

Valores normales de los mapas de T1 nativo / T2 y de la función ventricular en resonancia magnética cardiaca en un equipo de 3T

Normal values of native T1 / T2 maps and ventricular function in Cardiac Magnetic Resonance Imaging in 3T scanner

Luis Carlos Reyes Márquez[1]
Carlos Alberto Hinestroza Perea[2]
Natalia Andrea Aldana Sepúlveda[3]
Diana Marcela Marín Pineda[4]
Alejandro Zuluaga Santamaría[5]

https://doi/org/10.53903/01212095.312

Palabras clave (DeCS)

Imagen por resonancia magnética cardiovascular
Miocardio
Función ventricular

Key words (MeSH)

Cardiac magnetic resonance imaging
Myocardium
Ventricular function

Resumen

Antecedentes: Los mapas de T1 y T2 son secuencias útiles en la resonancia magnética cardiaca (RMC) para la detección de alteraciones miocárdicas. Los valores normales de los mapas de T1 nativo dependen de múltiples factores, por tal motivo cada centro debe establecer sus propios valores normales. La RMC es la técnica de imagen de referencia en la cuantificación de la función ventricular; sin embargo, los estudios actuales están basados generalmente en población caucásica europea y de Estados Unidos. ***Objetivo:*** Establecer los valores de referencia normales de los mapas T1 nativo y T2 y de la función ventricular en individuos sanos en un equipo de RM 3T. ***Método:*** Estudio transversal en individuos sanos entre 20 y 80 años de edad a quienes se les practicó RMC en un equipo de 3T. Se obtuvieron secuencias de mapas de T1 nativo y T2 y función ventricular. Se estimaron valores promedio, desviación estándar e intervalo de confianza del 95%, para cada grupo de edad y sexo. Se evaluó la concordancia interobservador e intraobservador. ***Resultados:*** Se incluyeron 64 individuos sanos (32 mujeres) con una edad promedio de 47 años (DE: 15,1). La media del valor del T1 nativo fue de 1.177 ms ± 43,19 ms y del valor del mapa de T2 fue 38,9 ms ± 2,66. Los valores de T1 nativo aumentan con la edad en ambos sexos, y fueron mayores en las mujeres. La mayoría de los valores de función ventricular fueron más altos en los hombres y disminuyeron con la edad en ambos sexos. La concordancia intra e interobservador fue buena. ***Conclusión:*** Se presentan los valores normales de los mapas de T1 nativo y mapas T2 y de la función ventricular en individuos sanos, con una buena concordancia intra e interobservador.

Summary

Background: T1 and T2 maps are useful sequences in cardiac magnetic resonance (CMR) for the detection of myocardial alterations. Normal values of native T1 maps depend on multiple factors, so each center must establish its own normal values. CMR is the reference imaging technique in the quantification of ventricular function, however, current studies are generally based on European and US Caucasian population. ***Objective:*** To establish the normal reference values of native T1 and T2 maps and ventricular function in healthy individuals in a 3T MRI scanner. ***Methods:*** Cross-sectional study in healthy individuals between 20 and 80 years old in Medellín who underwent CMR in 3T scanner. Native T1 and T2 map sequences and ventricular function were obtained. Mean values, standard deviation and 95% confidence interval were estimated for each age group and sex. Interobserver and intraobserver agreement was evaluated. ***Results:*** 64 healthy individuals (32 women) with a mean age of 47 years (SD: 15.1) were included. The mean native T1 value was 1177 ms ± 43.19 ms and T2 map value was 38.9 ms ± 2.66. Native T1 values increase with age in both sexes, and were higher in females. Most ventricular function values were higher in men and decreased with age in both sexes. Intra- and interobserver agreement was good. ***Conclusion:*** Normal values of native T1 and T2 maps and ventricular function in healthy individuals from Medellín are presented, with good intra- and interobserver agreement.

Introducción

La resonancia magnética cardiaca (RMC) es la técnica de imagen de referencia en la cuantificación de la función ventricular global y en la caracterización del tejido miocárdico de forma no invasiva, con un impacto cada vez mayor en el diagnóstico, establecimiento de pronóstico y en la toma de decisiones terapéuticas de pacientes con cardiomiopatía.

[1]Médico radiólogo, Diagnóstico Cedimed Quirónsalud. Medellín, Colombia. https://orcid/org/0000-0003-3962-2432

[2]Médico radiólogo, Diagnóstico Cedimed Quirónsalud. Medellín, Colombia. https://orcid/org/0000-0002-1805-8601

[3]Radióloga, Imagen cardiovascular Cedimed Quirónsalud. Medellín, Colombia. https://orcid/org/0000-0002-9017-093X

[4]Estadística, MSc. Epidemiología, PhD Ciencias Médicas. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia. https://orcid/org/0000-0002-4715-8388

[5]Radiólogo, Imagen cardiovascular Cedimed Quirónsalud, coordinador Especialización en Radiología e Imágenes Diagnósticas, Universidad Pontificia Bolivariana. Cedimed Quirónsalud. Medellín, Colombia. https://orcid/org/0000-0002-2421-1254

La cuantificación precisa de la función del ventrículo izquierdo (VI) es clave para la toma de decisiones clínicas en cardiología. Los volúmenes de la cavidad del VI al final de la sístole (VTSVI) y al final de la diástole (VTDVI) reflejan un remodelado miocárdico adverso. La masa del VI (MVI) es un marcador pronóstico independiente en individuos con y sin enfermedad cardiovascular. La fracción de eyección del VI (FEVI) proporciona una estimación de la función sistólica del VI y es determinante para muchas decisiones clínicas importantes, como el tratamiento de resincronización cardiaca, las intervenciones valvulares y el tratamiento de los síndromes de insuficiencia cardiaca.

Los mapas paramétricos de T1 y T2 son secuencias incorporadas en los últimos años a los estudios de RMC (1,2). Estas secuencias están cada vez más disponibles en la práctica clínica (3). Los mapas T1 y T2 se realizan en varias apneas durante la fase diastólica del ciclo cardiaco y sus resultados se muestran a través de mapas de colores, en los que el color de cada pixel representa un valor de T1 o T2.

En comparación con el miocardio normal, los valores de los mapas de T1 nativo (los cuales se realizan sin la administración de medio de contraste intravenoso) en pacientes con cardiomiopatías se aumentan de manera leve a moderada ante fibrosis o edema miocárdico y en mayor grado en los pacientes con amiloidosis (3-6). Entre tanto, en la enfermedad de Anderson Fabry y en las patologías por sobrecarga miocárdica de hierro estos valores se encuentran disminuidos (3,7,8). Por otra parte, los mapas de T2 permiten detectar edema miocárdico, por ejemplo, en el infarto agudo de miocardio y en procesos inflamatorios e infecciosos agudos (3,9). En los pacientes trasplantados, los mapas de T2 permiten detectar edema en los procesos inflamatorios difusos del miocardio por rechazo al trasplante, aun en fases iniciales (10).

Un aspecto clave en la cuantificación de los mapas T1 nativo y T2 es conocer los valores de referencias normales de cada centro de atención, pues dichos valores dependen de múltiples factores como la marca del resonador, la intensidad del campo magnético (1,5T o 3T), la población estudiada y el tipo de secuencia utilizada. La mayoría de los estudios han publicado valores de referencia normales de mapas T1 nativo y T2 en equipos 1,5-T. Sin embargo, en los últimos años, los equipos 3T son cada vez más utilizados para RMC y los de valores de referencia normales de los mapas T1 son escasos y ninguno ha sido realizado en población colombiana.

En el consenso internacional de mapas miocárdicos por RMC (3) se resalta la importancia de establecer valores de referencias normales en cada centro. En sujetos sanos el tejido miocárdico presenta una composición muy homogénea y, por tanto, posee propiedades magnéticas muy uniformes, de tal manera que los valores los mapas T1 nativo y T2 del miocardio normal son altamente reproducibles y muestran rangos relativamente estrechos cuando se adquieren en las mismas condiciones. Los rangos de referencia deben generarse a partir de conjuntos de datos adquiridos, procesados y analizados de la misma forma que la aplicación prevista en cada centro, con el rango superior e inferior de la normalidad definidos por la media más y menos dos desviaciones estándar de los datos normales, respectivamente. De acuerdo con el consenso internacional de mapas miocárdicos por RMC (3), la precisión requerida del intervalo de referencia local depende de la aplicación clínica propuesta: para escenarios con cambios biológicos de pequeña magnitud —por ejemplo, el diagnóstico de fibrosis miocárdica difusa—, se requiere una alta precisión para la cuantificación de mapas de T1 nativo; por ejemplo, rangos de referencia derivados de más de 50 sujetos sanos.

En la actualidad se dispone de valores de referencia normales de función ventricular global en equipos de RM de 1,5 y 3T para sujetos normales utilizando imágenes de eje corto SSFP (Steady-State Free Precession). Se ha demostrado que los parámetros de los volúmenes y de la función del VI no varían en función de la potencia del campo o la marca del resonador (11-13). Se debe anotar también que los estudios actuales de referencia para cuantificar la función ventricular están basados, en su mayoría, en población caucásica europea y de Estados Unidos, lo cual hace que la precisión de los valores generados de esta cuantificación no sea aplicable de forma precisa en otras poblaciones. Las poblaciones de origen latinoamericano, como la colombiana, generalmente han estado menos o no representadas en la mayor parte de los grandes estudios clínicos. Con este trabajo se pretende establecer los valores de referencia normales de los mapas T1 nativo y T2 y de la función ventricular en individuos sanos de la población colombiana en un equipo de RM 3T. Es necesario el conocimiento preciso de los valores normales para hacer el diagnóstico de las cardiomiopatías.

Materiales y métodos

Estudio transversal de individuos sanos que se invitaron y se reclutaron para practicarles una RMC sin medio de contraste intravenoso en resonador 3T (Siemens Skyra), en un centro de imágenes diagnósticas de Medellín, entre agosto de 2018 y febrero de 2021. Los datos se almacenaron en el PACS (Picture Archiving and Communication System) de la institución y los posprocesos se hicieron con el *software* de imagen cardiovascular CVI (Circle cvi CMR 42, release 5.9.3-1130).

Se incluyeron individuos sanos entre 20 y 80 años, sin síntomas cardiovasculares al momento del estudio y sin antecedentes de enfermedad cardiaca (congénita, valvular o miocardiopatía). Esto se corroboró al ingresar al estudio mediante una encuesta y se confirmó con secuencias de cine obtenidas una vez adquiridas las secuencias de RMC, verificando que no había alteraciones cardiacas estructurales o funcionales.

Se excluyeron quienes al ingreso reportaron embarazo, hipertensión arterial, diabetes *mellitus*, enfermedad del colágeno, antecedente de quimioterapia para cualquier tipo de tumor, hiperlipidemia grave, falla renal, enfermedades sistémicas (amiloidosis, sarcoidosis, linfoma, tuberculosis, Chagas), enfermedades autoinmunes o deportistas de alto rendimiento.

El tamaño de muestra se estableció con base en el consenso internacional de mapas (3) —que recomienda usar 50 o más RMC de pacientes sanos— divididos y distribuidos así: en el grupo etario de 20 a 39 años (11 mujeres y 13 hombres), en el de 40 a 59 años (11 mujeres y 9 hombres) y en el de 60 a 80 años (10 mujeres y 10 hombres) .

Las imágenes de RMC se obtuvieron en equipo de 3-T (Skyra, Siemens Healthcare, Erlangen, Germany). La adquisición se hizo con el paciente en posición supina usando antena de corazón de 30 canales. Se hicieron secuencias de cine Steady-State Free Precession (SSFP) longitudinales, cuatro, tres y dos cámaras, además de eje corto de los ventrículos para valorar la función ventricular —que refleja las normas clínicas actuales para la cuantificación de la función ventricular—. En los mapas T1 nativos se adquirieron tres imágenes de eje corto: basal, tercio medio y apical. Se utilizó la secuencia de mapeo T1 MOLLI (Modified Look-Locker Inversion-recovery). El posproceso se hizo a través de un programa para imagen cardiovascular (Circle cvi CMR 42, release 5.9.3-1130) analizando la función biventricular y valores de mapas T1 y T2 nativos del ventrículo izquierdo.

Las imágenes fueron analizadas de forma individual e independientemente por dos radiólogos especialistas en imágenes cardiacas con más de 10 años de experiencia. Asimismo, cegados a la información de los pacientes y analizándolos en orden aleatorio, cada especialista calculó nuevamente los valores de los mapas T1 nativo para evaluar la validez y precisión a través de la concordancia inter e intraobservador.

Los parámetros de función ventricular (FV) se determinaron trazando de manera semiautomática los bordes epicárdico y endocárdico en las fases cardiacas telediastólica y telesistólica en las secuencias de cine resonancia en eje corto, el trazo se hizo incluyendo los músculos papilares dentro de la masa miocárdica (figura 1).

Las imágenes se evaluaron para identificar artefactos de movimiento (cardiaco o respiratorio) con el fin de excluir segmentos miocárdicos que mostraron anomalías focales, difusas o en forma de banda. El valor de los mapas se calculó trazando un área de interés (ROI) en el eje corto de la región del septo interventricular donde había mayor grosor miocárdico, sin incluir *pool* sanguíneo ni grasa epicárdica para evitar falsos resultados (figura 2).

Los parámetros de función ventricular y mapas T1 y T2 nativos se describieron con la media desviación estándar (DE) y los valores normales se estimaron con el intervalo de confianza del 95 % (IC 95 %) para la media. Todas las variables siguieron una distribución normal según la prueba de Kolmogorov-Smirnov, por lo tanto, la comparación por sexo se realizó con la prueba t de Student.

Para la estimación de las bandas de confianza en las gráficas que relacionaron los parámetros de función ventricular indexados con la edad (en años), se utilizó regresión local (LOESS, por sus siglas en inglés) debido a que no se comprobó relación lineal entre dichas variables. La concordancia inter e intraobservador se analizó con el método de Bland y Altman y la prueba t-Student se utilizó para corroborar la ausencia de sesgo en las valoraciones de mapas T1 por los radiólogos.

Se utilizaron los programas SPSS 22.0 y R 4.013. Se consideró significativo un valor *p* bilateral menor a 0,05.

Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de Investigación en Salud de la Universidad Pontificia Bolivariana el 14 de septiembre de 2020 (Acta 19 de 2020) y por Cedimed. Todos los individuos dieron su consentimiento informado antes de ingresar al estudio.

Resultados

Se hicieron 64 estudios de RMC en individuos sanos entre 20 y 80 años que se distribuyeron proporcionalmente según sexo y grupo etario. No se informaron eventos adversos al momento de la adquisición de las imágenes. Todas las resonancias tuvieron una técnica adecuada y sin artefactos.

El promedio de edad fue 47,0 (DE: 15,1) y fue similar por sexo. La media para el valor de mapa T1 nativo de toda la muestra fue 1.177 ms (DE 43,19) y el IC 95 % fue 1.092-1.261. Al analizarlo por sexo, se encontró que el valor de mapeo T1 fue mayor en las mujeres 1.184 (IC 95 %: 1.084-1.284 ms) que en los hombres 1.169 (IC 95 %: 1.105-1.233 ms) sin diferencia estadísticamente significativa (tabla 1). Se observó que esta superioridad se mantuvo en todos los grupos etarios (figura 3).

Tabla 1. Comparación de la función ventricular, mapa T1 nativo y mapa T2 según sexo, en individuos sanos de Medellín

Característica*	Mujer *n*=32	Hombre *n*=32	Valor *p*
Edad (años)	47,6 ± 15,24	46,3 ± 15,10	0,737
Volumen fin de diástole VI (mL)	92,6 ± 15,45	134,4 ± 23,97	<0,001
Volumen fin de sístole VI (mL)	24,9 ± 7,25	42,4 ± 10,83	<0,001
Volumen latido/ descarga VI (mL)	67,4 ± 11,58	91,9 ± 15,74	<0,001
Fracción de eyección del VI (%)	73,3 ± 5,74	68,6 ± 4,26	0,001
Masa miocárdica (g)	79,3 ± 11,97	123,9 ± 19,49	<0,001
Volumen fin de diástole VI, Index (mL/m^2)	56,2 ± 6,81	71,3 ± 10,83	<0,001
Volumen fin de sístole VI, Index (mL/m^2)	15,1 ± 4,18	22,5 ± 5,64	<0,001
Volumen latido/ descarga VI, Index (mL/m^2)	41,1 ± 5,13	48,8 ± 6,53	<0,001
Masa miocárdica, Index (g/m^2)	48,2 ± 5,16	65,9 ± 9,16	<0,001
Volumen fin de diástole VD (mL)	95,9 ± 17,92	149,8 ± 28,91	<0,001
Volumen fin de sístole VD (mL)	31,0 ± 8,66	54,1 ± 13,58	<0,001
Volumen latido/ descarga VD (mL)	64,9 ± 13,05	95,0 ± 18,20	<0,001
Fracción de eyección del VD (%)	67,8 ± 6,47	63,9 ± 4,74	0,009
Volumen fin de diástole VD, Index (mL/m^2)	58,1 ± 8,11	79,4 ± 12,81	<0,001
Volumen fin de sístole VD, Index (mL/m^2)	18,8 ± 4,94	28,6 ± 6,54	<0,001
Volumen latido/ descarga VD, Index (mL/m^2)	39,3 ± 5,86	50,5 ± 8,41	<0,001
Mapa T1 Nativo (ms)	1.184,5 ± 51,01	1.169,4 ± 32,74	0,164
Mapa T2 (ms)	39,5 ± 2,95	38,2 ± 2,19	0,053

*Todos los valores están representados como media ± desviación estándar. VI: ventrículo izquierdo; VD: ventrículo derecho; Index: valor ajustado según área de superficie corporal del paciente; ms: milisegundos.

Para los mapas T2 se obtuvo una media de 38,9 ms (IC 95 %: 38,2-39,5 ms). En las mujeres los valores de mapas T2 (39,5 ms ± 2,95) fueron mayores que en los hombres (38,2 ms ± 2,19) sin diferencia estadísticamente significativa (p= 0,053) (tabla 2). Esta tendencia se mantuvo en todos los grupos de edad (figura 4).

Los valores de los parámetros de la FV (volúmenes ventriculares) y masa del VI fueron más altos en hombres con diferencia estadísticamente significativa (tabla 1). En contraste, la fracción de eyección del VI fue mayor en las mujeres, con un 73,3 % en comparación con el 68,64 % en los hombres (p= 0,001) (tabla 1).

Al analizar la FV por edad se observó que los valores disminuyen a medida que esta aumenta (figura 5 panel a-c). Además, se mantienen

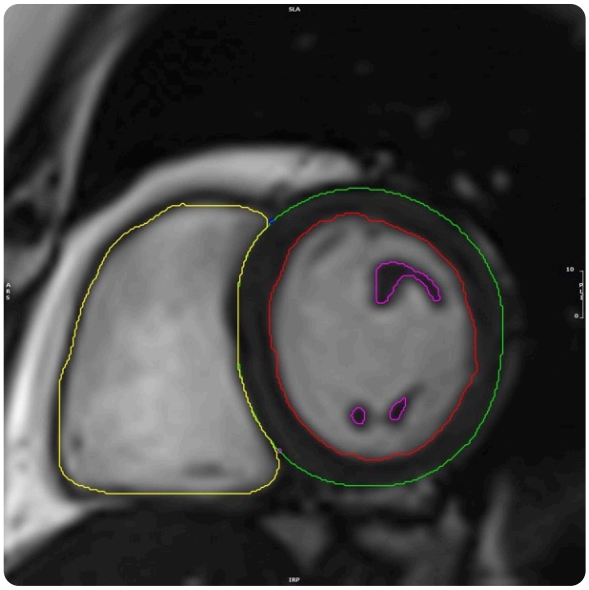


Figura 1. Evaluación de la función ventricular. Imágenes telediástólicas en eje corto con secuencia SSFP. Se muestran los contornos epicárdicos (verde) y endocárdicos (rojo) definidos para el ventrículo izquierdo y los contornos endocárdicos (amarillo) definidos para el ventrículo derecho.

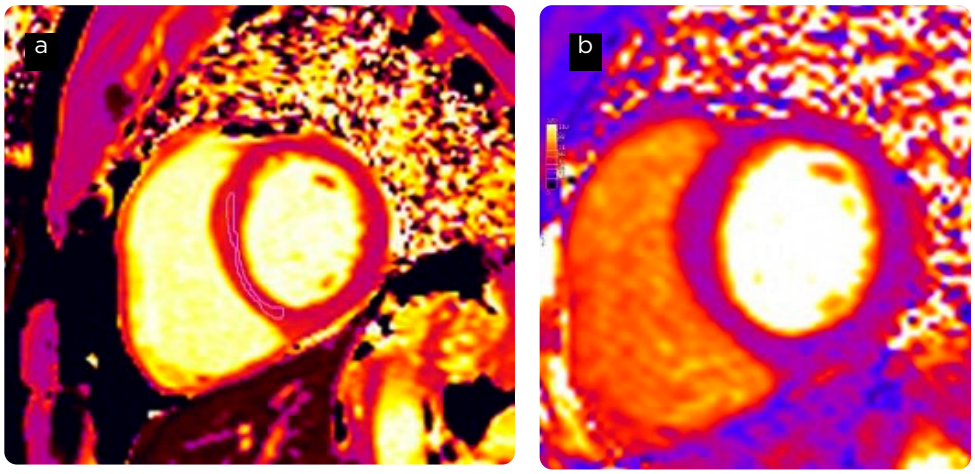


Figura 2. Mapas T1 y T2 nativos. a) Secuencia de mapa T1 MOLLI de un individuo sano (con tiempo de T1 normal: 1.176 milisegundos [ms]), medido colocando el ROI en el septo interventricular sin incluir el *pool* sanguíneo. b) Secuencia de Mapeo T2 de un individuo sano (con tiempo de T2 normal: 38 ms).

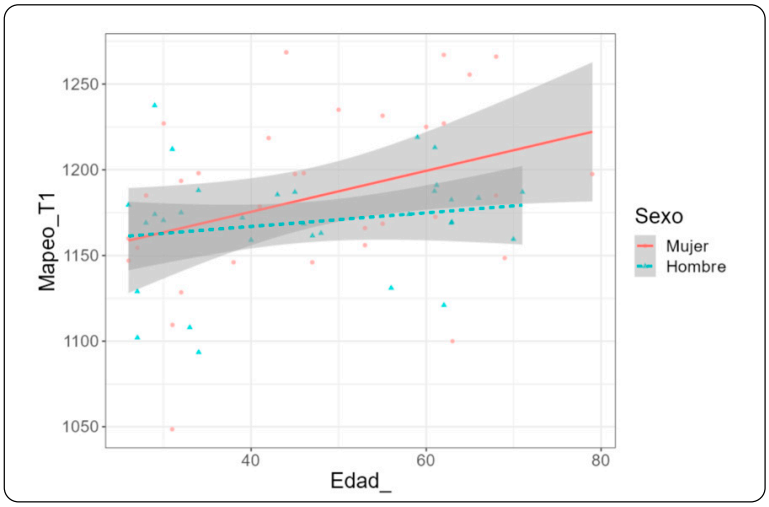


Figura 3. Mapa T1 nativo por sexo y edad. Se relacionan los valores de mapa T1 nativo con la edad discriminada por sexo.

en los diferentes grupos etarios valores de FV más altos en hombres que en mujeres, excepto en la fracción de eyección donde esta relación está invertida (tablas 2 y 3). La masa miocárdica del VI tiene un valor menor en el grupo etario entre los 60 y 80 años.

Para el establecimiento de los valores normales de los mapas de T1 por edad y sexo se evaluó la validez estimando la concordancia interobservador entre dos radiólogos, así como la concordancia intraobservador de cada uno mediante los gráficos de Bland Altman (figura 6). Se encontró que el sesgo promedio entre ambos radiólogos para medir los mapas de T1 no mostró diferencias importantes 2,32 ms (IC 95%: -1,71, 6,36; p=0,30) y más del 95% de las mediciones se encontraron en los límites de concordancia (figura 6a).

Tabla 2. Parámetros de función ventricular izquierda, por edad y sexo en individuos sanos de Medellín (2018-2021) *

Parámetro	Sexo / edad (años)					
	Hombres			Mujeres		
	20-39	40-59	60-80	20-39	40-59	60-80
VFD (mL)	144,2 ± 26,85 [129,6; 158,8]	136,9 ± 17,89 [125,2; 148,6]	119,2 ± 18,16 [107,9; 130,4]	99,2 ± 16,99 [89,1; 109,2]	95,9 ± 9,09 [90,5; 101,2]	81,7 ± 14,56 [72,7; 90,7]
VFS (mL)	46,1 ± 11,80 [39,7; 52,5]	41,6 ± 6,86 [37,2; 46,1]	38,2 ± 11,70 [31,0; 45,5]	29,4 ± 7,60 [24,9; 33,9]	23,8 ± 5,11 [20,8; 26,9]	21,1 ± 6,74 [16,9; 25,2]
VL/D (mL)	98,1 ± 17,40 [88,7; 107,6]	95,2 ± 12,97 [86,8; 103,7]	80,9 ± 9,93 [74,8; 87,1]	69,8 ± 12,33 [62,5; 77,1]	71,1 ± 8,11 [66,3; 75,9]	60,8 ± 12,13 [53,2; 68,3]
FEVI (%)	68,2 ± 4,08 [66,0; 70,4]	69,7 ± 3,00 [67,7; 71,6]	68,3 ± 5,56 [64,8; 71,7]	70,5 ± 5,39 [67,3; 73,7]	75,2 ± 4,24 [72,7; 77,7]	74,2 ± 6,79 [70,0; 78,4]
MM (g)	124,0 ± 21,38 [112,4; 135,6]	131,4 ± 15,75 [121,1; 141,7]	117,0 ± 19,19 [105,1; 128,8]	79,3 ± 14,38 [70,8; 87,8]	80,5 ± 7,73 [75,9; 85,1]	78,0 ± 13,92 [69,3; 86,6]
VFDIX (mL/m^2)	76,2 ± 9,83 [70,9; 81,6]	70,1 ± 9,55 [63,9; 76,4]	65,8 ± 11,15 [58,9; 72,7]	60,3 ± 6,57 [56,4; 64,2]	57,0 ± 5,00 [54,1; 60,0]	50,7 ± 5,37 [47,4; 54,0]
VFSIX (mL/m^2)	24,3 ± 4,98 [21,6; 27,0]	21,4 ± 3,99 [18,8; 24,0]	21,3 ± 7,39 [16,7; 25,9]	17,8 ± 4,03 [15,4; 20,2]	14,2 ± 2,85 [12,5; 15,9]	13,1 ± 4,29 [10,4; 15,7]
VL/DVIX (mL/m^2)	52,2 ± 6,18 [48,8; 55,5]	48,7 ± 6,36 [44,6; 52,9]	44,6 ± 4,90 [41,5; 47,6]	42,5 ± 5,48 [39,2; 45,7]	42,9 ± 4,14 [40,4; 45,3]	37,5 ± 4,25 [34,9; 40,2]
MMX (g/ m^2)	65,8 ± 9,35 [60,7; 70,9]	67,3 ± 7,95 [62,1; 72,5]	64,6 ± 10,60 [58,0; 71,2]	48,1 ± 4,87 [45,2; 51,0]	48,1 ± 5,21 [45,0; 51,2]	48,5 ± 5,93 [44,8; 52,1]

* Los valores representan la media, la desviación estándar y el intervalo de confianza del 95% para el valor promedio. VI: ventrículo izquierdo; VD: ventrículo derecho; VFD: volumen fin de diástole; VFS: volumen fin de sístole; VL/D: volumen latido/descarga; FEVI%: fracción de eyección del ventrículo izquierdo; MM: masa miocárdica; VFDIX: volumen fin de diástole del VI indexado; VFSIX: volumen fin de sístole del ventrículo indexado; VL/DVIX: volumen latido/descarga VI indexado; MMX: masa miocárdica indexada. Index: valor ajustado según área de superficie corporal del paciente.

Tabla 3. Parámetros de función ventricular derecha, por edad y sexo en individuos sanos de Medellín (2018-2021)*

Parámetro	Sexo / edad (años)					
	Hombres			Mujeres		
	20-39	40-59	60-80	20-39	40-59	60-80
VFS (mL)	60,9 ± 14,43 [53,1; 68,7]	54,0 ± 12,49 [45,8; 62,1]	45,3 ± 8,12 [40,3; 50,3]	36,5 ± 7,65 [31,9; 41,0]	26,7 ± 6,69 [22,8; 30,7]	29,6 ± 9,10 [23,9; 35,2]
VL/D (mL)	102,0 ± 20,93 [90,6; 113,4]	99,4 ± 15,36 [89,4; 109,4]	81,9 ± 8,10 [76,8; 86,9]	67,2 ± 12,63 [59,7; 74,6]	69,2 ± 11,54 [62,4; 76,0]	57,6 ± 13,15 [49,5; 65,8]
FEVD (%)	62,7 ± 4,96 [60,0; 65,4]	64,9 ± 5,48 [61,3; 68,4]	64,6 ± 3,82 [62,2; 67,0]	64,7 ± 6,10 [61,1; 68,3]	72,3 ± 4,15 [69,9; 74,8]	66,1 ± 6,60 [62,0; 70,1]
VFDIX (mL/m^2)	87,1 ± 12,95 [80,1; 94,2]	78,4 ± 10,36 [71,6; 85,1]	70,3 ± 8,21 [65,3; 75,4]	63,1 ± 6,48 [59,3; 67,0]	57,0 ± 8,77 [51,8; 62,2]	53,9 ± 6,49 [49,9; 57,9]
VFSIX (mL/m^2)	32,2 ± 6,84 [28,5; 35,9]	27,6 ± 6,00 [23,6; 31,5]	25,0 ± 4,27 [22,3; 27,6]	22,3 ± 4,44 [19,6; 24,9]	15,9 ± 3,87 [13,6; 18,2]	18,3 ± 4,52 [15,5; 21,1]
VL/DVIX (mL/m^2)	54,2 ± 9,52 [49,0; 59,3]	50,8 ± 7,23 [46,1; 55,5]	45,3 ± 5,26 [42,1; 48,6]	40,9 ± 5,47 [37,7; 44,1]	41,1 ± 5,82 [37,6; 44,5]	35,6 ± 5,04 [32,5; 38,8]

* Los valores representan la media, desviación estándar e intervalo de confianza del 95% para el valor promedio. VI: ventrículo izquierdo; VD: ventrículo derecho; VFD: volumen fin de diástole; VFS: volumen fin de sístole; VL/D: volumen latido/descarga; FEVI%: fracción de eyección del VI; MM: masa miocárdica; VFDIX: volumen fin de diástole del VI indexado; VFSIX: volumen fin de sístole del ventrículo indexado; VL/DVIX: volumen latido/descarga VI indexado; MMX: masa miocárdica indexada. Index: valor ajustado según área de superficie corporal del paciente.

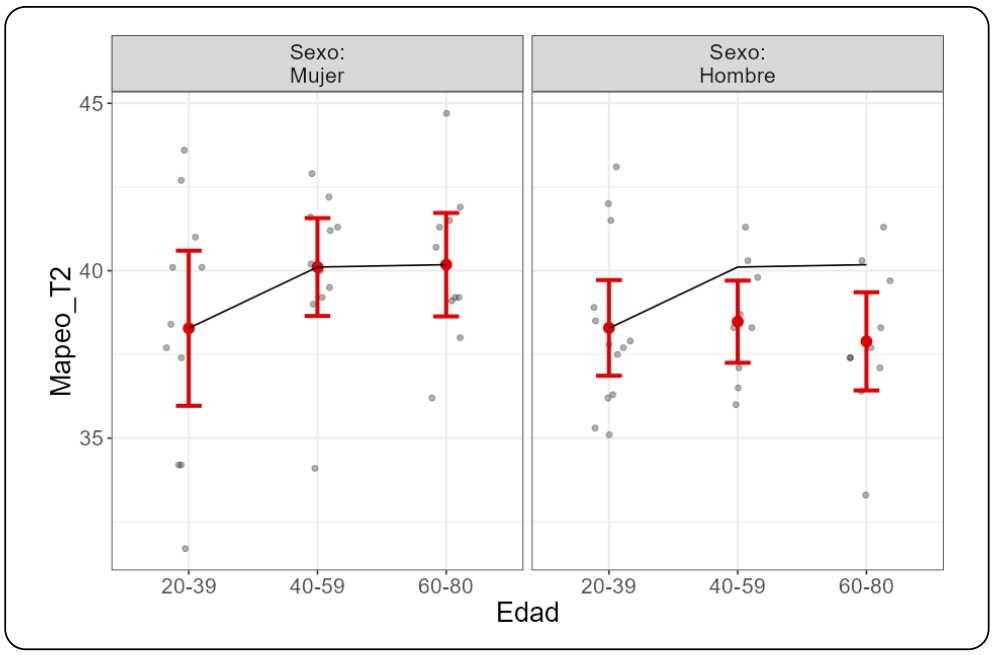


Figura 4. Mapas T2 por sexo y edad. Se presentan los valores promedio de T2 con su intervalo de confianza del 95% discriminado por edad y sexo.

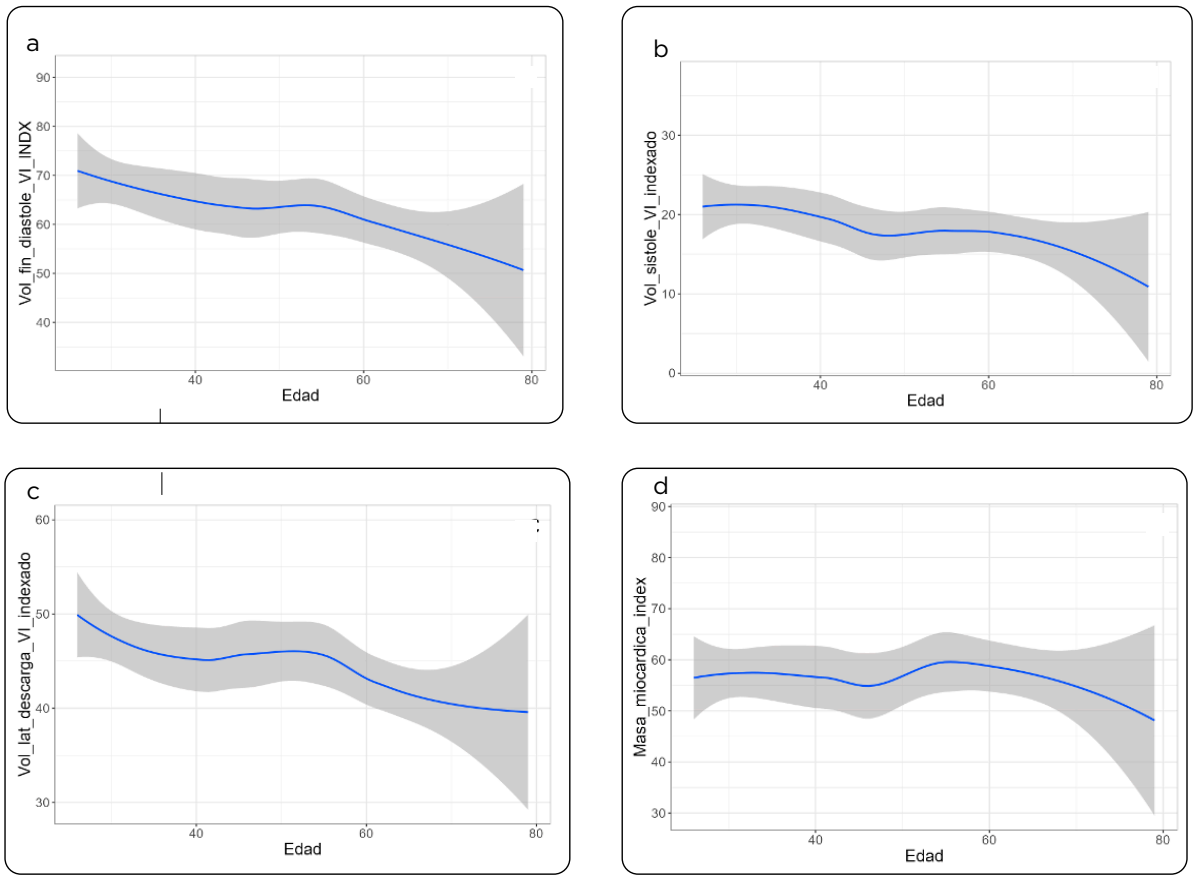


Figura 5. Parámetros de función ventricular indexados por edad. Muestra los valores de función ventricular y la masa miocárdica del VI. a). Volumen de fin de diástole del VI indexado. b) Volumen de fin de sístole del VI indexado. c) Volumen latido/descarga del VI indexado. d) Masa miocárdica del VI indexada.

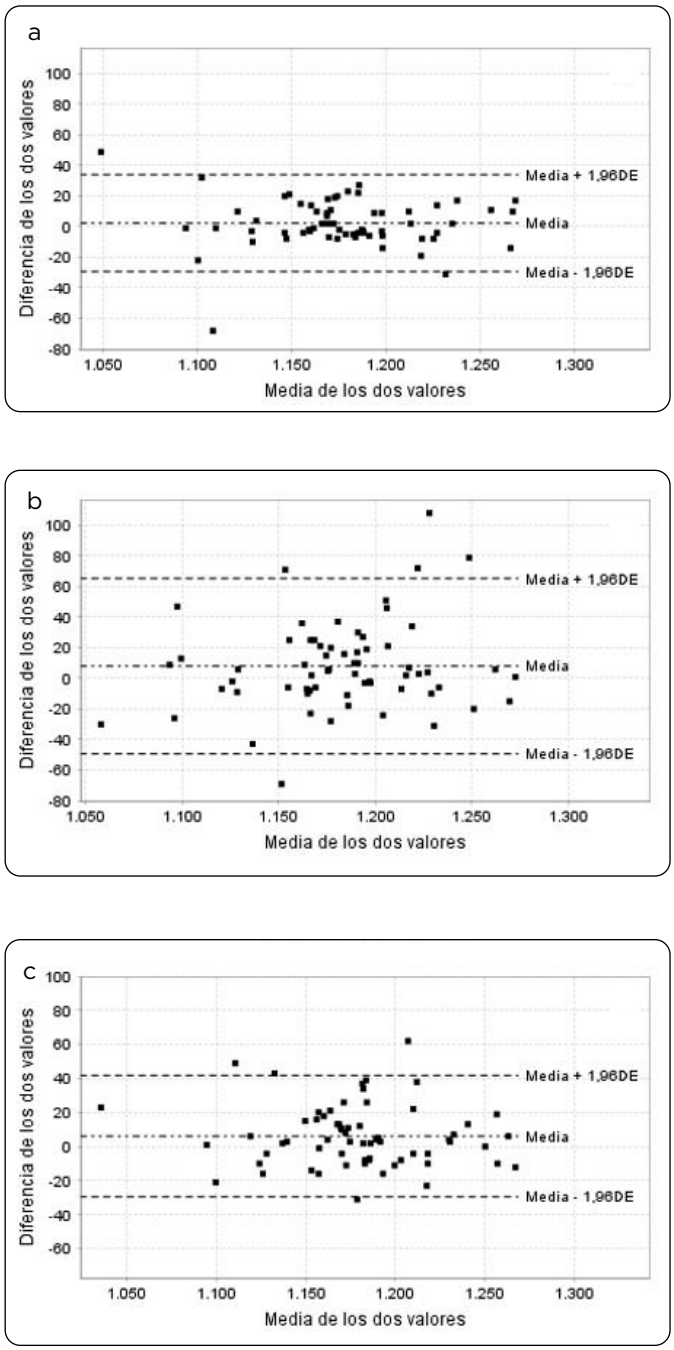


Figura 6. Concordancia inter e intraobservador de la valoración de los mapas de T1 nativo en individuos sanos de Medellín (2018-2021). La precisión interobservadores está en el panel a y la precisión intraobservador de cada radiólogo en los paneles b-c. DE: desviación estándar.

Discusión

Este es el primer estudio en Colombia en analizar los valores normales de mapas de T1 y T2 nativos y la FV en individuos sanos usando un resonador 3T.

Encontramos una media de T1 nativo para toda la muestra de individuos sanos de 1.177 ms (DE 43,19 e IC 95% 1.092-1.261). Estos valores son similares a los informados en la literatura en resonador 3T. Gottbrecht et al. (14) hicieron un metaanálisis cuyo objetivo fue comprender el grado de variabilidad entre estudios que reportaban mediciones de mapas de T1 nativo en adultos sanos. De 120 artículos publicados (*n*=5.541 pacientes), 62 utilizaron resonador 3-T, de estos, 28 fueron realizados con equipo 3T Siemens. En estos últimos se encontró una media unificada de mapas de T1 nativo de 1.192 ms (IC 95% 1.171-1.214) (14), similar a los resultados aquí descritos de T1 nativo 1.177 ms (IC 95% 1.166-1.187). Por otro lado, Von Knobelsdorff-Brenkenhoff et al. (15) obtuvieron valores normales de mapas de T1 nativo en resonador 3T (Magnetom Verio, Siemens) en 60 individuos sanos (30 hombres) en Alemania, con secuencia de mapas T1 nativo (Modified Look-Locker Inversion Recovery [MOLLI]) y encontraron valores de T1 nativo de 1.158 ms (IC 95% 1.074-1.250), los cuales son ligeramente menores a los hallazgos de este estudio. Roy et al. (16) —75 individuos sanos, 36 mujeres— y Granitz et al. (1) —58 individuos sanos, 33 mujeres— informaron una media de mapas T1 nativo para toda la muestra de 1.162 ms (DE 80) y 1.183 ms (DE 37,5), respectivamente, ambos con resonador 3T, que al comparar con los de este trabajo no tienen diferencia estadísticamente significativa (p= 0,106).

Al analizar en este trabajo el comportamiento de los mapas T1 nativos en relación con la edad y el sexo, se encuentra que los valores de T1 nativo se incrementan con la edad en las mujeres, en quienes este valor siempre es más alto en todos los grupos etarios que en los hombres; sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Estos resultados son similares a los publicados por Roy et al., quienes obtuvieron valores de mapas T1 nativo (MOLLI) para mujeres de 1.194 ms (DE 48) y hombres 1.128 (DE 103), siempre más altos en mujeres (16).

Los valores absolutos normales de mapas de T1 nativo en el presente estudio son similares a los informados en estudios previos llevados a cabo en condiciones similares (resonador 3T, secuencia MOLLI y marca Siemens) y, por ende, son un marco de referencia fundamental para la interpretación de los estudios en la caracterización tisular miocárdica. Sin embargo, como se ha descrito en publicaciones recientes por Razzaq et al. (17) y Kranzusch et al. (18) el informe de los resultados de los mapas T1 en valores absolutos no permite la comparación directa de los resultados de exámenes efectuados en instituciones con equipos de diferente teslaje y marca, por la variabilidad secundaria al *hardware* y *software* de los mismos. Estos autores recomiendan el empleo de valores de puntuación z (desviaciones estándar) para informar los resultados de los mapas de T1 nativo y T2 miocárdicos, con el fin de eliminar la variación de los resultados cuantitativos absolutos del mapeo en diferentes sistemas de RM y potencias de campo, siempre y cuando se utilicen secuencias de la familia MOLLI en los estudios que se van a comparar. Específicamente, Razzaq et al. (17) en su estudio documentaron mejoras significativas en la concordancia entre escáneres de diferente marca y teslaje sobre los valores de mapas T1 y T2 nativos al comparar los valores de puntuación z en lugar de los valores absolutos, con una buena concordancia de los valores de puntuación z T1 y T2 resultantes. Además, no se observó una variabilidad significativa entre las muestras emparejadas específicas de cada escáner para los datos de mapeo de valores de puntuación z, mientras que sí hubo diferencias significativas en los valores absolutos de T1 y T2 entre escáneres. Si en el presente estudios se comparan los valores absolutos y de puntuación z de los mapas de T1 nativo (media: 1.177 ms DE 43,19 / 2DE 86,38,

valores normales de T1: 1.090-1.263 ms) y T2 (media: 38,9 ms DE 2,57 / 2DE 5,14, valores normales de T2: 33,76-44.04 ms), son similares a los obtenidos por Razzaq et al. (17) con escáner y secuencia iguales a las utilizadas en el presente trabajo (Siemens Skyra 3-T y secuencia MOLLI), mapas T1 (media: 1.210 ms DE 31 / 2DE 62, valores normales de T1: 1.148-1.272 ms) y mapas T2 (media: 41 ms DE 2,5 / 2DE 5, valores normales de T2: 36-46 ms). Estos resultados apoyan la noción de un efecto positivo al expresar los resultados de los mapas T1 y T2 como puntuaciones *z* en entornos clínicos.

En este trabajo se encontró que los mapas de T1 nativo son una herramienta válida y precisa con adecuada concordancia inter e intraobservador. Asimismo, la concordancia intraobservador para cada radiólogo indicó que el sesgo promedio fue nulo (p=0,2) en ambos casos y no hubo sesgo proporcional aun cuando se observara que el 8 % de los datos estuvieran por fuera de los límites de concordancia para el radiólogo 1. Estos resultados indican que la lectura del mapeo T1 es independiente del operador. Hallazgos equiparables con los encontrados en el estudio de Kai Lin et al. (19), quienes evidenciaron buena reproducibilidad. Por otra parte, Aus dem Siepen et al. encontraron valores de mapeo T1 estables en el tiempo en pacientes sanos, con mapas de T1 basales de 1.017±24 ms vs. seguimiento de 1015±21 ms (p=0,6) (20).

Se observaron diferencias relacionadas con el sexo y la edad en los volúmenes cardiacos y en la masa del VI, como era de esperarse. Se encontraron mayores volúmenes ventriculares y masa ventricular izquierda en hombres, lo cual es similar a otras publicaciones que han obtenido valores de referencia en población sana con similar rango de edad. Granitz et al. (1) analizaron a 60 voluntarios sanos (40,1 años ± 13,7, 33 mujeres) en resonadores 3-T y 1.5-T y encontraron que la masa miocárdica indexada del ventrículo izquierdo (58,6 ± 5,9 g/m^2 en mujeres y 72,5± 9,6 g/m^2 en hombres), el volumen de fin de diástole (123,0 mL ± 23,2, mujeres) y sístole del ventrículo izquierdo (43,2 mL ± 13,6, mujeres), eran menores en las mujeres, a diferencia de la FEVI que fue menor en los hombres (60,0 % ± 6,6 vs. 65,6 % ± 5,8 p=0,001). Alfakih et al. (21) evaluaron 60 individuos sanos (30 hombres) en resonador 1.5-T (Philips Intera CV MRI system) y encontraron que los valores de VFDindex para el VI (hombres=82,3 mL/m^2 ± 14,7, mujeres=77,7 mL/m^2 ± 10,8) y el VFDindex para el VD (hombres=86,2 mL/m^2 ± 14,1, mujeres=75,2 mL/m^2 ± 13,8) eran mayores en los hombres y la fracción de eyección fue mayor en las mujeres (hombres=65,5 % ± 4,1, mujeres=67,1 % ± 4,6). En otros estudios en poblaciones inglesa y belga, encontraron hallazgos con tendencias similares (16,22). Maceira et al. estudiaron 120 pacientes sanos entre 20 y 79 años (60 mujeres) a quienes les midieron la FV izquierda por RMC en equipo de 1.5-T. Al igual que en el presente estudio (figura 5), Maceira et al. (22) observaron que los valores de volúmenes ventriculares y la masa del VI están influenciados por la edad, con tendencia a la disminución progresiva en los valores de FV a medida que avanza la edad. En el estudio aquí documentado, la fracción de eyección de la población de mujeres es superior a la encontrada por Maceira et al. y el grupo con más diferencia fue el de mujeres entre 40 y 59 años (22). Estos resultados también están en consonancia con un estudio internacional reciente de Raisi-Estabragh et al. (23) que incluye 9.088 individuos sanos y en el cual describen que los volúmenes de las cavidades ventriculares eran mayores en los hombres que en las mujeres, incluso tras la indexación por área de superficie corporal, con una tendencia descendente de los volúmenes ventriculares en edades avanzadas, y la correspondiente reducción de las medidas de la función ventricular.

Tabla 4. Comparación de los volúmenes ventriculares derechos e izquierdos absolutos e indexados, fracción de eyección y masa ventricular izquierda entre la cohorte de Medellín y las cohortes de los estudios de Kael-Boehm et al. (24) y Macedo et al. (25) en mujeres y hombres

Mujeres			
Parámetro	**Medellín, 2024 (*n*: 32/Medellín/20-80 años)**	**Kawel-Boehm, 2015, metaanálisis (*n*: 105/Europa/20-80 años) (24)**	**Macedo, Brasil, 2013 (*n*: 53/3 centros Brasil/20-80 años) (25)**
VFD VI mL	92,6 (61,7-123,5) 2DE 30,9	132 (86-178) 2DE 46	114,4 (62,4-166,4) 2DE 52
VFS VI mL	24,9 (10,4-39,4) 2DE 14,5	44 (22-66) 2DE 22	40,1 (5,1-75,1) 2DE 35
VL VI mL	67,4 (44,2-90,5) 2DE 23,16	87 (57-117) 2DE 30	
Masa VI g	79,3 (55,3-103,2) 2DE 23,94	98 (56-140) 2DE 42	74,8 (34,6-115) 2DE 40,2
FEVI %	73,3 (61,8-84,7) 2DE 11,48	67 (57-77) 2DE 10	66,1 (53,1-79,1) 2DE 13
VFDI VI mL/m^2	56,2 (42,5-69,8) 2DE 13,62	76 (56-96) 2DE 20	68,5 (34,6-102,1) 2DE 33,6
VFSI VI mL/m^2	15,1 (6,7-23,4) 2DE 8,36	24 (14-34) 2DE 10	24 (1,4-46,6) 2DE 22,6
VLI VI mL/m^2	41,1 (30,8-51.3) 2DE 10,26	52 (38-66) 2DE 14	
Masa VI g/m^2	48,2 (37,8-58,5) 2DE 10,32	61 (41-81) 2DE 20	44,6 (21,2-68) 2DE 23,4
VFD VD mL	95,9 (60,0-131,7) 2DE 35,84	139 (77-201) 2DE 62	115 (63-167) 2DE 52
VFS VD mL	31,0 (13,6-48,3) 2DE 17,32	54 (24-84) 2DE 30	45,4 (16,8-74) 2DE 28,6
VL VD mL	64,9 (38,8-91,0) 2DE 26,1	84 (48-120) 2DE 36	
FEVD %	67,8 (54,8-80,7) 2DE 12,94	61 (51-71) 2DE 10	61 (45,4-76,6) 2DE 15,6
VFDI VD mL/m^2	58,1 (41,8-74,3) 2DE 16,22	80 (48-112) 2DE 32	68,6 (38,2-99) 2DE 30,4
VFSI VD mL/m^2	18,8 (8,9-28,6) 2DE 9,88	32 (12-52) 2DE 20	27,1 (10,1-44,1) 2DE 17
VLI VD mL/m2	39,3 (27,5-51,0) 2DE 11,72	53 (35-71) 2DE 18	

Hombres			
Parámetro	**Medellín, 2024 (*n*: 32/Medellín/20-80 años)**	**Kawel-Boehm, 2015, metaanálisis (*n*: 105/Europa/20-80 años) (24)**	**Macedo, Brasil, 2013 (*n*: 53/3 centros Brasil/20-80 años) (25)**
VFD VI mL	134,4 (86,4-182,3) 2DE 47,94	160 (106-214) 2DE 54	142 (98,6-185,4) 2DE 43,4
VFS VI mL	42,4 (20,7-64,0) 2DE 21,66	54 (26-82) 2DE 28	50,1 (21,9-78,3) 2DE 28,2
VL VI mL	91,9 (60,5,2-123,3) 2DE 31,4	108 (72-144) 2DE 36	
Masa VI g	123,9 (84,9-162,88) 2DE 38,98	134 (92-176) 2DE 42	115,2 (63,2-167,2) 2DE 52
FEVI%	68,6 (60,0-77,1) 2DE 8,52	67 (57-77) 2DE 10	64,9 (52,7-77,1) 2DE 12,2
VFDI VI mL/m^2	71,3 (49,6-92,9) 2DE 21,66	81 (57-105) 2DE 24	74,2 (48-100,4) 2DE 26,2
VFSI VI mL/m^2	22,5 (11,22-33,7) 2DE 11,28	26 (14-38) 2DE 12	26,3 (11,7-40,9) 2DE 14,6
VLI VI mL/m^2	48,8 (35,7-61,8) 2DE 13,06	54 (42-66) 2DE 12	
Masa VI g/m^2	65,9 (47,5-84,2) 2DE 18,32	67 (49-85) 2DE 18	59,8 (36,4-83,2) 2DE 23,4
VFD VD mL	149,8 (91,9-207,6) 2DE 57,82	184 (118-250) 2DE 66	149 (81,4-216,6) 2DE 67,6
VFS VD mL	54,1 (26,9-81,2) 2DE 27,16	79 (41-117) 2DE 38	64,1 (25,5-102,7) 2DE 38,6
VL VD mL	95,0 (58,6-131,4) 2DE 36,4	106 (68--144) 2DE 38	
FEVD%	63,9 (54,4-73,38) 2DE 9,48	62 (52-72) 2DE 10	57,1 (42,9-71,3) 2DE 14,2
VFDI VD ml/m^2	79,4 (53,7-105,0) 2DE 25,62	91 (61-121) 2DE 30	77 (44,2-109,8) 2DE 32,8
VFSI VD mL/m^2	28,6 (15,5-41,6) 2DE 13,08	39 (19-59) 2DE 20	33,4 (15,4-51,4) 2DE 18
VLI VD mL/m^2	50,5 (33,6-67,3) 2DE 16,82	57 (41-73) 2DE 16	

VFD: volumen al final de la diástole; VFS: volumen al final de la sístole; VL: volumen latido; FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo; FEVD: fracción de eyección del ventrículo derecho.

Un hallazgo relevante del presente trabajo es que los valores absolutos e indexados de los volúmenes ventriculares de la cohorte de individuos sanos son menores a los informados en estudios previos, como se puede observar en la tabla 4, en la que se comparan los valores normales con dos estudios, una revisión de la literatura de Kael-Boehm et al. (24) de estudios realizados en población europea caucásica y otro de Macedo et al. (25) en población brasileña. Se seleccionaron estos dos estudios pues en esos trabajos, al igual que en el presente, se utilizó un posproceso de las imágenes en el que los músculos papilares se incluyen en la masa del VI y no en el volumen ventricular. Según se describe en un metaanálisis de Raisi-Estabragh et al. del 2021 (26), las principales fuentes potenciales de variabilidad en los valores normales entre las diferentes publicaciones sobre el tema son: 1) características de la población estudiada (edad, sexo, etnicidad); 2) análisis de las imágenes (marca y versión del posproceso, método de segmentación e inclusión o exclusión de los músculos papilares de la masa miocárdica ventricular); 3) protocolo de la RMC; y 4) características del escáner utilizado (teslaje, marca, etc.); las dos primeras son la mayor fuente de variabilidad. Analizando todos los factores descritos, se considera que la causa más probable de la diferencia de los volúmenes ventriculares pueden ser diferencias en las características raciales de las poblaciones estudiadas. Excepto el presente trabajo y el de Macedo et al. (25) en Brasil, no se conocen estudios publicados de valores normales de referencia de RMC en poblaciones latinoamericanas. La mayoría de las publicaciones al respecto se basan en estudios en poblaciones caucásicas europeas y norteamericanas. Raisi-Estabragh et al. (23) en el estudio que incluye un mayor número de individuos sanos (9.088) publicado en 2024, tratando de disminuir los sesgos raciales incluye poblaciones de varios países y etnias (caucásicos, afrodescendientes, chinos, asiáticos del sur y otros); sin embargo, no se incluye población latinoamericana. Natori et al. (27) analizaron 800 pacientes (400 hombres), entre 45 y 84 años y encontraron que para los hombres no hubo diferencias significativas en la mayoría de los parámetros del VI entre blancos americanos, afroamericanos e hispanos. Sin embargo, el VFD del VI, el VFS del VI, y la masa miocárdica fueron diferentes entre los asiáticos y otros grupos étnicos (p <0,05). En este estudio la representación de hispanos fue muy limitada y solo se incluyó población hispana residente en Estados Unidos. Como se observa en la tabla 4, los valores de volúmenes ventriculares del presente trabajo son menores a los encontrados en el estudio de Macedo et al. en Brasil; sin embargo, es importante considerar que las proporciones entre las etnias (población mestiza, afrodescendiente, blanca, indígena, etc.) es muy diferente entre Colombia y Brasil y puede explicar las diferencias encontradas.

Limitaciones

En el presente trabajo solo se incluyó población sana de Medellín, lo que no se puede generalizar a Colombia o a la población latinoamericana. Por otro lado, se incluyó un número limitado de individuos sanos que, aunque fue suficiente para establecer los valores normales de referencia de mapas de T1 nativo y T2, es limitado para definir valores de referencia de parámetros de función ventricular para la población colombiana.

Conclusión

En este estudio se informan por primera vez en Colombia valores normales de mapa T1 nativo (secuencia MOLLI), mapa T2 y función ventricular en individuos sanos de Medellin en resonador 3-T. Los va-

lores normales de los mapas T1 nativo y T2 y de la función ventricular variaron con la edad y el sexo de manera similar a lo informado en la literatura. Se encontró que los mapas de T1 nativo son una herramienta válida y precisa con adecuada concordancia inter e intraobservador. Un hallazgo relevante es que los valores absolutos e indexados de los volúmenes ventriculares de la cohorte de individuos sanos de este trabajo son menores a los informados en estudios previos que usualmente se han desarrollado en poblaciones caucásicas europeas y americanas; sería de gran valor llevar a cabo un estudio multicéntrico en Colombia y en Latinoamérica para definir sus propios rangos de normalidad con el fin de mejorar la interpretación de los estudios de RMC en esta población.

Reconocimiento

Agradecimientos especiales a los tecnólogos de RMC, auxiliares de enfermería, personal de programación, a la dirección médica y a la gerencia de nuestra institución, por hacer posible esta investigación.

Agradecimiento a SIEMENS, por facilitarnos las secuencia de mapas T1 y T2 como parte de un acuerdo de investigación interinstitucional.

Referencias

1. Granitz M, Motloch LJ, Granitz C, et al. Comparison of native myocardial T1 and T2 mapping at 1.5T and 3T in healthy volunteers: Reference values and clinical implications. Wien Klin Wochenschr. 2019;131(7-8):143-55. https://doi.org/10.1007/s00508-018-1411-3.
2. Kim PK, Hong YJ, Im DJ, et al. Myocardial T1 and T2 mapping: Techniques and clinical applications. Korean J Radiol. 2017;18(1):113-31. https://doi.org/10.3348/kjr.2017.18.1.113.
3. Messroghli DR, Moon JC, Ferreira VM, et al. Clinical recommendations for cardiovascular magnetic resonance mapping of T1, T2, T2* and extracellular volume: A consensus statement by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) endorsed by the European Association for Cardiovascular Imaging (EACVI). J Cardiovasc Magn Reson. 2017;19(1):75. https://doi.org/10.1186/s12968-017-0389-8.
4. Dass S, Suttie JJ, Piechnik SK, et al. Myocardial tissue characterization using magnetic resonance noncontrast t1 mapping in hypertrophic and dilated cardiomyopathy. Circ Cardiovasc Imaging. 2012;5(6):726-33. https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.112.976738.
5. Ferreira VM, Piechnik SK, Dall'Armellina E, et al. Native T1-mapping detects the location, extent and patterns of acute myocarditis without the need for gadolinium contrast agents. J Cardiovasc Magn Reson. 2014;16(1):36. https://doi.org/10.1186/1532-429X-16-36.
6. Karamitsos TD, Piechnik SK, Banypersad SM, et al. Noncontrast T1 mapping for the diagnosis of cardiac amyloidosis. JACC Cardiovasc Imaging. 2013;6(4):488-97. https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2012.11.013.
7. Sado DM, White SK, Piechnik SK, et al. Identification and assessment of Anderson-Fabry disease by cardiovascular magnetic resonance noncontrast myocardial T1 mapping. Circ Cardiovasc Imaging. 2013 May 1;6(3):392–8. https://doi.org/ 10.1161/CIRCIMAGING.112.000070.
8. Pedersen SF, Thrysøe SA, Robich MP, et al. Assessment of intramyocardial hemorrhage by T1-weighted cardiovascular magnetic resonance in reperfused acute myocardial infarction. J Cardiovasc Magn Resonance. 2012;14(1):59. https://doi.org/10.1186/1532-429X-14-59.
9. Thavendiranathan P, Walls M, Giri S, et al. Improved detection of myocardial involvement in acute inflammatory cardiomyopathies using T2 mapping. Circ Cardiovasc Imaging. 2012;5(1):102-10. https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.111.967836.
10. Usman AA, Taimen K, Wasielewski M, et al. Cardiac magnetic resonance T2 mapping in the monitoring and follow-up of acute cardiac transplant rejection: a pilot study. Circ Cardiovasc Imaging. 2012;5(6):782-90. https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.111.971101.
11. Maroules CD, McColl R, Khera A, Peshock RM. Interstudy reproducibility of SSFP cine magnetic resonance: impact of magnetic field strength and parallel imaging. J Magn Reson Imaging. 2008;27(5):1139-45. https://doi.org/10.1002/jmri.21343.
12. Zange L, Muehlberg F, Blaszczyk E, et al. Quantification in cardiovascular magnetic resonance: agreement of software from three different vendors on assessment of left ventricular function, 2D flow and parametric mapping. J Cardiovas Magn Reson. 2019;21(1):12. https://doi.org/10.1186/s12968-019-0522-y.
13. Hudsmith LE, Cheng ASH, Tyler DJ, et al. Assessment of left atrial volumes at 1.5 tesla and 3 tesla using FLASH and SSFP cine imaging. J Cardiovas Magn Reson. 2007;9(4):673-679. https://doi.org/10.1080/10976640601138805.
14. Gottbrecht M, Kramer CM, Salerno M. Native T1 and extracellular volume measurements by cardiac MRI in healthy adults: a meta-analysis. Radiology. 2019;290(2):317-26. https://doi.org/10.1148/radiol.2018180226.
15. Von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Prothmann M, Dieringer MA, et al. Myocardial T1 and T2 mapping at 3 T: reference values, influencing factors and implications. J Cardiovasc Magn Reson. 2013;15(1):53. https://doi.org/10.1186/1532-429X-15-53.
16. Roy C, Slimani A, de Meester C, et al. Age and sex corrected normal reference values of T1, T2 T2* and ECV in healthy subjects at 3T CMR. J Cardiovasc Magn Reson. 2017;19(1):72. https://doi.org/10.1186/s12968-017-0371-5.
17. Razzaq S, Haririsanati L, Eyre K, et al. Inter-scanner comparability of Z-scores for native myocardial T1 and T2 mapping. J Cardiovasc Magnetic Resonance. 2024;26(1):100004. https://doi.org/10.1016/j.jocmr.2023.100004.
18. Kranzusch R, Siepen FAD, Wiesemann S, et al. Z-score mapping for standardized analysis and reporting of cardiovascular magnetic resonance modified Look-Locker inversion recovery (MOLLI) T1 data: Normal behavior and validation in patients with amyloidosis, J Cardiovasc Magnetic Resonance. 2020;22(1):6. https://doi.org/10.1186/s12968-019-0595-7.
19. Lin K, Suwa K, Ma, et al. Variability of native T1 values: implication for defining regional myocardial changes using MRI. Int J Cardiovasc Imaging. 2018;34(10):1637-45. https://doi.org/10.1007/s10554-018-1371-8.
20. Aus dem Siepen F, Baumgärtner C, Müller-Henessen M, et al. Variability of cardiovascular magnetic resonance (CMR) T1 mapping parameters in healthy volunteers during long-term follow-up. Open Heart. 2018;5(1):e000717. https://doi.org/10.1136/openhrt-2017-000717.
21. Alfakih K, Plein S, Thiele H, et al. 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. https://doi.org/10.1002/jmri.10262.
22. Maceira AM, Prasad S, Khan M, Pennell DJ. Normalized left ventricular systolic and diastolic function by steady state free precession cardiovascular magnetic resonance. J Cardiovasc Magnetic Resonance. 2006;8(3):417-26. https://doi.org/10.1080/10976640600572889.
23. Raisi-Estabragh Z, Szabo L, McCracken C, et al. Cardiovascular magnetic resonance reference ranges from the healthy hearts consortium. JACC Cardiovasc Imaging. 2024:S1936-878X(24)00061-5. https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2024.01.009.
24. Kawel-Boehm N, Maceira A, Valsangiacomo-Buechel ER, et al. Normal values for cardiovascular magnetic resonance in adults and children. J Cardiovasc Magnetic Resonance. 2015;17(1):29. https://doi.org/10.1186/s12968-015-0111-7.
25. Macedo R, Lara Fernandes J, Souza Andrade S. et al. Morphological and functional measurements of the heart obtained by magnetic resonance imaging in Brazilians. Arq Bras Cardiol. 2013;101(1):68-77. https://doi.org/10.5935/abc.20130113.
26. Raisi-Estabragh Z, Kenawy AAM, Aung N, et al.Variation in left ventricular cardiac magnetic resonance normal reference ranges: systematic review and meta-analysis. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2021;22(5):494-504. https://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa089.
27. Natori S, Lai S, Finn JP. Cardiovascular function in multi-ethnic study of atherosclerosis: normal values by age, sex, and ethnicity. AJR Am J Roentgenol. 2006;186(6 Suppl 2):S357-65. https://doi.org/10.2214/AJR.04.1868.

Correspondencia

Alejandro Zuluaga Santamaría
Cedimed Quirónsalud, Universidad Pontificia Bolivariana
Medellín, Colombia
azulsan88@gmail.com

Recibido para evaluación: 10 de octubre de 2024
Aceptado para publicación: 15 de enero de 2025