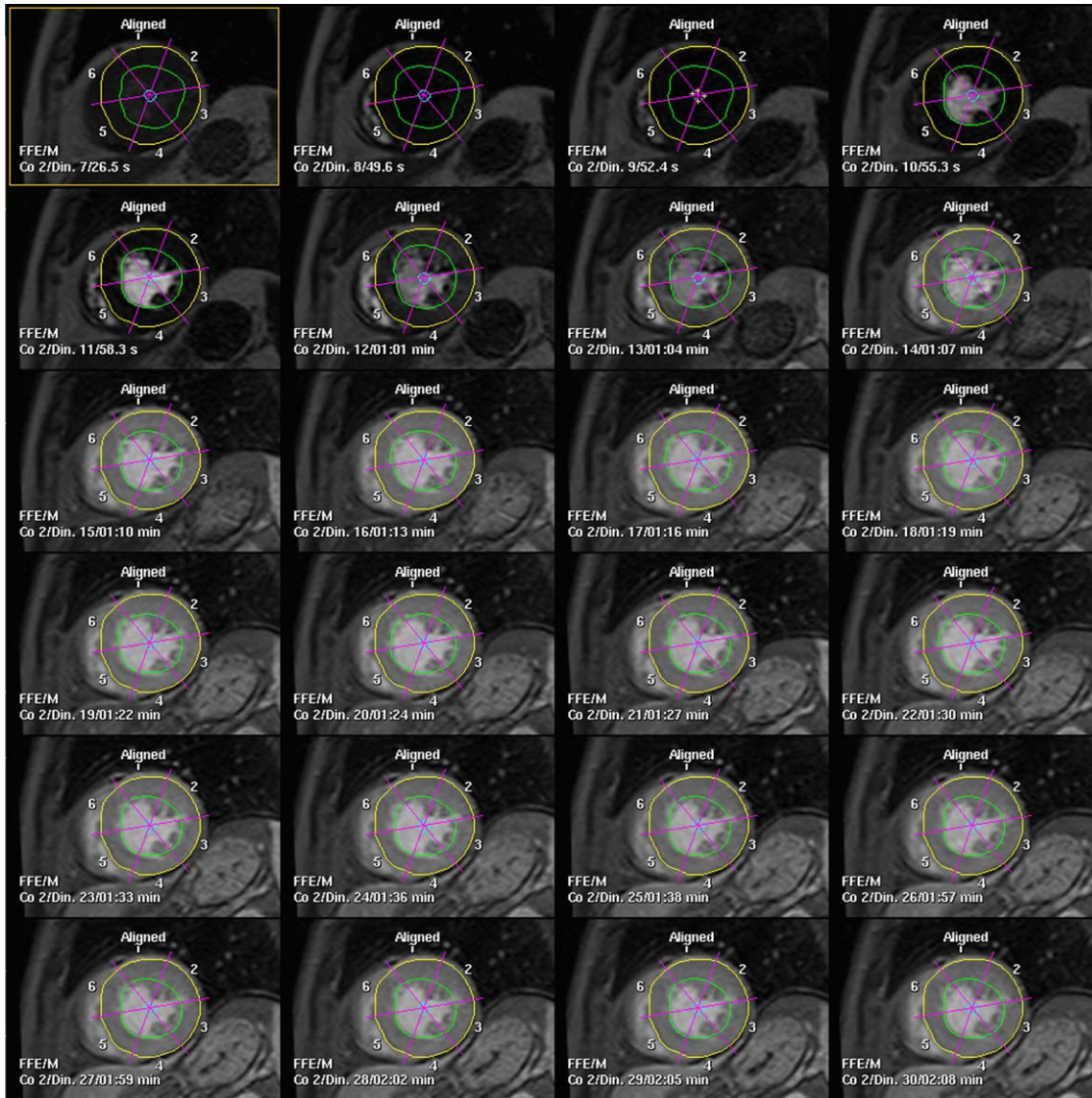


Figura 2 Imagen representativa de un corte del estudio de perfusión en un varón sano de 32 años con definición de contornos y regiones.

TR/TE/ángulo: 40/5/15°) con múltiples tiempos de inversión para seleccionar el valor del TI que mejor anulaba el miocardio. La secuencia fue una 3D TEG potenciada en T1 y con preparación tisular (TEG, TR/TE/ángulo: 3,9–4,3/1,2–1,3/15°). Todas se adquirieron en apnea espiratoria, con aceleración de la imagen en paralelo, y en los ejes corto y largo del VI y el plano de las 4 cámaras.

Análisis de las imágenes

La cuantificación de la función miocárdica se realizó mediante técnicas de procesamiento sobre las imágenes obtenidas con las secuencias de cine, perfusión y viabilidad miocárdica en el eje corto. Se utilizó el programa informático de tratamiento de imágenes View Forum Release 4.2 (Philips Sistemas Médicos, Países Bajos) sobre estación de trabajo.

Para la cuantificación de la morfología y la función miocárdica se analizaron los parámetros de volumen telediastólico (TD), volumen telesistólico (TS), volumen latido, fracción de eyección, gasto cardíaco, masa miocárdica, espesor miocárdico, engrosamiento y movimiento miocárdico.

Los volúmenes TD y TS se calcularon mediante la suma de los volúmenes endocavitarios de todos los cortes adquiridos, respectivamente, en la fase TD y TS. Para ello, el volumen de un corte se calcula multiplicando el área del contorno interno de dicho corte por la mitad de la distancia entre el corte anterior y el posterior, dándose su valor en mililitros.

El volumen latido es la cantidad de sangre que el corazón bombea en cada latido, es decir, la diferencia entre el volumen sanguíneo del VI que hay en la fase TD y en la fase TS. También se expresa en mililitros.

La fracción de eyección se calculó como la relación (volumen latido/volumen TD) \times 100, dándose en porcentajes.

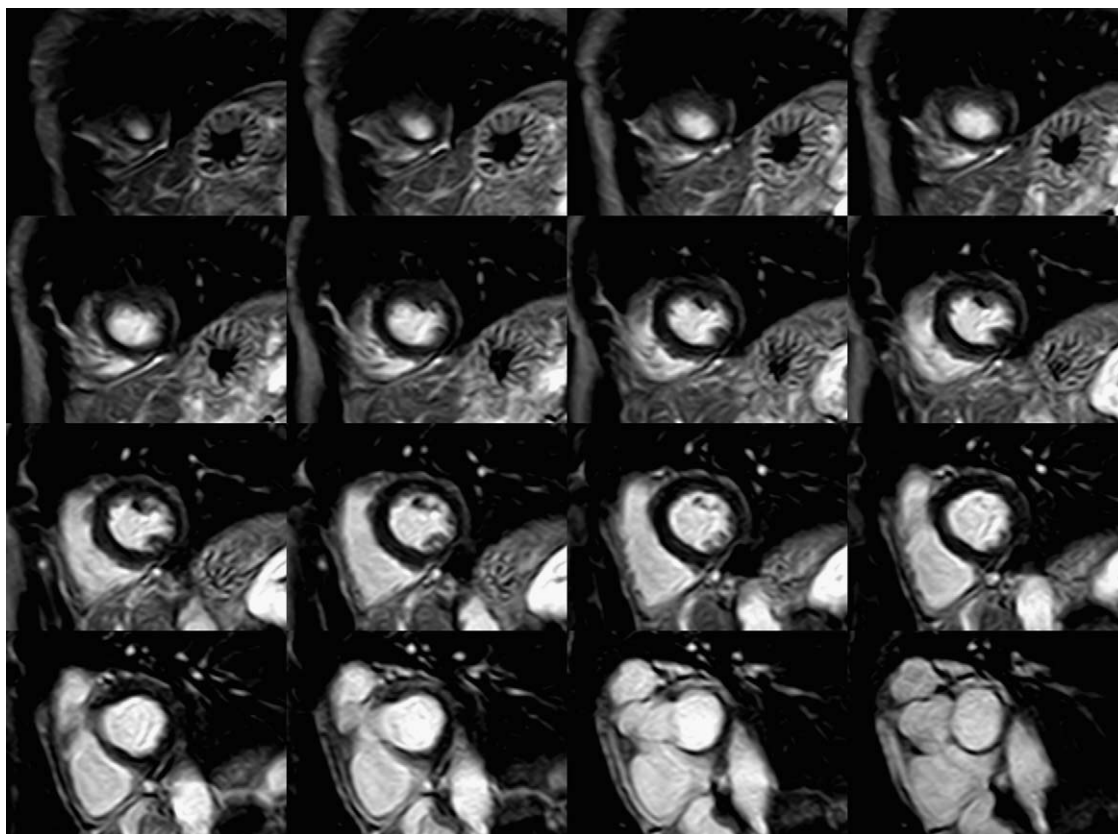


Figura 3 Imagen representativa de un estudio de realce tardío tras la administración de contraste en una mujer de 51 años.

El gasto cardíaco se calculó como la relación volumen latido (litros) por frecuencia cardíaca (latidos por minuto), expresada en litros/minuto.

La masa del miocardio se calculó en la fase TD multiplicando el volumen miocárdico en mililitros por el factor de densidad cardíaca (en este trabajo se ha utilizado el valor más frecuentemente asumido de 1,05 g/ml).

El espesor del miocardio se calculó como la diferencia entre el contorno interno y el externo del miocardio, trazados en el corte medio del eje corto y en la diástole, y se expresa en milímetros.

El engrosamiento de miocardio se definió como la variación del espesor de la pared del miocardio en un corte medio del eje corto entre la fase TD y la TS. Se calculó como el valor obtenido dividiendo la diferencia del espesor miocárdico entre la fase TD y la TS, normalizada con el espesor en la TD.

La movilidad miocárdica se calculó como la variación en un corte medio del eje corto entre los contornos internos en TD y TS. Se recogieron los valores promedio de esta variable, expresados en milímetros.

En el análisis de la perfusión se calcularon las variables cuantitativas de pendiente ascendente máxima relativa y realce máximo relativo. Para la cuantificación de la perfusión en el primer paso del medio de contraste se trazaron sobre el eje corto del VI los contornos miocárdicos externo e interno. La perfusión se representó como la variación de la señal respecto al tiempo, dividiendo el VI en 17 segmentos según las guías de la American Heart Association. La pendiente ascendente máxima relativa se consideró como la relación entre la pendiente ascendente

máxima del miocardio y la del VI expresada como porcentaje. El realce máximo relativo se calculó como la relación expresada en porcentaje entre el realce máximo y el valor basal precontraste.

En el análisis de viabilidad miocárdica se analizó el área realzada como el porcentaje de hiperrealce tardío. Para analizar la viabilidad miocárdica se determinó manualmente en el eje corto el umbral de señal para cada paciente, por encima del cual la señal detectada se interpretó como hiperrealce tardío en la secuencia con preparación tisular mediante un pulso de inversión inicial. Se midió en TD el porcentaje de realce con respecto al volumen miocárdico total.

Análisis estadístico

Los parámetros valorados se presentan como la media \pm \ominus desviación estándar (DE). Se comprobó una distribución normal de los datos cuantitativos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Se empleó la prueba de la t de Student para analizar las diferencias entre las muestras independientes para ambos grupos. Se consideró estadísticamente significativo cualquier valor de $p \leq 0,05$.

Resultados

De los 18 sujetos, las mujeres presentaron una edad comprendida entre 15 y 77 años (49 ± 21) y los varones entre 16 y 55 años (32 ± 16), sin que hubieran diferencias significativas entre los grupos.

Los datos de cuantificación de las variables analizadas se expresan en la [tabla 1](#). Los valores se dan como la media \pm DE de los datos, con su valor de significación estadística, estratificando los resultados por sexo y por edad.

Comparando los parámetros por sexos, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los varones y las mujeres para diversas variables ([fig. 4](#)). Los varones presentaron un volumen latido del VI superior ($81,4 \pm 15,0$ frente a $63,3 \pm 13,4$, diferencia de $18,1 \pm 6,7$ ml), como consecuencia de unos volúmenes TD ($144,2 \pm 23,2$ frente a $88,6 \pm 18,3$, diferencia de $55,6 \pm 9,9$ ml) y TS ($62,8 \pm 19,5$ frente a $25,4 \pm 9,1$, diferencia de $37,4 \pm 7,2$ ml) estadísticamente mayores. Hubo también una diferencia estadística en la masa miocárdica ($98,8 \pm 30,4$ frente a $71,8 \pm 21,2$, diferencia de $37,4 \pm 7,2$ g). Por su lado, las mujeres presentaron de forma estadísticamente significativa un aumento de la fracción de eyección ($71,7 \pm 7,3$ frente a $56,9 \pm 9,0$, diferencia de $26,9 \pm 12,4\%$) ([tabla 1](#)).

El resto de las variables presentaron unos valores similares y sin diferencias estadísticas entre sexos. Como valor de referencia de toda la población se expresan a continuación la media y su DE para cada uno de estos parámetros que no presentaron diferencias significativas entre sexos: gasto cardíaco ($5,1 \pm 1,3$ l/min), espesor miocárdico ($7,4 \pm 1,8$ mm), engrosamiento miocárdico ($0,9 \pm 0,3$) y movimiento miocárdico promedio ($9,1 \pm 1,8$ mm).

Estratificando por edad, hubo 9 sujetos jóvenes (5 varones y 4 mujeres) con una edad menor de 45 años, presentando una media de edad de 31 ± 14 años. El grupo de 9 personas con 45 años o mayores (4 varones y 5 mujeres) presentó una media de edad de 65 ± 11 años. En el análisis estadístico ([fig. 5](#)) se observaron diferencias significativas en el grupo de sujetos mayores para el espesor miocárdico ($8,6 \pm 1,5$ frente a $6,2 \pm 1,2$, diferencia de $2,4 \pm 0,6$ mm). Hubo una tendencia hacia mayores valores de realce relativo en este grupo. No hubo diferencias significativas en el resto de los parámetros evaluados ([tabla 1](#)).

Discusión

Aunque hay valores de referencia para los parámetros morfológicos y funcionales obtenidos mediante exploraciones

del corazón con ecografía y RM, éstos no son directamente extrapolables por su diferente resolución espacial y temporal y las variaciones en la metodología de cálculo. Así, pese a que hay una alta correlación entre los valores obtenidos con ecografía y RM, la primera infraestima los volúmenes TD y TS, tanto en sujetos normales⁵ como en pacientes con cardiomiopatía dilatada⁶.

En este estudio se establecen valores de referencia normales para RM de alta resolución, tanto morfofuncionales (volumen TD, volumen TS, volumen latido, fracción de eyección, gasto cardíaco, masa miocárdica, espesor miocárdico, engrosamiento y movimiento miocárdico), como de perfusión (pendiente ascendente máxima relativa, realce máximo relativo) y de realce tardío (porcentaje de hiperrealce tardío). La validación de estos valores y el análisis de la influencia que el sexo y la edad tienen sobre ellos es de gran relevancia para un correcto diagnóstico de la enfermedad cardíaca.

Hay diferencias en los datos disponibles sobre los valores normales para los estudios morfológicos, funcionales, de perfusión y de realce tardío del corazón obtenidos mediante RM. Así, con respecto a otras series^{3,7-12}, y aunque los valores son difíciles de comparar por las diferencias en edad, sexo y tamaño muestral, se observan unas variaciones medias de un 15%. En promedio, el volumen TS y la fracción de eyección presentan una variación media del 10%, el volumen TD del 14% y el volumen latido del 17%. La máxima variación se observa en la masa miocárdica, donde llega a ser la diferencia de hasta un 49%^{3,7}.

Una fuente de discrepancia es que no todos los estudios se han realizado con equipos dotados de la suficiente potencia de gradientes y calidad de imágenes. Un posible sesgo de nuestra serie es la obtención de las imágenes en equipos con diferente intensidad de campo. Sin embargo, las diferencias en la cuantificación asociadas a la variación del campo magnético externo se consideran despreciables⁴. Es mucho más relevante la consistencia en las secuencias utilizadas que la influencia del campo magnético. El aumento en la calidad de las imágenes obtenidas por las técnicas de adquisición con secuencias EG en estado estacionario (cine con sangre blanca) y las técnicas de adquisición en paralelo han permitido una mayor cobertura espacial y temporal del

Tabla 1 Valores (media \pm DE) de los parámetros del VI estratificados por sexo y edad

Variable	Sexo			Edad (años)		
	Varón	Mujer	p	< 45	> 45	p
Volumen telediastólico (ml)	144,2 \pm 23,2	88,7 \pm 18,3	<0,001	121,8 \pm 28,	111,1 \pm 42,0	0,53
Volumen telesistólico (ml)	62,8 \pm 19,5	25,4 \pm 9,1	<0,001	47,5 \pm 17,3	40,7 \pm 30,4	0,56
Volumen latido (ml)	81,4 \pm 15,0	63,3 \pm 13,4	0,02	74,3 \pm 17,7	70,4 \pm 16,3	0,63
Fracción de eyección (%)	56,9 \pm 9,0	71,7 \pm 7,3	0,001	61,5 \pm 9,1	67,0 \pm 12,6	0,31
Gasto cardíaco (l/min)	5,6 \pm 1,5	4,6 \pm 1,1	0,1	5,5 \pm 1,5	4,7 \pm 1,1	0,20
Masa miocárdica (g)	98,8 \pm 30,4	71,8 \pm 21,2	0,04	92,2 \pm 34,5	78,5 \pm 22,0	0,33
Espesor promedio (mm)	7,6 \pm 1,8	7,2 \pm 1,9	0,63	8,6 \pm 1,5	6,2 \pm 1,2	0,002
Engrosamiento promedio	1,0 \pm 0,4	0,9 \pm 0,3	0,48	1,0 \pm 0,4	0,9 \pm 0,3	0,52
Movimiento promedio (mm)	9,1 \pm 1,9	9,1 \pm 1,8	0,93	9,0 \pm 1,6	9,2 \pm 2,0	0,87
Pendiente ascendente relativa (%)	17,9 \pm 5,2	25,3 \pm 13,2	0,31	20,3 \pm 2,6	23,3 \pm 10,7	0,73
Realce máximo relativo (%)	339,1 \pm 366,9	387,5 \pm 301,3	0,85	121,2 \pm 45,5	452,1 \pm 332,5	0,06
Porcentaje de hiperrealce tardío (%)	3,5 \pm 3,3	3,6 \pm 3,0	0,96	2,2 \pm 2,2	5,3 \pm 3,1	0,13

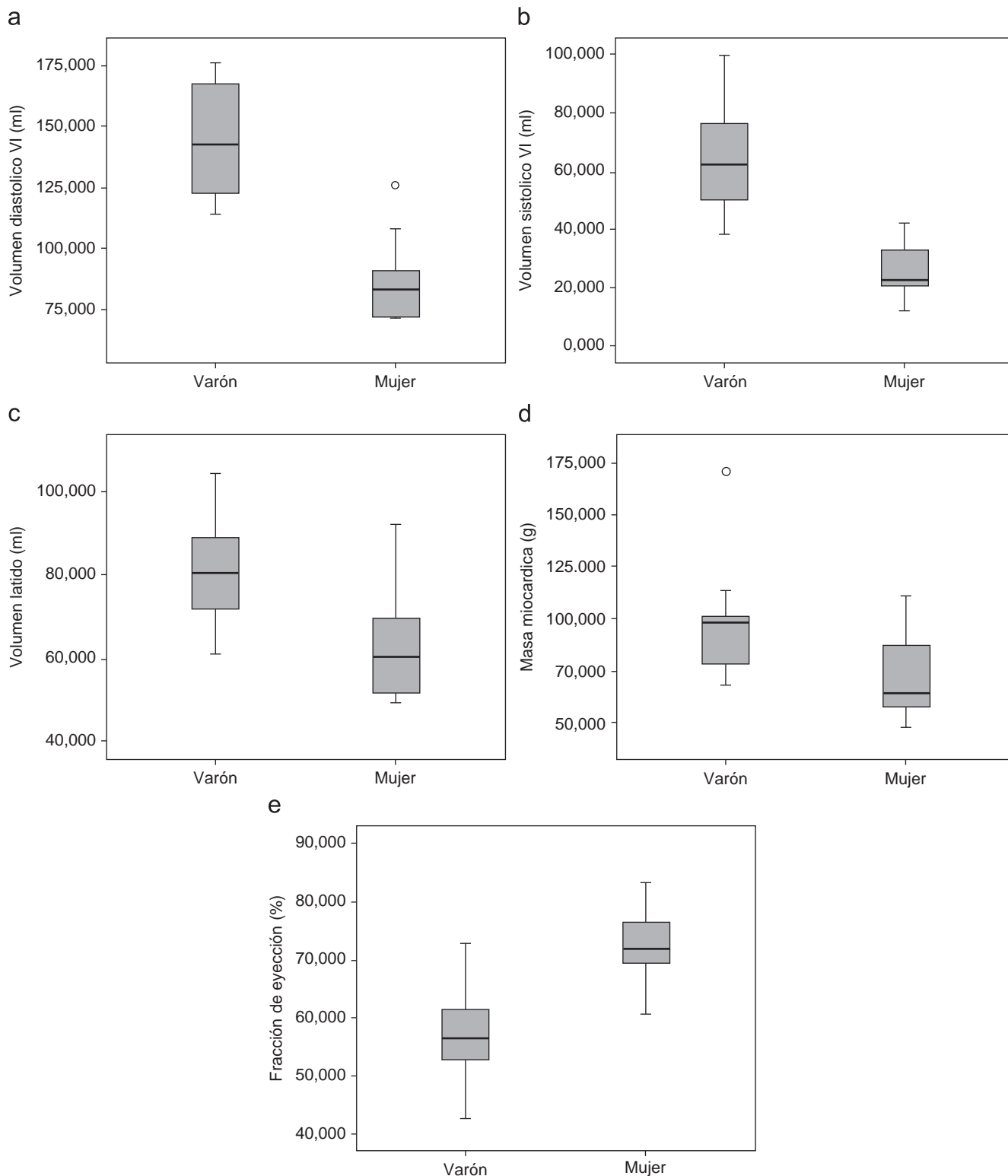


Figura 4 Diagrama de cajas (mediana, cuartiles y valores extremos) de los parámetros con diferencias estadísticamente significativas en función del sexo de los sujetos.

VI. Actualmente, con estas imágenes del ventrículo se puede analizar todo su volumen (imágenes multicorte) en numerosas fases del ciclo cardíaco (entre 16 y 32 adquisiciones por intervalo RR en nuestro trabajo). Además, todos los estudios publicados se centran en el análisis morfológico y

funcional, y no hay trabajos que analicen sistemáticamente la perfusión ni el realce tardío en la población de sujetos normales. Por otro lado, las herramientas de procesamiento de imágenes también han desarrollado rutinas más eficientes y reproducibles para analizar los parámetros de morfología,

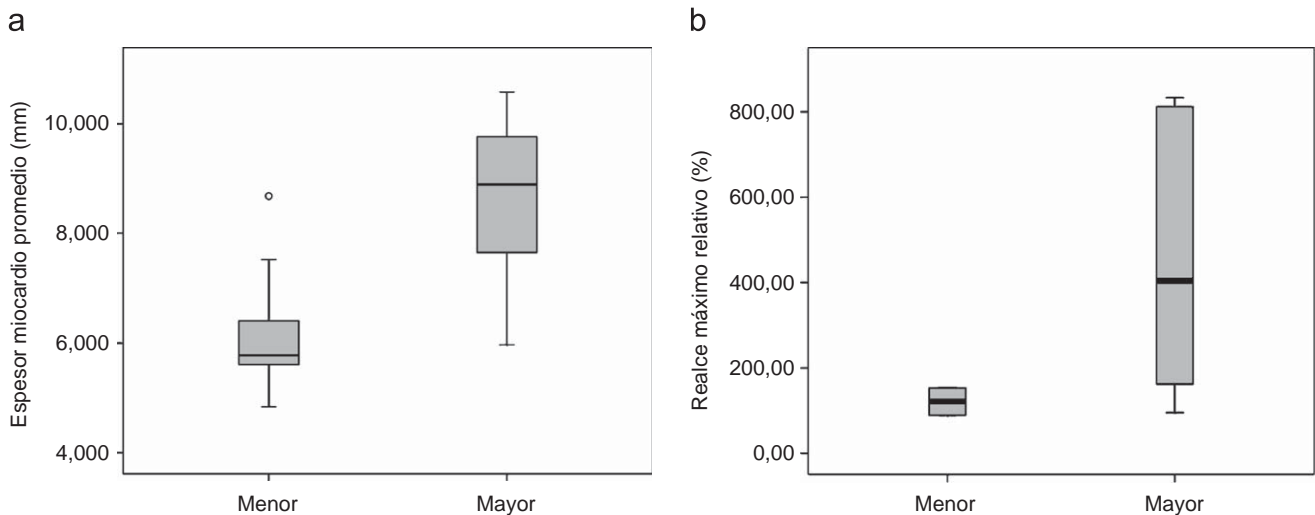


Figura 5 Diagrama de cajas (mediana, cuartiles y valores extremos) de los parámetros con diferencias estadísticamente significativas (espesor miocárdico) y tendencia a la significación (realce máximo relativo) en función de la edad de los sujetos.

función, perfusión y realce tardío. Además, los estudios que han publicado parámetros de referencia para la función en RM^{3,7,8,11-16} han utilizado diferentes aproximaciones. Así, hay también diferencias en el plano elegido para las mediciones (eje largo, eje corto, todos los ejes) y en los parámetros evaluados (sólo morfológicos, sólo funcionales). En nuestro trabajo se han evaluado globalmente los principales parámetros de la función y la morfología miocárdica del VI junto a la perfusión de primer paso y la viabilidad miocárdica, centrándonos en el volumen cardíaco adquirido en el eje corto y con una alta resolución espacial y temporal.

Como se conocía para varios de los parámetros analizados^{3,7,9-12}, se ha constatado en nuestra serie que el sexo influye en los valores de normalidad de diferentes medidas. En este trabajo, se han encontrado diferencias significativas entre varones y mujeres, con mayores valores en los varones para los parámetros de volúmenes TD y TS, volumen latido y masa miocárdica. Este aumento refleja el mayor tamaño global del ventrículo en los varones. Sin embargo, las mujeres presentaron un aumento discreto de la fracción de eyección. Este hallazgo, aunque apuntado en la bibliografía¹⁰, no había alcanzado relevancia estadística en series previas.

Se conoce que la edad, el sexo y la superficie corporal influyen en los diferentes parámetros morfológicos y funcionales del corazón¹¹. En nuestra serie se han evaluado las relaciones de los parámetros descritos con la edad y el sexo de los pacientes, aunque desafortunadamente no se pudo establecer la influencia del índice de masa corporal al no haber recogido la altura de los pacientes. Específicamente, diversos autores han investigado la influencia del sexo en la medición de estos parámetros^{3,7,8,11-17}. Así, Sandstede et al³ observaron, al igual que nosotros, diferencias significativas en la masa y el volumen del VI, mientras que otros parámetros como la fracción de eyección y el gasto cardíaco no presentaron diferencias. Por otro lado, Salton et al⁹ observaron un incremento significativo en el volumen TD, el volumen TS y la masa miocárdica en

varones, aunque no evidenciaron diferencias significativas en la fracción de eyección.

La edad también influye en los parámetros analizados. En nuestro trabajo, el análisis por edades evidenció diferencias significativas en el espesor promedio. Los espesores miocárdicos disminuyen con la edad. Esta diferencia en espesor, relacionada probablemente con la pérdida de masa miocárdica que se produce con la edad, no se traduce en diferencias en el engrosamiento miocárdico, donde se observan valores prácticamente iguales con la edad.

En otros trabajos también se han encontrado diferencias relevantes al estratificar por edades. Así, Sandstede et al³ encontraron diferencias significativas en el volumen TD y TS con un menor volumen y fracción de eyección en los sujetos mayores de 45 años. Aunque en nuestra serie esta tendencia está presente, la ausencia de significación estadística se puede deber a nuestro menor tamaño muestral. En el estudio realizado por Cain et al¹³ se demuestra que la masa del VI es mayor en los adolescentes y disminuye conforme se llega a la edad adulta. Aunque en nuestra serie esta tendencia también se observa, los valores globalmente menores cuantificados en nuestro análisis probablemente sean la justificación de la falta de significación estadística que se ha encontrado.

Aunque sin significación estadística, se ha observado en nuestra serie un mayor realce relativo máximo en los sujetos mayores de 45 años, en ausencia de enfermedad isquémica coronaria. Este hallazgo puede estar relacionado con el proceso de adaptación funcional microvascular y la presencia de fibrosis y enfermedad de pequeño vaso en estos sujetos. Estos realces nunca alcanzaron la relevancia observada visualmente en los infartos con necrosis miocárdica. Esta diferencia en la perfusión de los sujetos control asociada a la edad debería confirmarse en series más amplias para conocer con mayor precisión su prevalencia y relevancia.

En conclusión, se ha observado en esta serie de sujetos sanos con análisis cuidadoso de la morfología, la función, la perfusión y el realce tardío que hay diferencias entre sexos,

con un aumento estadísticamente significativo de los volúmenes TD y TS, del volumen latido y de la masa miocárdica en los varones, y un aumento estadísticamente significativo de la fracción de eyección en las mujeres. Los sujetos sanos mayores de 45 años presentan diferencias estadísticamente significativas en el espesor del miocardio. Es necesario, pues, conocer los valores de referencia de los parámetros morfofuncionales, de perfusión y de realce tardío para los estudios de RM del corazón. Dado que hay diferencias relevantes con los valores publicados en otras series, la técnica utilizada y las herramientas de posproceso deben tenerse también en cuenta como covariables relacionadas.

Autoría

Los autores han participado en: Concepción y diseño del estudio (LFChM, LMB, IR, PC, RSR, DM). Obtención de los datos (LFChM, LMB, IR). Análisis de los datos (LFChM). Interpretación de los datos (LFChM, LMB, IR, PC, RSR, DM). Redacción o revisión crítica del trabajo (LFChM, LMB, IR, PC, RSR, DM). Todos los autores han dado la aprobación final del manuscrito.

Financiación

Trabajo financiado parcialmente gracias a un proyecto de investigación con Bayer Schering Pharma coordinado por Ralf Loetsch.

Declaración de conflicto de intereses

L.F. Chaustre-Mendoza ha sido financiando durante un año con cargo a esta beca.

Bibliografía

- Oleaga L. Corazón: lo que el radiólogo debe conocer. En: Tardáguila Montero FM, Ferreiros Domínguez J, editors. Monografía SERAM. Imagen cardiovascular avanzada: RM y TC, Vol. 1. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2004. p. 1–10.
- Positano V. Post-processing. En: Lombardi M, Bartolozzi C, editors. MRI of the heart and vessels. Milan: Springer-Verlag; 2004. p. 57–74.
- Sandstede J, Lipke C, Beer M, Hofmann S, Pabst T, Kenn W, et al. Age- and gender-specific differences in left and right ventricular cardiac function and mass determined by cine magnetic resonance imaging. *Eur Radiol*. 2000;10:438–42.
- Hudsmith LE, Petersen SE, Tyler DJ, Francis JM, Cheng AS, Clarke K, et al. Determination of cardiac volumes and mass with FLASH and SSFP cine sequences at 1.5 vs 3 Tesla: a validation study. *J Magn Reson Imaging*. 2006;24:312–8.
- Sugeng L, Mor-Avi V, Weinert L, Niel J, Ebner C, Steringer-Mascherbauer R, et al. Quantitative assessment of left ventricular size and function: side-by-side comparison of real-time three-dimensional echocardiography and computed tomography with magnetic resonance reference. *Circulation*. 2006;114:654–61.
- Gutiérrez-Chico JL, Zamorano JL, Pérez de Isla L, Orejas M, Almería C, Rodrigo JL, et al. Comparison of left ventricular volumes and ejection fractions measured by three-dimensional echocardiography versus by two-dimensional echocardiography and cardiac magnetic resonance in patients with various cardiomyopathies. *Am J Cardiol*. 2005;95:809–13.
- 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.
- Clay S, Alfakih K, Radjenovic A, Jones T, Ridgway JP, Sivananthan MU. Normal range of human left ventricular volumes and mass using steady state free precession MRI in the radial long axis orientation. *Magn Reson Mater Phys*. 2006;19:41–5.
- Salton CJ, Chuang ML, O'Donnell CJ, Kupka MJ, Larson MG, Kissinger KV, et al. Gender differences and normal left ventricular anatomy in an adult population free of hypertension. A cardiovascular magnetic resonance study of the Framingham Heart Study Offspring cohort. *J Am Coll Cardiol*. 2002;39:1055–60.
- 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;174:763–8.
- Maceira AM, Prasad SK, Khan M, Pennell DJ. Normalized left ventricular systolic and diastolic function by steady state free precession cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2006;8:417–26.
- 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.
- Cain PA, Ahl R, Hedstrom E, Ugander M, Allansdotter-Johnsson A, Friberg P, et al. Physiological determinants of the variation in left ventricular mass from early adolescence to late adulthood in healthy subjects. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2005;25:332–9.
- Lorenz CH, Walker ES, Morgan VL, Klein SS, Graham Jr TP. 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.
- Redfield MM, Jacobsen SJ, Borlaug BA, Rodeheffer RJ, Kass DA. Age- and gender-related ventricular-vascular stiffening: a community-based study. *Circulation*. 2005;112:2254–62.
- Lyne JC, Pennell DJ. Cardiovascular magnetic resonance in the quantitative assessment of left ventricular mass, volumes and contractile function. *Coron Artery Dis*. 2005;16:337–43.
- Maceira AM, Prasad SK, Khan M, Pennell DJ. Reference right ventricular systolic and diastolic function normalized to age, gender and body surface area from steady-state free precession cardiovascular magnetic resonance. *Eur Heart J*. 2006;27:2879–88.