

Técnicas básicas de cardiiorresonancia

Basic techniques in cardiac MRI

Jorge Andrés Delgado de Bedout¹, María Elena Sánchez Ramírez²,
Pedro Abad Díaz³, Víctor Daniel Calvo Betancur⁴

¹ Médico especialista en Neuro-radiología. Director científico e investigador de la Fundación Instituto de Alta Tecnología Médica de Antioquia. Medellín, Colombia.

Correspondencia: Cra 50 N° 63-95. Barrio Prado. Fundación IATM E-mail: jorge.delgadojandres@gmail.com.

² Tecnóloga Senior en Radiología e investigadora de la Fundación Instituto de Alta Tecnología Médica de Antioquia. Medellín, Colombia.

³ Médico especialista en Radiología. Investigador de la Fundación Instituto de Alta Tecnología Médica de Antioquia. Medellín, Colombia.

⁴ Asistente en Estadística e Investigador en Ciencias Clínicas de la Fundación Instituto de Alta Tecnología Médica de Antioquia. Profesor de Bioestadística e investigador de la Facultad de Medicina de la Corporación Universitaria Remington; Medellín, Colombia.

Resumen: la cardiiorresonancia es una alternativa diagnóstica que ofrece una valoración del corazón, los órganos adyacentes y la vasculatura torácica con una gran calidad de imagen, convirtiéndola en una herramienta científica de gran valor en medicina. Este proceso es realizado por profesionales de la salud, incluyendo médicos y tecnólogos en radiología, responsables de recolectar, confirmar y analizar los datos encontrados en la cardiiorresonancia, para culminar en un proceso de valoración anatómica y funcional de calidad clínica que trasciende más allá de la enfermedad, a campos como la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías. El presente trabajo pretende mostrar y caracterizar las técnicas básicas en cardiiorresonancia realizadas por un grupo interdisciplinario de médicos, tecnólogos e investigadores con más de 10 años de experiencia, convirtiéndose en un ejercicio de enseñanza y aprendizaje para el profesional clínico, ofreciendo elementos básicos que lo orienten en el análisis e interpretación de la cardiiorresonancia.

Palabras clave: resonancia magnética, corazón, tecnología.

Abstract: Cardiac MRI is a diagnostic alternative that provides an assessment of the heart, adjacent organs and vasculature in the chest with a high image quality, making it a valuable scientific tool in medicine. This process is performed by health professionals, including physicians and radiology technologists, who are responsible for collecting, verifying and analyzing the data found on the cardiac MRI, culminating in a process of anatomical and functional assessment of clinical quality that transcends beyond disease, to the research and development of new technologies. This paper aims to show and describe the basic techniques in cardiac MRI conducted by an interdisciplinary group of physicians, technologists and researchers with over 10 years of experience, becoming a learning exercise for the clinician, providing basic elements that guide in the analysis and interpretation of cardiac MRI.

Key words: magnetic resonance magnética, heart, technology.

Conflicto de intereses: los autores están vinculados laboralmente con la Fundación Instituto de Alta Tecnología Médica de Antioquia.

Medicina & Laboratorio 2011; 17: 81-94.

Módulo 14 (Tecnología), número 14. Editora Médica Colombiana S.A., 2010®.

Recibido el 25 de noviembre, 2010; aceptado el 4 de enero, 2011.

Las ayudas diagnósticas son más que una simple acumulación de datos clínicos y puntuales, apoyados en percepciones subjetivas de juicio de expertos clínicos o de valoraciones objetivas, demostradas en mediciones cuantitativas y funcionales, que buscan una información completa para orientar al médico especialista en el conocimiento y elaboración de un proceso diagnóstico que impacta en los cuidados y tratamientos del individuo, no solamente guiado por la tecnología, sino impulsado por el proceso vital humano, para así obtener respuestas funcionales que aborden al paciente de una manera integral.

La resonancia magnética es una técnica de imagen no invasiva que utiliza un campo magnético y ondas de radiofrecuencia para producir imágenes detalladas de cualquier estructura interna del organismo, incluyendo órganos, tejidos blandos y huesos. La resonancia magnética que se basa en la propiedad que poseen los núcleos de hidrógeno presentes en muchas moléculas, incluyendo el agua y los lípidos, de absorber energía electromagnética cuando se someten a un campo magnético potente [1].

El átomo de hidrógeno tiene en su núcleo un único protón o spin, que tiene la capacidad de girar en su eje como un trompo, y que se comporta como un imán microscópico al ser colocado dentro del resonador, de tal manera que este spin se orienta en la dirección del campo magnético y gira (movimiento de precesión) con una frecuencia constante proporcional a la potencia del magneto; la velocidad a la que gira dicho spin es conocida como frecuencia de precesión. Ver **figura 1**.

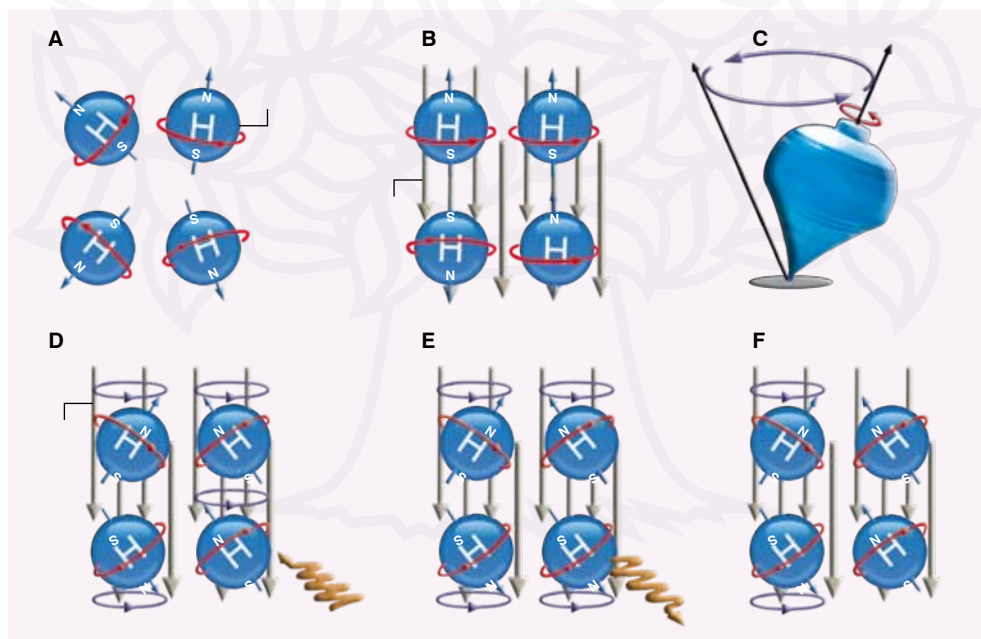


Figura 1. Los protones únicos, que en este caso son núcleos de hidrógeno o spins, giran en su eje en diferentes orientaciones (A). Cuando el resonador aplica un campo magnético, los spins tienden a alinear sus ejes a lo largo de las líneas del campo magnético (B). Sin embargo, dicha alineación no es exacta y tiene como resultado un movimiento de precesión (rotación de los ejes alrededor del campo magnético), a una frecuencia que es única para cada tipo de núcleo dentro de una molécula (C). Los spins bajo el campo magnético hacen movimientos de precesión con diferentes orientaciones en el campo magnético. Cuando el generador de radiofrecuencia envía un pulso de radiofrecuencia hacia el grupo de spins, únicamente el spin que hace movimiento de precesión a la misma tasa y fase de la frecuencia del pulso, podrá absorber su energía (D). La absorción de la energía por parte del spin hace que éste dé un giro de 180 grados; todos los núcleos que interaccionen con ese pulso de radiofrecuencia de la misma forma, también absorberán esa energía y harán el giro de 180 grados. El receptor de las señales de radiofrecuencia capta la señal inducida por estos cambios en la precesión de los spins y manda la información a la computadora (E). A diferentes intervalos, los spins que hicieron el giro liberan la energía absorbida de la radiofrecuencia y retornan a su orientación original (F).

Los átomos del cuerpo humano tras ser sometidos a un campo magnético y excitados con ondas de radiofrecuencia, liberan señales de radiofrecuencia que son captadas por las antenas o bobinas, codificadas en un complejo sistema analógico-digital y transformadas mediante una computadora de imágenes en “gama de grises”. Las imágenes anatómicas resultantes permiten analizar las características morfológicas de los tejidos, y en algunos casos su composición tisular y función [1].

Componentes de un equipo de resonancia magnética

- **Imán:** es el que genera el campo magnético principal, que debe ser lo más estático, estable y homogéneo posible [1].
- **Gradiente de campo:** son electroimanes dispuestos en los tres planos del espacio X, Y, Z, y que tienen una potencia mínimamente diferente en cada uno de sus extremos. Estas diferencias provocarán que la frecuencia de precesión de los protones sea ligeramente diferente en distintos puntos del espacio; diferencias que espacialmente codificadas según la dirección y orientación de los gradientes X, Y, Z permiten generar imágenes con planos anatómicos [1].
- **Generador de la radiofrecuencia:** genera las ondas de radiofrecuencia necesarias para excitar los espines. Son pulsos de radiofrecuencia de duración muy corta y frecuencia igual a la frecuencia de precesión de los núcleos que se pretende excitar [1].
- **Antenas o bobinas:** son dispositivos que colocados próximos al cuerpo que se está estudiando, permiten obtener una excitación y/o posterior detección de la señal óptima. Pueden ser emisoras y receptoras de señales de radiofrecuencia o únicamente receptoras [1].
- **Receptor–amplificador:** detector muy sensible de señales de radiofrecuencia que amplifica las señales liberadas por los protones [1].
- **Sistema de adquisición de datos–computadora:** después de pasar por el receptor donde la señal ha sido captada y amplificada, la señal pasa a un convertidor analógico-digital que transformará las señales de radiofrecuencia en gama de grises, determinando la intensidad de cada píxel de un plano tomográfico [1].
- **Consola principal y consola auxiliar (posprocesado de imágenes):** la consola principal es desde la que se programa el estudio y se ven las imágenes en el momento que son adquiridas. Algunos equipos de resonancia magnética están dotados de una segunda consola de trabajo en la que se pueden realizar posprocesados de imagen, cálculos de volúmenes, masa, entre otros, sin que este tiempo de ocupación de consola interfiera en la adquisición de otras imágenes o estudio de otros pacientes desde la consola principal. Desde una u otra consola se envían las imágenes al sistema de impresión (placa fotográfica, papel, etc.) y al sistema de almacenamiento final que puede poseer cada equipo [1].

Resonancia magnética cardíaca o cardiorresonancia

La resonancia magnética cardíaca o cardiorresonancia es una técnica imaginológica que permite la evaluación no invasiva de la estructura cardíaca y su funcionamiento, y es la técnica de elección para estudiar determinadas enfermedades cardiovasculares.

Secuencias en resonancia magnética

Las secuencias que usualmente se utilizan en la cardiorrsonancia se dividen en: 1) secuencias de pulso (estructurales); 2) secuencias gradiente eco (estructurales y cine); 3) secuencias de flujo; y 4) secuencias gradiente eco 3D. Las indicaciones clínicas determinan qué tipo de secuencias se deben emplear. Las secuencias de pulso por su parte se pueden dividir en secuencias de “sangre negra” (black blood o dark blood), en las cuales la sangre que circula es hipotensa (se observa negra) y son de especial utilidad para evaluar la anatomía cardíaca y los grandes vasos, y en secuencias de “sangre blanca” (bright blood), en las cuales la sangre se observa hipertensa (blanca) con respecto al miocardio normal, y que permiten obtener información anatómica y funcional.

Aspectos técnicos de la cardiorrsonancia

La resonancia magnética es una técnica de imagen no invasiva que permite analizar el sistema cardiovascular según unos principios físicos diferentes a las técnicas de imagen previamente utilizadas, que le confiere ciertas ventajas y limitaciones frente a los clásicos estudios de imagen cardíacos mediante cateterismo y ecocardiografía [1]. La resonancia magnética es una técnica de imagen óptima para demostrar la anatomía interna de las cavidades cardíacas, el miocardio, el pericardio y las estructuras mediastínicas adyacentes. Su superioridad respecto a otras técnicas de imagen se basa fundamentalmente en tres puntos [1]:

- Campos de visión amplios, de hasta 450 mm, que permiten ver en un solo plano todo el tórax.
- Posibilidad de obtener imágenes en múltiples planos del espacio (ortogonales al cuerpo: axial, coronal y sagital (ver **figura 2**), e intrínsecos cardíacos: eje corto, eje largo, dos cámaras, cuatro cámaras, etc.

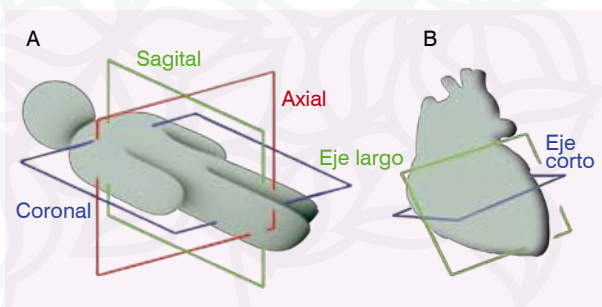


Figura 2. Planos ortogonales al cuerpo: axial, coronal y sagital (A), y planos cardíacos eje corto y eje largo (B).

- Ausencia de limitaciones para obtener imágenes de resonancia magnética que dependan del hábito corporal del paciente, de la interposición de aire pulmonar o del esqueleto óseo de la caja torácica.

Las secuencias de cine-resonancia magnética proporcionan la posibilidad de estudiar la función del corazón y así realizar una valoración no invasiva del flujo y sus posibles alteraciones, y valoraciones cuantitativas y semicuantitativas de los volúmenes cardíacos [2-4]. Se han desarrollado técnicas de resonancia magnética que permiten medir el flujo y obtener medidas cualitativas y cuantitativas del volumen y velocidad del flujo en los vasos de mayor calibre. Estas técnicas están siendo aplicadas de manera satisfactoria al sistema cardiovascular para cuantificar la función ventricular, la enfermedad valvular cardíaca, la enfermedad arterial pulmonar, la enfermedad torácica aórtica, las enfermedades cardíacas congénitas y la enfermedad isquémica miocárdica [4-7]. Actualmente se acepta que la resonancia magnética cardíaca puede complementar la información obtenida mediante ecocardiografía cuando ésta presenta limitaciones en situaciones clínicas concretas y puede en algunos casos reemplazar a la angiografía [8-10].

Por sus grandes aportes como método diagnóstico clínico en el campo de la cardiología, referenciados a través de publicaciones científicas y de gran interés académico en Estados Unidos y Europa, la cardiorresonancia o CRM ha logrado un avance significativo en su aplicación a nivel mundial.

Hoy en día, la actualización de los equipos, el software y las bobinas cardíacas en resonancia magnética, han permitido la optimización de los protocolos de cardiorresonancia para la obtención de diagnósticos más fehacientes y oportunos para el médico especialista, ayudado en gran medida por el tecnólogo, quien desempeña un papel importante en la realización de las imágenes cardíacas en relación con las indicaciones, las secuencias, los planos cardíacos, las condiciones y comodidad del paciente, buscando obtener un examen de buena calidad técnica y diagnóstica.

Mediante la cardiorresonancia se pueden evaluar múltiples patologías del sistema cardiovascular, entre ellas las cardiopatías congénitas del niño y del adulto, los procesos isquémicos miocárdicos, los pacientes posquirúrgicos, la enfermedad coronaria proximal, las cardiomiopatías infiltrativas, la enfermedad pericárdica y la patología vascular pulmonar y aórtica, entre otras entidades.

Protocolo para cardiorresonancia

Se usan diferentes secuencias para la evaluación anatómica y funcional del sistema cardiovascular y son las siguientes:

- **Morfología:** mediante técnicas de sangre negra con diferentes contrastes (T1, DP y T2) [11, 12].
- **Función:** las secuencias cine se utilizan normalmente para estudiar el movimiento de la pared y función ventricular. Por ejemplo la técnica FFE, TFE, BTFE [12].

Glosario de términos

Precesión o movimiento de precesión: es el movimiento asociado con el cambio de orientación del eje de rotación de un cuerpo en rotación. Un ejemplo de un movimiento similar a de precesión, sería el movimiento que hace un trompo cuando está parando de girar, que no es un movimiento vertical, sino hacia los lados.

Secuencia: varios tipos de imágenes que componen un estudio.

TR: tiempo de repetición del pulso de radiofrecuencia.

T1: es el tiempo de relajación longitudinal, depende de la relación entre el protón y el medio que lo rodea; es un parámetro que define el contraste de las imágenes en resonancia magnética.

T2: es el tiempo de relajación transversal y depende de la relación entre el protón y los protones vecinos; es un parámetro que define el contraste en las imágenes en resonancia magnética.

DP (densidad de protones): número de protones por unidad de volumen; es un parámetro que define el contraste en las imágenes de resonancia magnética.

Gradiente eco: es una técnica de resonancia magnética que permite la obtención de imágenes rápidas a través de una inducción libre del decaimiento de la señal.

Secuencias en cine: imágenes obtenidas secuencialmente a lo largo del ciclo cardíaco.

Secuencias en turbo: secuencias más rápidas.

BFFE (Balanced Fast Field Eco): gradiente de eco compensado; técnicas de imagen para la evaluación funcional cinecardiográfica.

TFE (Turbo Field Eco): eco de campo turbo; técnicas de imagen para la evaluación funcional cinecardiográfica.

FFE (Fast Field Eco): gradiente de eco; técnicas de imagen para la evaluación funcional cinecardiográfica.

PEAR (Phase Encoded Artifact Reduction): reducción de artefactos por codificación de fase; método para controlar los artificios de respiración en resonancia magnética.

Ecuación de Bernoulli: fórmula matemática utilizada para calcular el gradiente de presión a través de una estenosis vascular.

Contraste de fase: técnica para adquirir angiografías sin aplicar contrastes intravenosos en resonancia magnética.

PSIR (Phase Sensitive Inversion Recovery): técnica usada para visualizar infartos y cicatrices miocárdicas.

Keyhole: técnica de resonancia magnética utilizada para obtener imágenes más rápidas.

3D y 4D Trak: técnica especializada que permite obtener angiografías tridimensionales con alta resolución temporal.

Realce tardío: técnica que utiliza contraste para visualizar realce miocárdico.

- **Cuantificación de flujo:** se hace con técnicas de contraste de fase (PC) [12].
- **Perfusión:** el propósito de esta técnica es identificar áreas de isquemia, basándose en la valoración de la entrada del medio de contraste en los diferentes territorios vasculares coronarios [13, 14].
- **Realce tardío (*Delayed Enhancement* o DE):** es también llamado viabilidad, las adquisiciones con realce tardío permiten diferenciar el miocardio viable (negro, sin captación) del no viable (blanco, hipercaptante) [11, 15, 16-20].
- **Angiografía coronaria:** se realizan secuencias TFE con TR muy cortos que ofrecen una señal de sangre intensa [11].

Ventajas e indicaciones de la cardiorresonancia

La cardiorresonancia tiene ventajas sobre otras modalidades de diagnóstico por imagen, entre las que se incluyen un buen contraste entre la sangre circulante y el miocardio o la pared vascular sin necesidad de utilizar medio de contraste intravenoso; no usa radiación ionizante; se puede estudiar la morfología, la función, los flujos vasculares y la viabilidad en un sólo examen; utiliza un contraste menos nefrotóxico (gadolinio); y, la cardiorresonancia es una técnica tridimensional que ofrece una visión panorámica [11].

Por su gran aporte como ayuda diagnóstica la cardiorresonancia es indicada en el estudio pre y postquirúrgico de las cardiopatías congénitas en niños y adultos [11]; en la medición de masas y tumores cardíacos, en la relación de los tumores extracardíacos con estructuras vasculares y el corazón; en la confirmación de enfermedad pericárdica (constrictiva y miocardiopatía restrictiva); en la estimación cuantitativa de las valvulopatías; en la evaluación del origen de las arterias coronarias [12], la miocardiopatía isquémica [21-27], aneurismas ventriculares y alteraciones del movimiento segmentario de la pared ventricular [13]; y, en la identificación de la patología adquirida de la aorta, las arterias pulmonares y las venas torácicas.

Técnica de la cardiorresonancia

La técnica de cardiorresonancia incluye secuencias de varios tipos. Se inicia con imágenes anatómicas en planos axial y coronal en T1, T2, DP con la técnica de “sangre negra” (*black blood* o BB) [11] donde se anula la señal de la sangre, permitiendo el análisis de las paredes vasculares y las cavidades cardíacas. También se realizan imágenes en gradiente eco, las cuales se usan para las series de cine, donde la sangre es brillante; esta técnica es conocida como “sangre blanca” y sirve para realizar la cuantificación de los volúmenes ventriculares y valorar el movimiento de sus paredes [11].

Con las secuencias de cuantificación de flujos se puede calcular la velocidad de la sangre y valorar los gradientes de presión, usando la ecuación de Bernoulli [12]; luego de la administración del medio de contraste se realizan secuencias TFE con pulsos de inversión para anular la señal del miocardio sano y evaluar las áreas con realce tardío [14, 27]. Se utilizan bobinas cardíacas para adultos y niños, garantizando el total cubrimiento del tórax; además, se deben utilizar los elementos de sincronismo cardíaco y respiratorio, tales como vectorcardiograma y sensor respiratorio (PEAR, por *Phase Encoded Artifact Reduction*) para evitar los artificios de movimiento.

La colaboración del paciente es importante, pues algunas de las imágenes se obtienen en apneas expiratorias con tiempos de exploración de aproximadamente 10 segundos. En niños

menores de 10 años y en pacientes con difíciles condiciones clínicas, se utiliza la sedación profunda asistida por un anestesiólogo y las secuencias se adquieren con el sincronismo respiratorio, el sincronismo cardíaco y el uso de navegadores respiratorios.

Planos en cardiorresonancia

El estudio del corazón se hace mediante planos específicos transversales, coronales y sagitales. El plano cuatro cámaras o eje largo horizontal, como su nombre lo indica, permite la visualización de las cuatro cámaras cardíacas y el estudio de las caras septal y lateral del ventrículo izquierdo, la pared libre del ventrículo derecho, el ápex cardíaco y las válvulas mitral y tricúspide.

El plano dos cámaras o eje largo vertical se emplea para estudiar las cámaras izquierdas del corazón y sus relaciones anatómicas superoinferiores y anteroposteriores.

El plano tracto de salida del ventrículo izquierdo tiene utilidad para evaluar la porción anterior del tabique interventricular, la pared posterolateral del ventrículo izquierdo y el ápex cardíaco, además del tracto de salida del ventrículo izquierdo.

El plano tracto de salida del ventrículo derecho permite la evaluación de las caras anterior e inferior del ventrículo derecho y la válvula pulmonar.

El eje corto es el plano que se utiliza generalmente para evaluar la contractibilidad regional y cuantificar la función cardíaca.

El orden de la realización de las secuencias puede variar según las diferentes patologías o las indicaciones. En general el orden utilizado inicia con secuencias anatómicas en turbo T2 sangre negra en los planos coronal y axial, como se observa en la **figura 3**.

Luego se realizan los planos cardíacos convencionales, incluyendo: eje largo, eje corto, cuatro cámaras y los tractos de salida del ventrículo izquierdo y derecho; estos se obtienen con el uso de la secuencia de planeación interactiva (ver **figura 4**).

Para los ejes cardíacos se realiza una primera secuencia eje largo paralela al tabique interventricular y que pase por el centro de la válvula mitral. Obteniéndose una imagen del ventrículo izquierdo, aurícula izquierda y válvula mitral, como se observa en la **figura 5**.

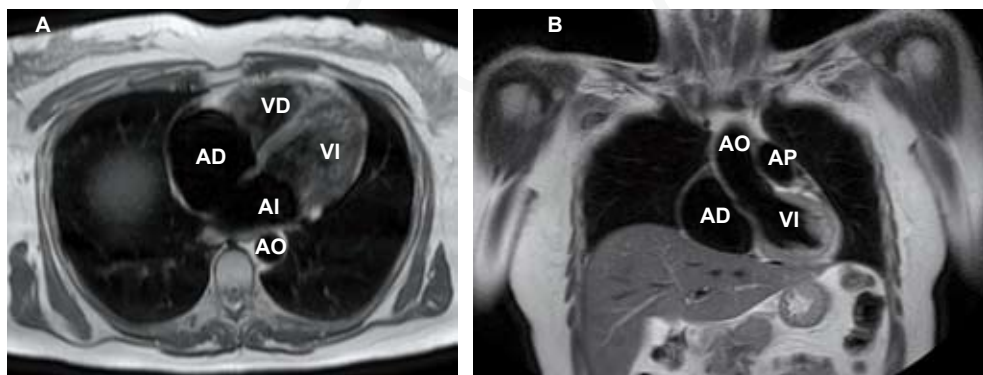


Figura 3. Plano axial turbo T2 sangre negra (A) y plano coronal turbo T2 sangre negra (B). Se utiliza para evaluar anatomía cardíaca y del tórax. Convenciones: VD: ventrículo derecho; AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; VI: ventrículo izquierdo; AO: aorta; AP: arteria pulmonar.

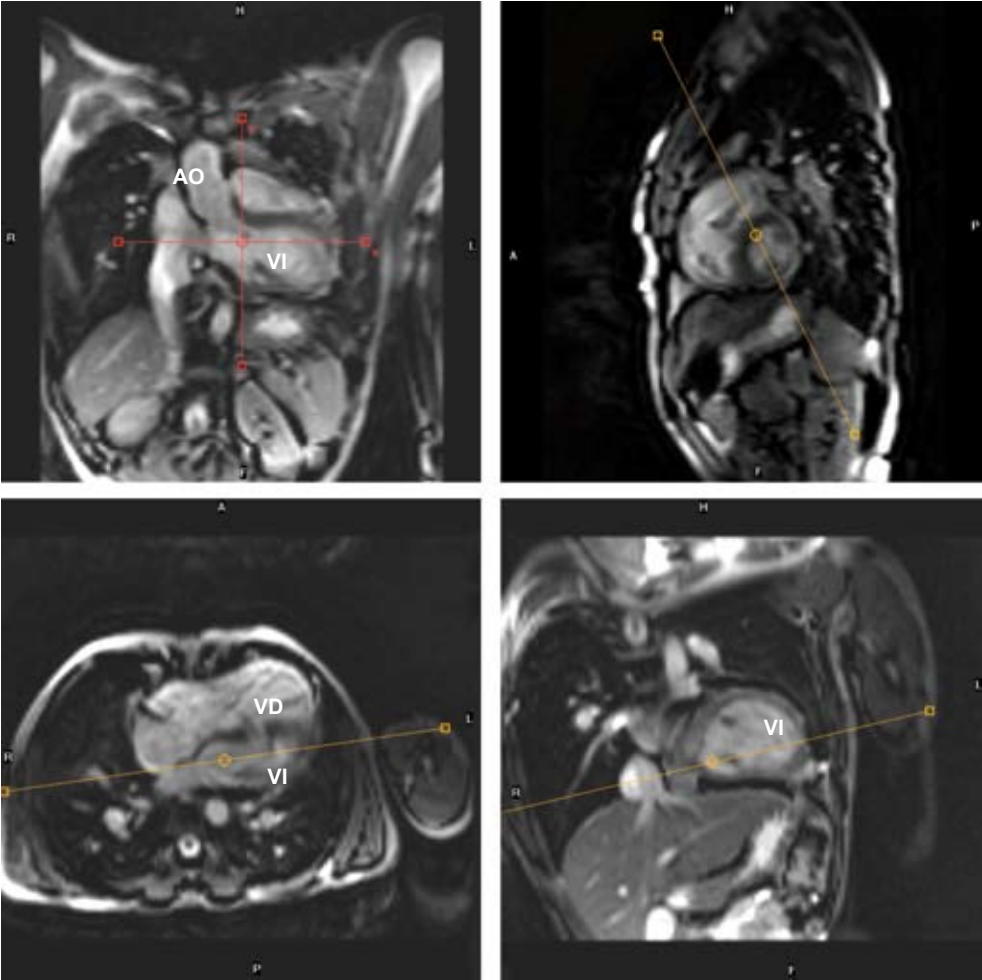


Figura 4. Interactivo. Técnica utilizada para obtener los diferentes planos cardíacos convencionales. Convenciones: AO: aorta; VI: ventrículo izquierdo; VD: ventrículo derecho.

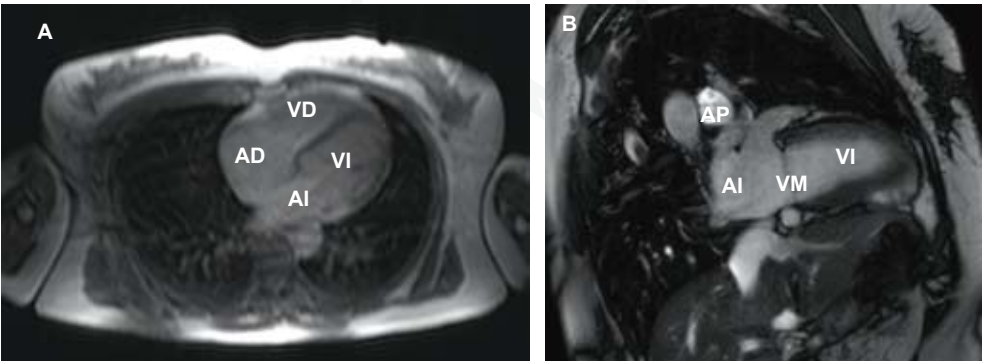


Figura 5. Plano axial para planeación eje largo (A), plano eje largo (B). Convenciones: VD: ventrículo derecho; AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; VI: ventrículo izquierdo; AP: arteria pulmonar; VM: válvula mitral.

Posteriormente se traza un corte axial oblicuo que incluya el ápex cardíaco y el centro de la válvula mitral, dando como resultado el plano cuatro cámaras aproximado (ver **figura 6**).

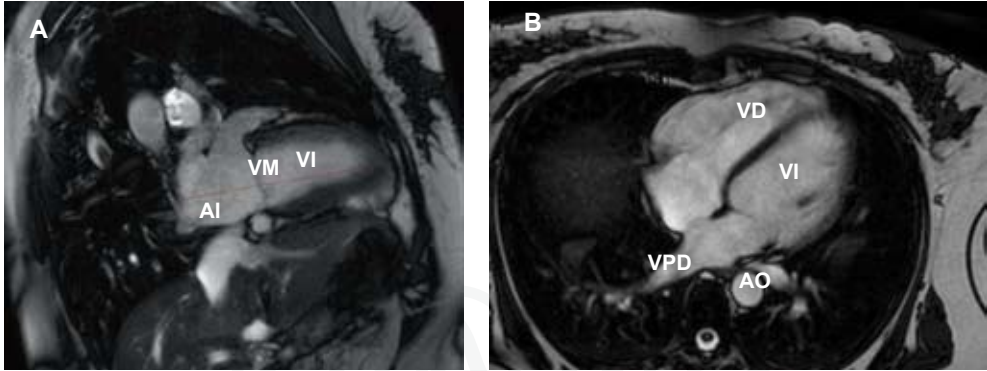


Figura 6. Planeación sobre el eje largo para obtener el cuatro cámaras aproximado (A), imagen cuatro cámaras aproximado (B). Convenciones: AI: aurícula izquierda; VM: válvula mitral; VI: ventrículo izquierdo; VD: ventrículo derecho; AO: aorta; VPD: vena pulmonar derecha.

Para obtener la imagen en eje corto, se posicionan los cortes perpendiculares al tabique interventricular y paralelos al plano valvular, como se observa en la **figura 7**.

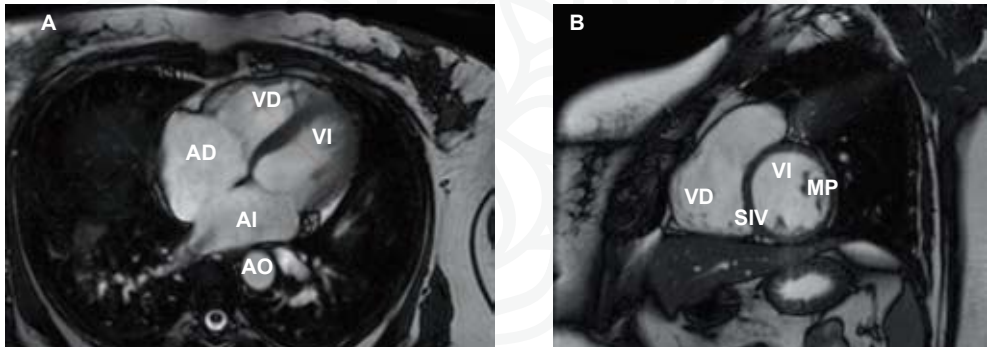


Figura 7. Planeación sobre el plano cuatro cámaras aproximado para obtener el eje corto (A). Imagen eje corto (B). Convenciones: VD: ventrículo derecho; AD: aurícula derecha; VI: ventrículo izquierdo; AI: aurícula izquierda; AO: aorta; MP: músculos papilares; SIV: septum interventricular.

Sobre el eje corto se obtiene el plano cuatro cámaras verdadero trazando una línea que corte músculos papilares hasta ápex cardíaco, como se observa en la **figura 8**.

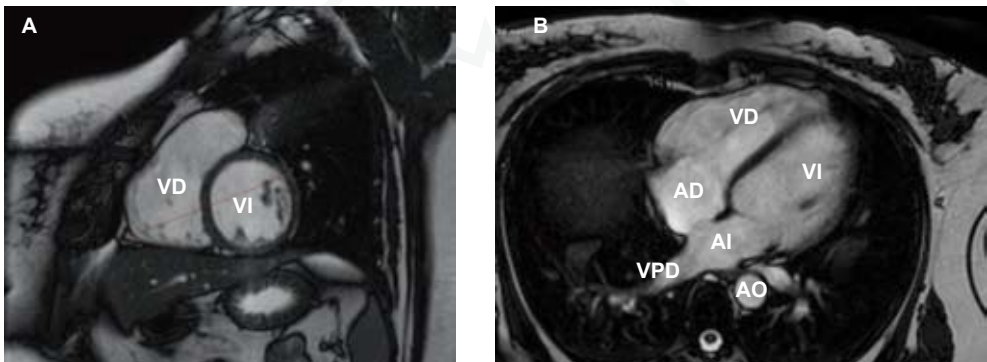


Figura 8. Planeación sobre el eje corto para obtener el plano cuatro cámaras (A), imagen cuatro cámaras (B). Convenciones: VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo; VPD: vena pulmonar derecha; AO: aorta; AI: aurícula izquierda; AD: aurícula derecha.

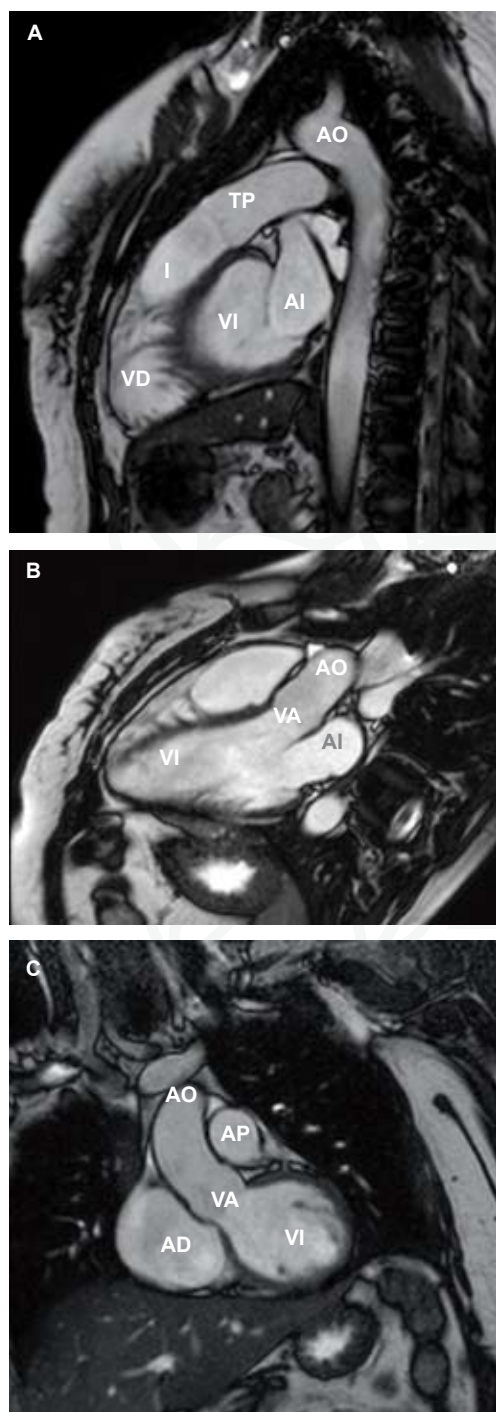


Figura 9. Imagen tracto de salida del ventrículo derecho (A), imagen tracto de salida del ventrículo izquierdo plano axial (B), imagen tracto de salida del ventrículo izquierdo plano coronal (C). Convenciones: AO: aorta; TP: tronco arteria pulmonar; I: infundíbulo; AI: aurícula izquierda; VI: ventrículo izquierdo; VD: ventrículo derecho; VA: válvula aórtica; AP: arteria pulmonar; AD: aurícula derecha.

Además de los planos cardíacos convencionales, se obtienen imágenes de los tractos de salida de los ventrículos. En la **figura 9A** se observa el tracto de salida del ventrículo derecho, en la **figura 9B** el tracto de salida del ventrículo izquierdo en plano axial, y en la **figura 9C** el tracto de salida del ventrículo izquierdo en plano coronal. En la **figura 10** se observan los planos valvulares.

También se realizan técnicas de cuantificación de flujo y velocidades en cortocircuitos, estenosis, válvulas o conductos quirúrgicos, los cuales se obtienen a partir de los tractos de salida tanto en cavidades derechas como en izquierdas. Son secuencias de contraste de fase angiográfica (PCA). Ver **figura 11**. Adicionalmente, se realiza angiografía cardíaca donde se utilizan secuencias 3D, 4D o 4D TRAK con keyhole, como se observe en la **figura 12**.

Después de la inyección del medio de contraste se espera un tiempo para la redistribución del mismo y se realizan secuencias de viabilidad o realce tardío, donde se utiliza secuencias de inversión recuperación y secuencias sensibles a variación de fase (PSIR, por Phase Sensitive Inver Recovery), las cuales permiten la definición de zonas hipercaptantes que representan las áreas no viables o con patología infiltrativa (ver **figura 13**).

Contraindicaciones de la cardiorresonancia

Las contraindicaciones absolutas para la cardiorresonancia incluyen clips de aneurismas intracraneanos no ferromagnéticos (siempre debe conocer la referencia del tipo de clip usado) y marcapasos u otros estimuladores eléctricos como el cardiodesfibrilador implantable. Los clips vasculares, los stents coronarios y las válvulas cardíacas pueden causar alguna degradación de la imagen, pero no están contraindicados.

Los latidos cardíacos son monitorizados y sincronizados con la adquisición de los datos para evitar distorsión de la imagen y lograr series cinecardiográficas que representen adecuadamente la función contráctil

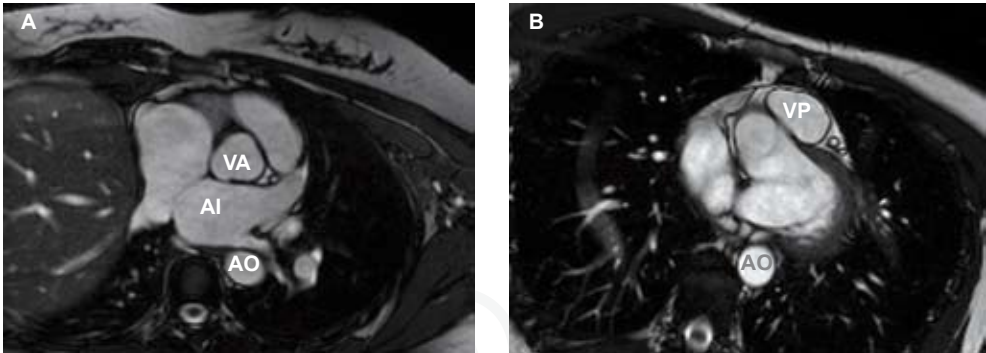


Figura 10. Válvula aórtica (A), válvula pulmonar (B). Convenciones: VA: válvula aórtica; AI: aurícula izquierda; AO: aorta; VP: válvula pulmonar.

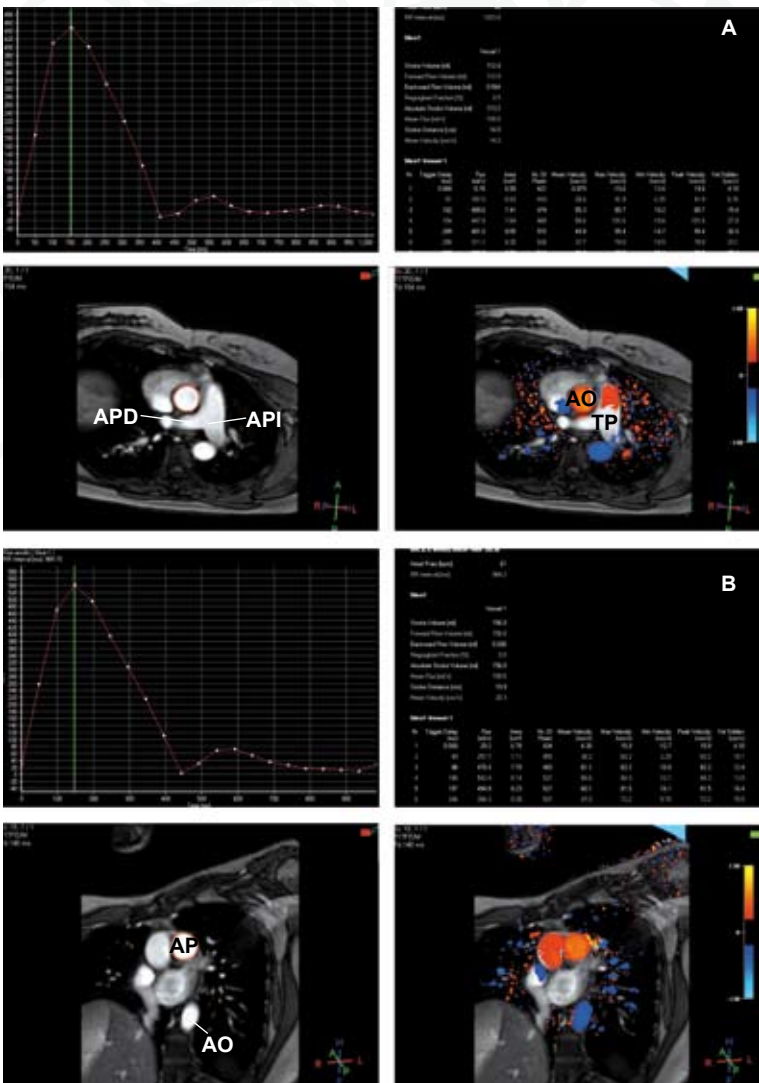


Figura 11. Cuantificación de flujo aorta (A), cuantificación de flujo pulmonar (B). Convenciones: APD: arteria pulmonar derecha; API: arteria pulmonar izquierda; AO aorta; TP: tronco arteria pulmonar; AP: arteria pulmonar.

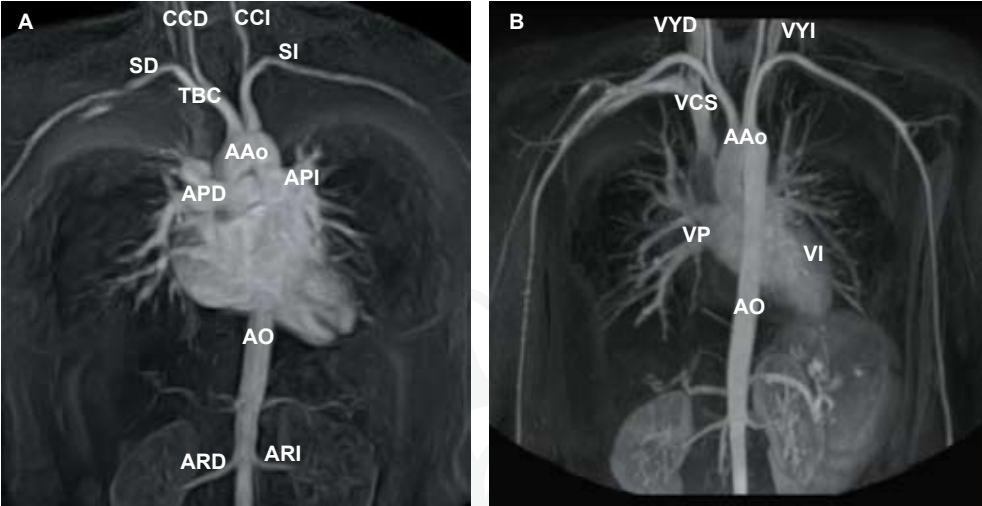


Figura 12. MIP angio 3D (A), MIP angio 4D (B), posproceso angiográfico. Convenciones: MIP: proyecciones de máxima intensidad; CCI: carótida común izquierda; CCD: carótida común derecha; SI: subclavia izquierda; SD: subclavia derecha; TBC: tronco braquiocefálico; AAo: arco aórtico; APD: arteria pulmonar derecha; API: arteria pulmonar izquierda; AO: aorta; ARD: arteria renal derecha; ARI: arteria renal izquierda; VYI: vena yugular izquierda; VYD: vena yugular derecha; VCS: vena cava superior; VP: venas pulmonares; VI: ventrículo izquierdo.

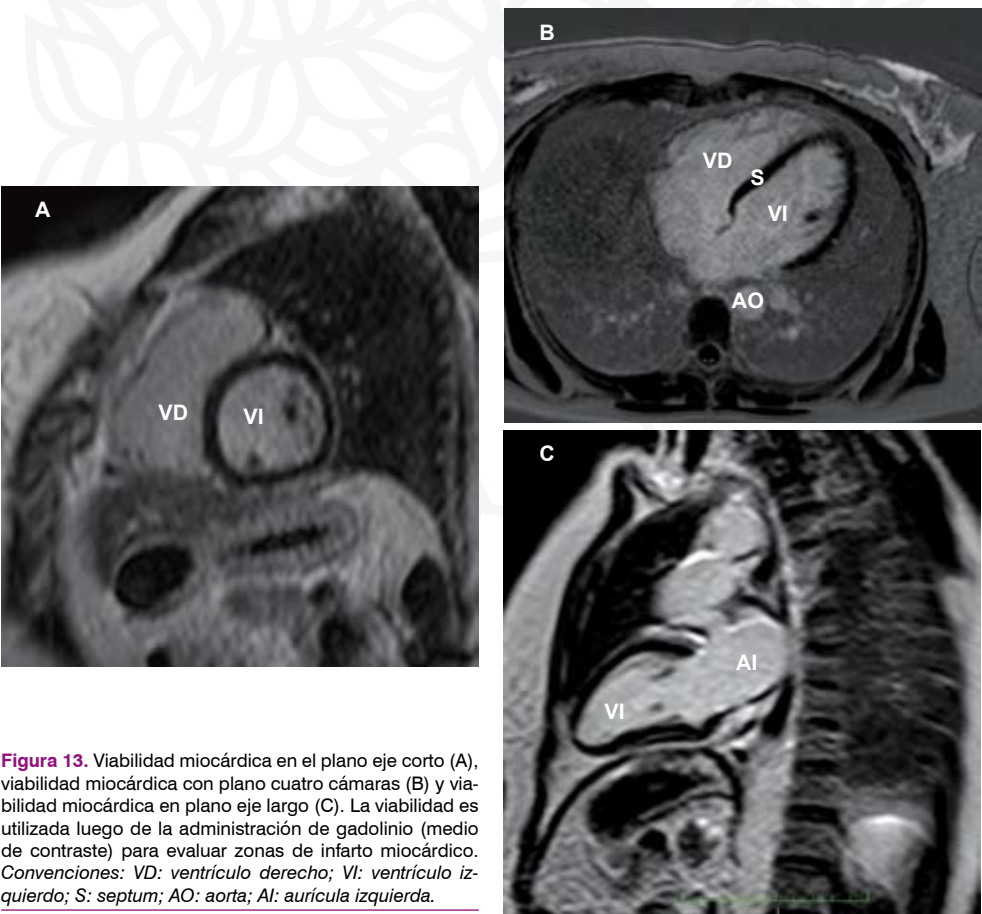


Figura 13. Viabilidad miocárdica en el plano eje corto (A), viabilidad miocárdica con plano cuatro cámaras (B) y viabilidad miocárdica en plano eje largo (C). La viabilidad es utilizada luego de la administración de gadolinio (medio de contraste) para evaluar zonas de infarto miocárdico. Convenciones: VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo; S: septum; AO: aorta; AI: aurícula izquierda.

del corazón; por lo tanto, la arritmia puede deteriorar la calidad del estudio, siendo una contraindicación relativa.

Conclusiones

Como método diagnóstico la cardiorresonancia brinda valiosa información sobre la morfología y la función cardiovascular, sin necesidad de utilizar radiación ionizante y/o medios de contraste yodados.

El uso de la tecnología apropiada y el software dedicado a cardiorresonancia garantiza un examen más rápido y cómodo para el paciente, puesto que se optimiza el estudio de resonancia magnética, permitiendo diagnosticar un gran número de patologías cardíacas para su adecuado tratamiento o evaluación pre y posquirúrgica.

Agradecimientos

Al personal asistencial de la Fundación Instituto de Alta Tecnología Médica de Antioquia, especialmente al Grupo de Tecnólogos por su disposición y colaboración en este trabajo.

Bibliografía

1. Pons G, Carreras F, Castro A, et al. Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en resonancia magnética. *Cir Cardio* 2004; 11: 149-167.
2. Didier D, Ratib O, Friedli B, et al. Cine gradient-echo MR imaging in the evaluation of cardiovascular diseases. *Radiographics* 1993; 13: 561-573.
3. Uribe S, Muthurangu V, Boubertakh R, et al. Whole-heart cine MRI using real-time respiratory self-gating. *Magn Reson Med* 2007; 57: 606-613.
4. Uribe S, Tangchaoren T, Parish V, et al. Volumetric Cardiac Quantification by using 3D Dual-Phase Whole-Heart MR Imaging. *Radiology* 2008; 248: 606-614.
5. Kupari M, Hekali P, Poutanen V. Cross sectional profiles of systolic flow velocities in left ventricular outflow tract of normal subjects. *Br Heart J* 1995; 74: 34-39.
6. Higgins C. Contribution of MR Imaging in ischemic heart disease. *J Magn Reson Imaging* 1994; 4: 233-234.
7. Kunz RP, Oellig F, Krummenauer F, et al. Assessment of left ventricular function by breath-hold cine MR imaging: comparison of different steady-state free precession sequences. *J Magn Reson Imaging* 2005; 21: 140-148.
8. MacMillan R, Ivanoff J, Tutchinsky M, Chandrasekaran K. Clinical application of magnetic resonance imaging of the heart and great vessels. *Angiology* 1992; 43: 709-719.
9. Mohiaddin R, Longmore D. Functional aspects of cardiovascular nuclear magnetic resonance imaging. Techniques and application. *Circulation* 1993; 88: 264-281.
10. Razavi RS, Hill DL, Muthurangu V, et al. Three-dimensional magnetic resonance imaging of congenital cardiac anomalies. *Cardiol Young* 2003; 13: 461-465.
11. Pujadas S, Reddy GP, Weber O, Lee JJ, Higgins CB. MR imaging assessment of cardiac function. *J Magn Reson Imaging* 2004; 19: 789-799.
12. Caruthers SD, Lin SJ, Brown P, Mary P, Watkins MP, Williams TA, et al. Practical value of cardiac magnetic resonance Imaging for clinical quantification of aortic valve stenosis. Comparison with echocardiography. *Circulation* 2003; 108: 2236-2243.
13. Wagner A, Mahrholdt H, Holly TA, et al. Contrast-enhanced MRI and routine single photon emission computed tomography (SPECT) perfusion imaging for detection of subendocardial myocardial infarcts: an imaging study. *Lancet* 2003; 361: 374-379.
14. Gutberlet M, Frohlich M, Mehl S, et al. Myocardial viability assessment in patients with highly impaired left ventricular function: comparison of delayed enhancement, dobutamine stress MRI, end-diastolic wall thickness, and T1201-SPECT with functional recovery after revascularization. *Eur Radiol* 2005; 15: 872-880.
15. Underwood SR, Bax JJ, Vom Dahl J, et al. Imaging techniques for the assessment of myocardial hibernation Report of a study group of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2004; 25: 815-836.
16. Pennell DJ. Cardiovascular magnetic resonance and the role of adenosine pharmacological stress. *Am J Cardiol* 2004; 94: 26D-32D.
17. Wagner A, Mahrholdt H, Sechtem U, et al. MR imaging of myocardial perfusion and viability. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2003; 11: 49-66.
18. Weinsaft J, Klem I, Judd RM. MRI for the Assessment of Myocardial Viability. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2007; 15: 505-525.
19. Schmidt A, Wu K. MRI assessment of myocardial viability. *Semin Ultrasound CT MRI* 2006; 27: 11-19.

20. **Fieno DS, Kim RJ, Chen EL, et al.** Contrast-enhanced magnetic resonance imaging of myocardium at risk: distinction between reversible and irreversible injury throughout infarct healing. *J Am Coll Cardiol* 2000; 36: 1985-1991.
21. **Rehwald WG, Fieno DS, Chen EL, Kim RJ, Judd RM.** Myocardial Magnetic Resonance Imaging Contrast Agent Concentrations After Reversible and Irreversible Ischemic Injury. *Circulation* 2002; 105: 224-229.
22. **Kim RJ, Wu E, Rafael A, Chen E-L, Parker MA, Simonetti O, Klocke FJ, Bonow RO, Judd RM.** The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med* 2000; 343: 1445-1453.
23. **Bello D, Shah DJ, Farah GM, Di Luzio S, Parker M, Johnson MR, et al.** Gadolinium cardiovascular magnetic resonance predicts reversible myocardial dysfunction and remodeling in patients with heart failure undergoing beta-blocker therapy. *Circulation* 2003; 108: 1945-1953.
24. **Tarantini G, Razzolini R, Cacciavillani L, et al.** Influence of transmural, infarct size, and severe microvascular obstruction on left ventricular remodeling and function after primary coronary angioplasty. *Am J Cardiol* 2006; 98: 1033-1040.
25. **Beek A M, Kuhl H P, Bondarenko O, et al.** Delayed contrast-enhanced magnetic resonance imaging for the prediction of regional functional improvement after acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 2003; 42: 895-901.
26. **Kwong RY, Chan AK, Brown KA, et al.** Impact of unrecognized myocardial scar detected by cardiac magnetic resonance imaging on event-free survival in patients presenting with signs or symptoms of coronary artery disease. *Circulation* 2006; 113: 2733-2743.
27. **Yan AT, Shayne AJ, Brown KA, et al.** Characterization of the peri-infarct zone by contrast-enhanced cardiac magnetic resonance imaging is a powerful predictor of post-myocardial infarction mortality. *Circulation* 2006; 114: 32-39.



Maesa Elephant Camp
Chiang Mai, Tailandia
Carlos Lozano M.