

Resonancia Magnética

Cardiaca: manual para técnicos

López Fernández J, Alves Nunes R.A., Raposo Rodríguez L.

Fundación Hospital de Jove, Gijón

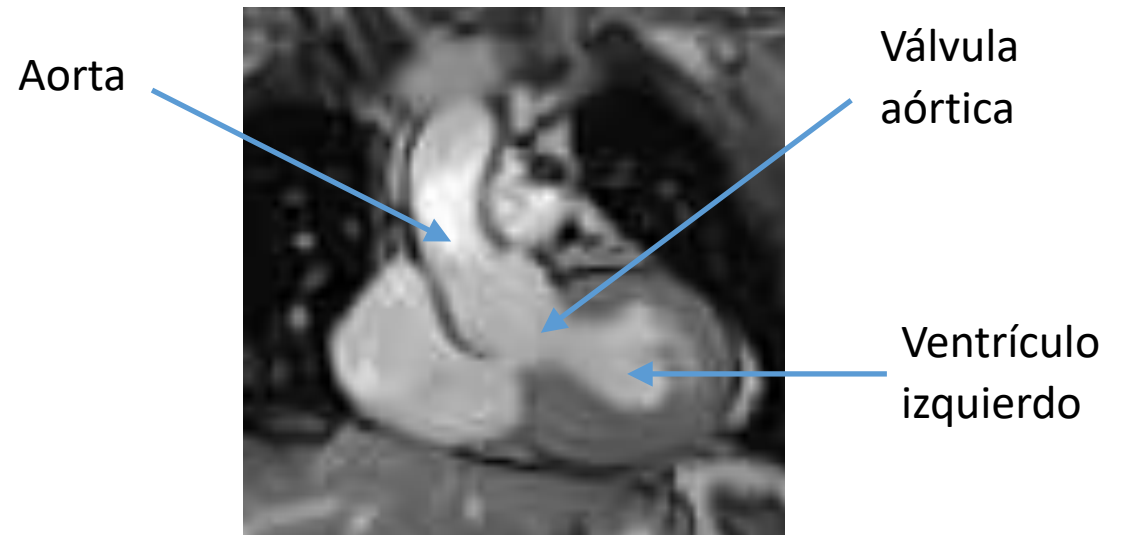
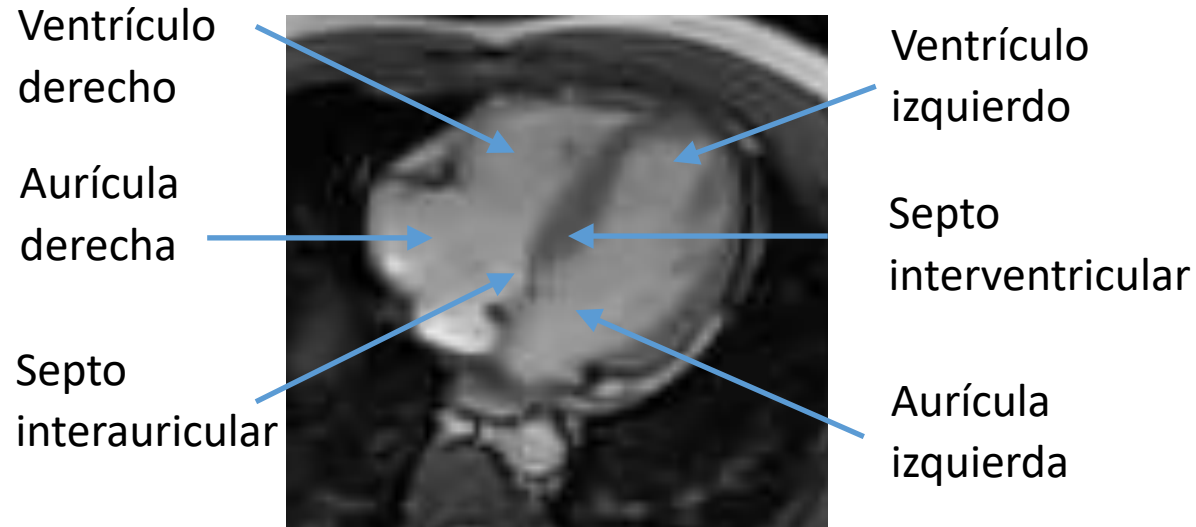
La resonancia magnética (RM) de corazón es la prueba diagnóstica no invasiva más completa para el estudio de la morfología y función cardíaca. Gracias a ella pueden establecerse el diagnóstico diferencial de patologías estructurales y funcionales, pronósticos, guías y seguimientos de un amplio espectro de enfermedades

ANATOMÍA

El corazón tiene cuatro cavidades, 2 superiores, las aurículas, y 2 inferiores, los ventrículos, separadas por los septos interauricular e interventricular respectivamente. En la aurícula izquierda desembocan las venas pulmonares.

Las aurículas están separadas de los ventrículos por las Válvulas Auriculoventriculares (mitral en el lado izquierdo y tricúspide en el derecho)

La aorta nace del ventrículo izquierdo, separada por la válvula aórtica, y la arteria pulmonar del derecho, separada por la válvula pulmonar.



DESAFÍOS TÉCNICOS

Uno de los factores fundamentales que dificultan la realización de cardioRM es el tiempo. Se trata de estudios largos, que duran aproximadamente 45 minutos o más.

Además, cada secuencia depende de la buena adquisición de la anterior, requiriendo una organización y planificación por pasos.

1. Movimiento constante (latido cardíaco, movimiento respiratorio del paciente, posibles arritmias) que puede dar lugar a artefactos
2. Colaboración del paciente (Es fundamental por lo que las instrucciones y comunicaciones son esenciales . Son necesarias apneas constantes y precisas, mantenimiento de posición fija durante toda la exploración.
3. Dispositivos cardíacos implantables (marcapasos o electroestimuladores cardíacos) pueden: generar artefactos que degradan la calidad de la imagen (imágenes distorsionadas, mediciones irreales, requerir repetición estudios. Pueden ser una contraindicación para realizar la RM (dependiendo del modelo y la compatibilidad). Requieren evaluación previa y coordinación especial con el servicio de cardiología.
- 4 Problemas de artefactos relacionados con el ECG e interferencias electromagnéticas. Para realizar correctamente un estudio cardiaco, es necesario sincronizar las secuencias con el ECG el del paciente. La sincronización puede verse afectada por:
 - Interferencias electromagnéticas dentro del imán. El intenso campo magnético y los gradientes de radiofrecuencia pueden causar que la lectura del ECG no sea real, generando fallos en la sincronización
 - Distorsión de la onda R. La más importante para la sincronización. Si existen interferencias pueden distorsionarla, haciendo que no se identifique adecuadamente, lo que puede llevar a un falso disparo al confundirla con la onda T.

Onda R



ELECTROCARDIOGRAMA EN CARDIORM

El electrocardiograma permite registrar la actividad eléctrica del miocardio en tiempo real, ya que el movimiento del corazón va acompañado de una señal eléctrica que se puede detectar en la piel. El dispositivo ECG amplifica y lee esa señal eléctrica para su análisis.

En resonancia magnética no utilizamos el ECG de manera diagnóstica lo utilizamos para saber en qué punto concreto se encuentra el corazón y poder sincronizarlo con el escáner. Específicamente:

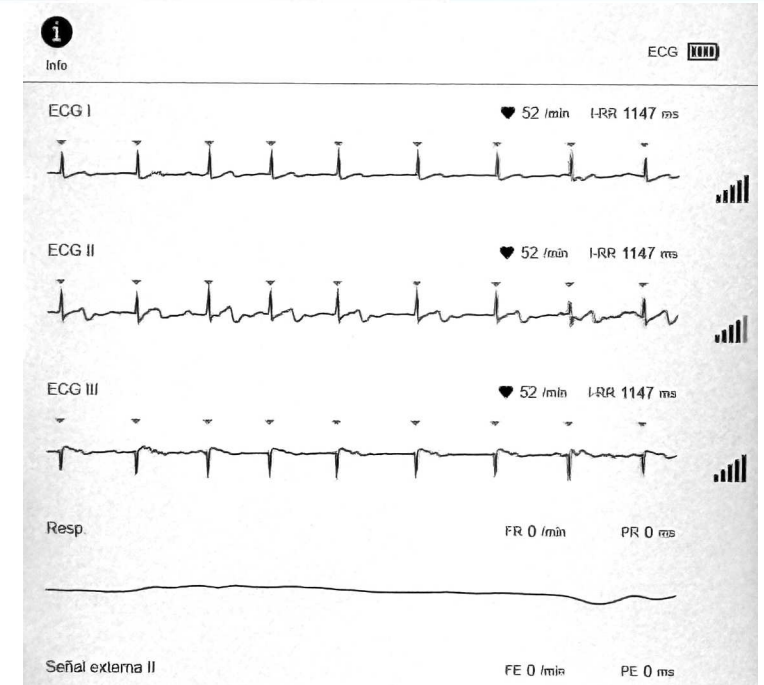
1. Sincronización de adquisición - El ECG nos permite "disparar" la imagen exactamente en el momento deseado del ciclo cardíaco.
2. Tiempo preciso. En resonancia cardíaca utilizamos secuencias rápidas, sincronizadas y en apnea.
3. Calidad diagnóstica. Es importante no comenzar el estudio sin tener un buen ECG, ya que en RM lo utilizamos para saber en qué momento fotografiar el corazón, si el disparo falla, falla el estudio.

La Onda R: La clave de la sincronización

Por lo general, utilizaremos la onda R ya que tiene mayor amplitud e inclinación que otras ondas del complejo QRS. Es la más fácil de detectar y la más confiable para la sincronización automática del equipo.

Un ECG de calidad dentro de resonancia debe tener las siguientes características:

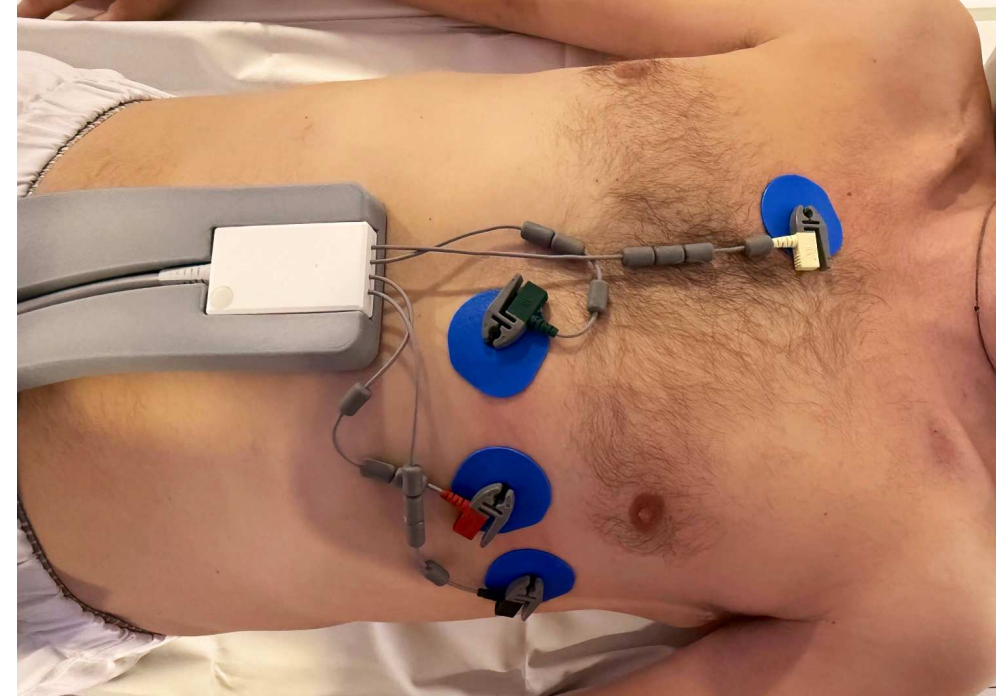
- Onda R clara y reconocible. La utilizaremos para adquirir las secuencias. Debe ser: nítida, de gran amplitud y aislada del ruido. Si el equipo confunde la onda R, tendremos imágenes artificiales, cortadas o volúmenes irreales.
- Onda T controlada. Dentro del imán, la sangre aumenta el voltaje y la onda T se amplifica. Puede que el equipo la confunda con una onda R, distorsionando las imágenes.
- ECG regular y predecible. Necesitamos una distancia RR constante (intervalo entre ondas R). Las arritmias comprometen la sincronización.



PMU: Unidad de Medición del ECG

La PMU (Physiological Measurement Unit) es el hardware que utilizamos para la medición del ECG :

- Consta de cuatro cables para el posicionamiento de los electrodos y una unidad transmisora
 - No tiene valor diagnóstico. Solo sirve para la realización del estudio.
 - Adquiera simultáneamente tres canales de ECG para fiabilidad.
 - Mejora la detección y sincronización con respecto a sistemas simples
-
- Cómo prevenir dificultades técnicas del ECG:
 - Posición correcta de electrodos. Evitar zonas con grasa, músculo prominente y hueso.
 - Evitar bucles en los cables. Los cables sueltos generan interferencias electromagnéticas, especialmente durante los cambios de gradiente.
 - Colocar la unidad de medición (PMU) lo más cerca posible del isocentro.
 - Verifique que la señal del ECG esté clara antes de comenzar. No iniciar el estudio sin un ECG de clara y de calidad.
 - Limpiar correctamente la piel. Usar el gel conductor apropiado sin productos con alcohol que pueda distorsionar la señal.



PREPARACIÓN DEL PACIENTE

La colaboración del paciente es fundamental para el éxito del estudio por lo que es esencial dedicar tiempo, atención al detalle y comunicación clara

1. Información y explicación al paciente.: claridad sobre el procedimiento, apneas y respiración. Instruir sobre las pausas respiratorias que deberá hacer y cómo respirar entre ellas, o en las secuencias de respiración libre, duración del estudio., informar que será un estudio largo (aproximadamente 45 minutos o más), expectativas realistas. El paciente debe entender que su colaboración es vital para la calidad del estudio.
2. Posicionamiento cómodo del paciente. Va a ser un estudio largo en el que el mínimo movimiento por parte del paciente puede estropear el estudio, ya que el desplazamiento puede conllevar que la zona que estemos localizando ya no sea real. Dedicar tiempo en la colocación inicial del paciente buscando la mayor comodidad para evitar movimientos posteriores, proporcionando almohadas, cojines o soportes para mantener una posición estable, comprobar que no hay puntos de presión incómodos.
3. Acceso vascular, colocar una vía intravenosa para la administración del contraste (gadolinio) que usaremos en las fases de realce tardío, asegurar que la vía esté bien posicionada y permeable. informar al paciente sobre cuándo se administrará el contraste, evitando sustos y sobresaltos a la hora de la inyección.
4. Preparación de la piel. Este paso es crucial para obtener un buen ECG. Rasurado si es necesario. Afeitar el pecho en caso de que haya vello abundante. El vello excesivo interfiere con el contacto de los electrodos y degrada la señal del ECG. Limpieza de la zona: donde se colocarán los electrodos, nunca utilizar productos que contengan alcohol ya que interfiere con la conductividad y puede irritar la piel. Se puede utilizar algún gel abrasivo, un exfoliante suave para eliminar las células muertas de la piel y mejorar el contacto eléctrico. Siempre limpiar bien después de usar el gel.
5. Posicionamiento de los electrodos. Posicionar los electrodos correctamente es vital: Evitar zonas problemáticas. Evitar las zonas con más grasa, músculo prominente y hueso. Superficie plana y limpia. Buscar áreas de piel limpia, seca y con buen acceso. Simetría. Colocar los electrodos de manera simétrica en el tórax para mejor detección de la señal.
6. Conexión de los cables. Una vez colocados los electrodos. Conectar los cables a los electrodos. Evitar bucles en los cables. Los cables sueltos generan interferencias en el ECG, especialmente durante el cambio de gradiente. Los cables deben estar organizados y fijos al cuerpo del paciente para evitar movimientos. Posicionar la unidad de medición (PMU) lo más cerca del isocentro posible. Esto reduce las interferencias electromagnéticas y mejora la calidad de la señal.
7. Verificación final del ECG. Antes de llevar al paciente al imán. Comprobar que la señal del ECG es correcta. Comprobar en el monitor que la onda R es clara, nítida y de gran amplitud. Asegurar que no haya artefactos ni ruido excesivo. NO comenzar el estudio sin un buen ECG. Si la señal no es óptima, ajuste los electrodos antes de entrar al imán.

REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

La realización del estudio de RM cardíaca se divide en dos partes principales: el análisis morfológico (estructura) y el análisis funcional (movimiento). Ambos son esenciales para una evaluación cardíaca completa.

PARTE 1: MORFOLOGÍA

La morfología es la parte del estudio que analiza cómo es la estructura del corazón, responde a la pregunta: ¿Cómo es el corazón anatómicamente?

Componentes evaluados:

- Cavidades cardíacas, ventrículos y aurículas.
- Miocardio.
- Tabiques y paredes.
- Pericardio.
- Grandes vasos.

Secuencias utilizadas:

- Localizadores anatómicos. Imágenes de referencia que nos orientan en el tórax
 - Secuencias en los tres planos del tórax.
 - Localizadores de las cavidades del corazón. Identifican la posición exacta de cada cámara cardíaca.
 - Mapas T1 y T2. Proporcionan información sobre la composición y caracterización del tejido.
-

PARTE 2: FUNCIÓN

Con la función vemos cómo trabaja el corazón; es un estudio en movimiento. No solo veremos cómo bombea el corazón, sino también cómo abren y cierran las válvulas y el flujo de los grandes vasos.

Componentes funcionales:

- Movimiento de las paredes - Contracción y relajación miocárdica.
- Movimiento valvular. Apertura y cierre de las válvulas cardíacas.
- Flujo vascular. Circulación en arterias y venas.

Secuencias utilizadas:

- Secuencias cine. Imágenes dinámicas que muestran el movimiento cardíaco.
 - Secuencias phase contrast. Para medir el flujo en los vasos.
 - Realce tardío. Se realiza mediante la inyección de gadolinio, mediremos el tejido afectado.
-

PROTOCOLO BÁSICO PASO A PASO

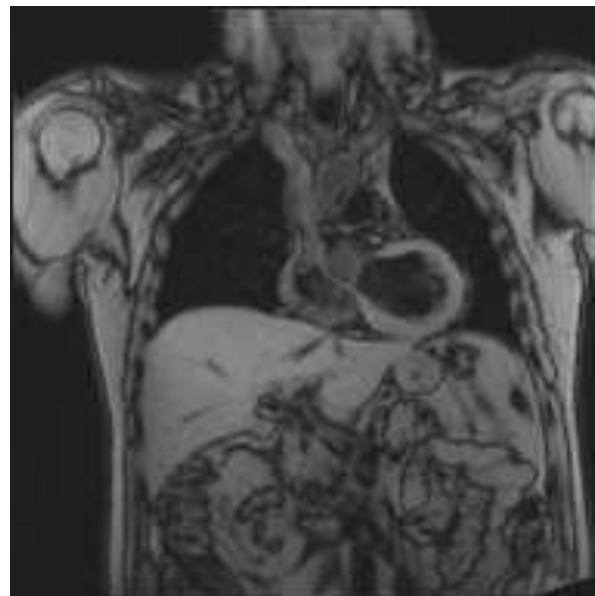
Paso 1: Localizadores iniciales

Objetivo: Situar al paciente correctamente en el centro del imán y obtener referencias anatómicas de todo el tórax.

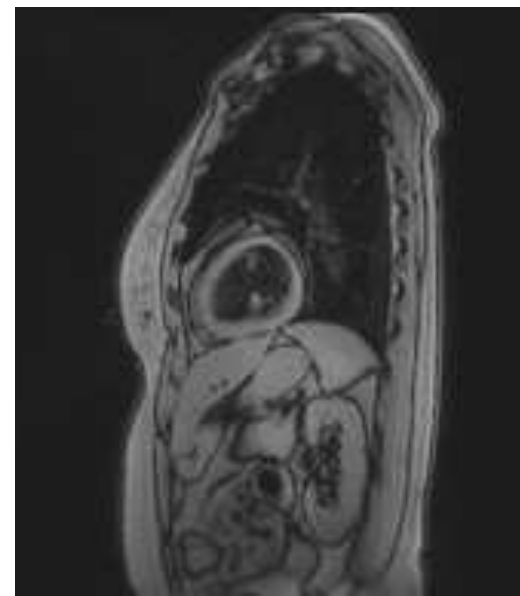
Emprendemos el estudio con los localizadores y secuencias T2 anatómicas del tórax, en los tres planos. Comprobaremos que el paciente está bien situado en el centro del imán, estos localizadores nos sirven de referencia para adquirir las secuencias posteriores.



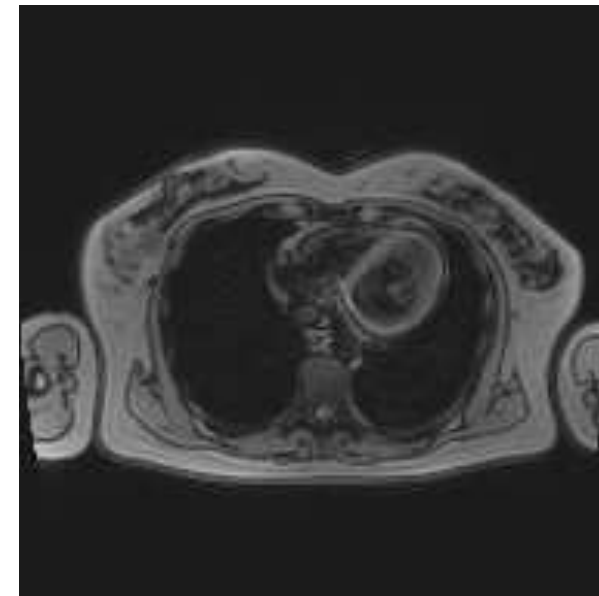
TRUCO: Si el paciente no está bien colocado en el isocentro es mejor recolocarlo en esta fase antes de que sea demasiado tarde.



Coronal



Sagital



Axial

Paso 2: Localizadores intrínsecos del corazón. Son localizadores aproximados, aún no son necesarios unos planos perfectos.

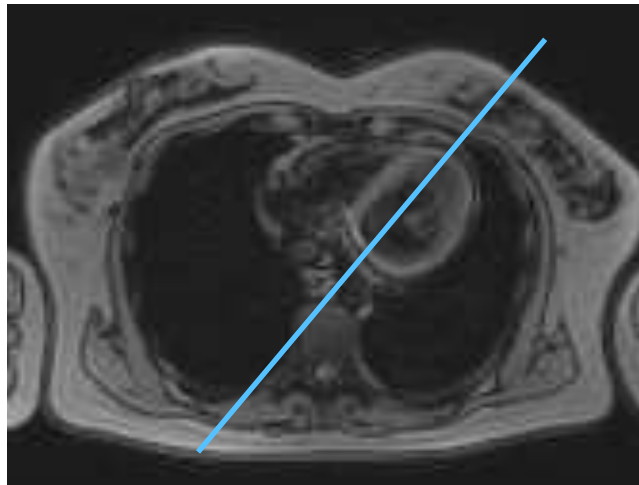
Localizador 2 cámaras

Objetivo: Obtener una vista lateral del corazón que muestre el ventrículo izquierdo y la aurícula izquierda.

Usamos el localizador axial que se acaba de adquirir. Identificaremos la posición del ventrículo izquierdo y aurícula izquierda, buscando en los cortes axiales el ápex del corazón (la punta).

Trazar una línea desde el ápice del ventrículo izquierdo hacia la base del corazón. Esta línea debe atravesar paralela al septo interventricular.

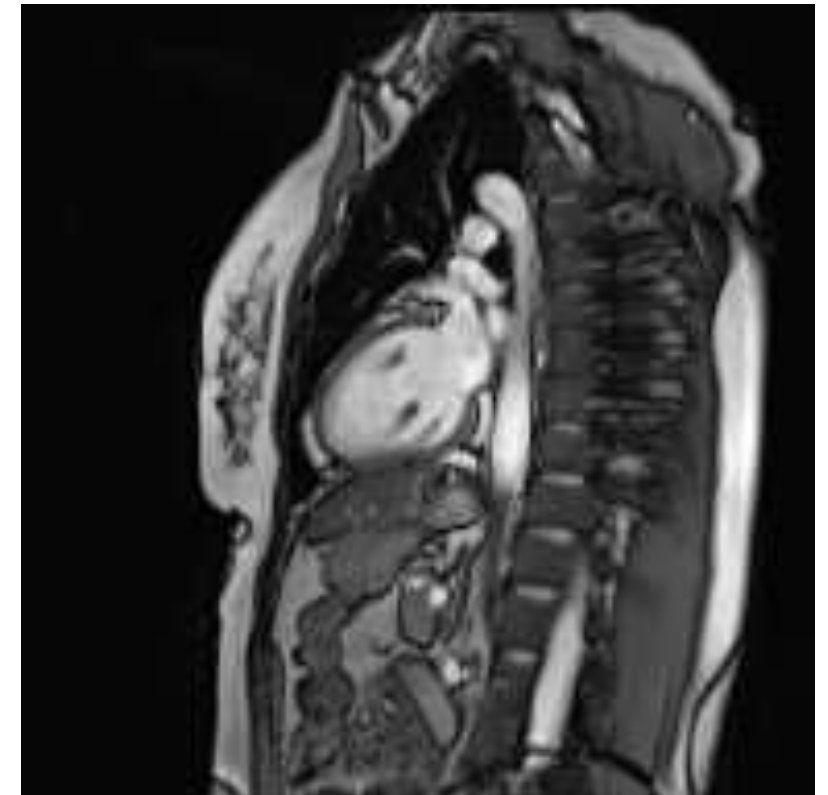
El corte debe mostrar: ápice → ventrículo izquierdo → aurícula izquierda → válvula mitral



Localización 2 cámaras sobre plano axial

Qué debería verse: Una vista clara del ventrículo izquierdo (de mayor tamaño)

1. La aurícula izquierda en la parte superior
2. La válvula mitral separa ambas cavidades
3. El ápex claramente visible en la parte inferior

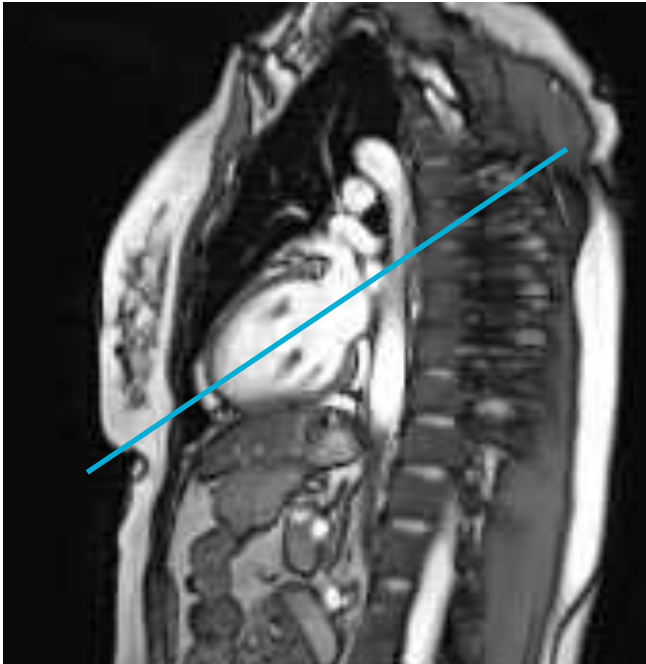


Localizador 2 Camaras

Localizador 4 cámaras

Objetivo: Incluir las cuatro cavidades del corazón en un solo plano (vista frontal).

Usaremos el localizador 2 cámaras que acabamos de adquirir, posicionando el corte de manera que atraviese el ápex del ventrículo izquierdo pasando por el centro de la válvula mitral y la aurícula izquierda.

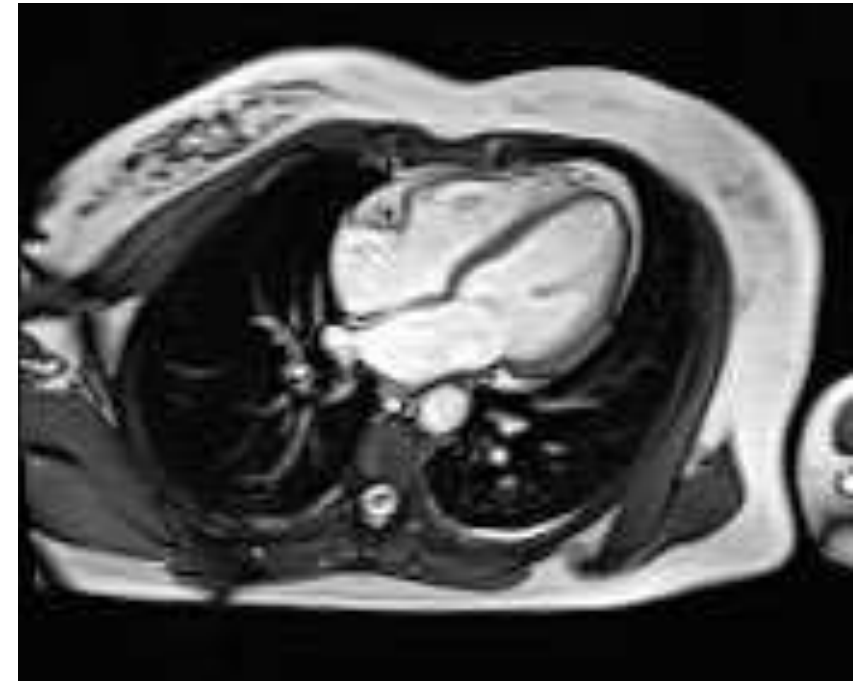


Localización 4 cámaras sobre 2 cámaras



Qué deberías ver:

1. Parte superior: Ventrículo derecho.
2. Parte media: Aurícula derecha ventrículo izquierdo.
3. Parte inferior: Aurícula izquierda.



Localizador 4 cámaras

Localizador eje corto

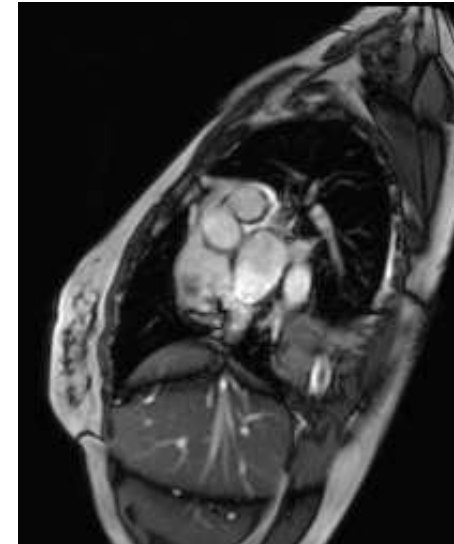
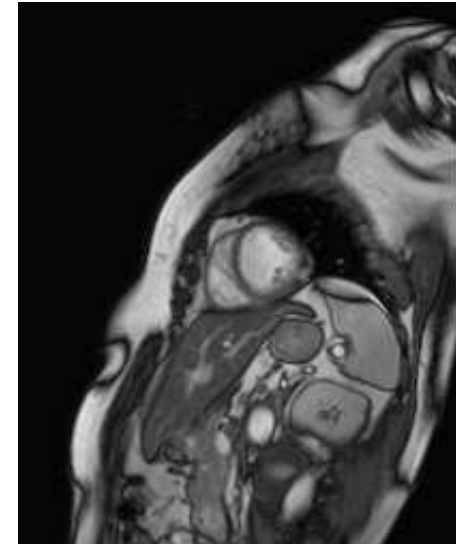
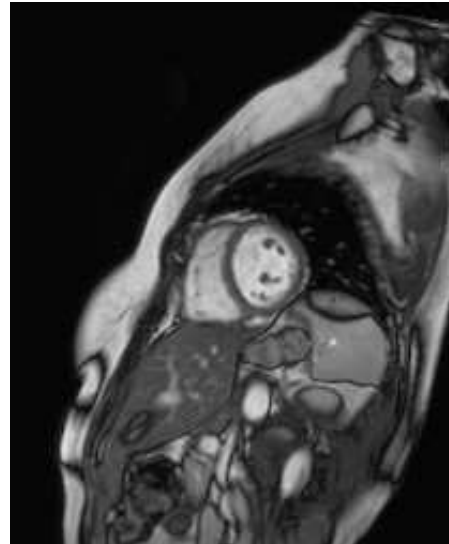
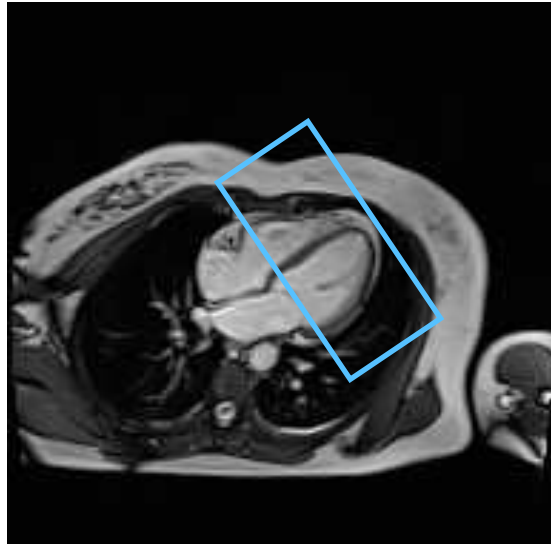
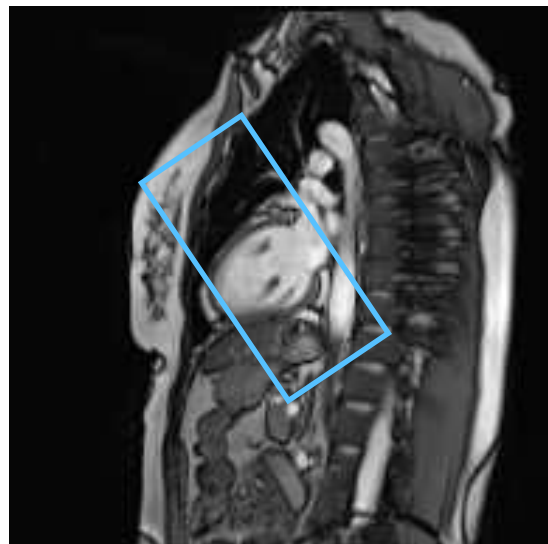
Objetivo: Obtener cortes perpendiculares al septo, que nos permitirán después hacer muchos cortes del corazón (de la base al ápex).

Usaremos tanto el localizador 2 cámaras como el 4 cámaras para localizarlo.

Posicionaremos un grupo de 8 cortes perpendicular al septo interventricular sobre el 4 cámaras. Esta línea debe ser paralela a la válvula mitral, incluyéndola en nuestro grupo de cortes, y llegan hasta el Apex.

Es como mirar el corazón "desde arriba hacia abajo". Qué deberías ver:

1. Un corte circular del ventrículo izquierdo.
2. La pared anterior, posterior, lateral y septal claramente identificables.
3. La válvula mitral como pequeñas estructuras en el centro.



Localización eje corto sobre
localizador 2 cámaras

Localización eje corto sobre
localizador 4 cámaras

Localizador eje corto

Paso 3: Secuencias cine: imágenes en movimiento

Ahora vamos a crear secuencias dinámicas basadas en nuestros localizadores. Cada secuencia cine mostrará el corazón latiendo.

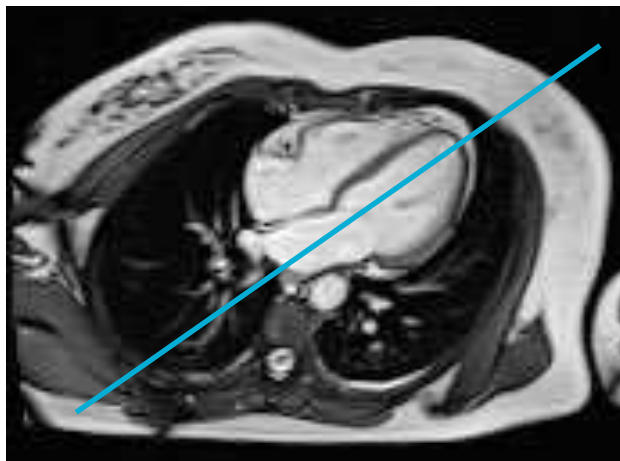
Cine 2 camaras (Vista lateral en movimiento)

Objetivo: Debe mostrar ventrículo izquierdo contrayéndose y dilatándose

El primer paso será copiar la localización de el localizador 2 cámaras.

Para luego corregirlo sobre el localizador 4 cámaras:

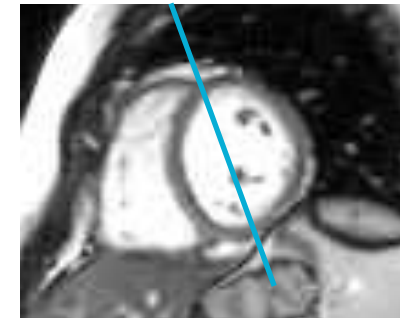
- Verificando que sigue siendo paralelo al septo.
- El corte debe pasar por el ápex.



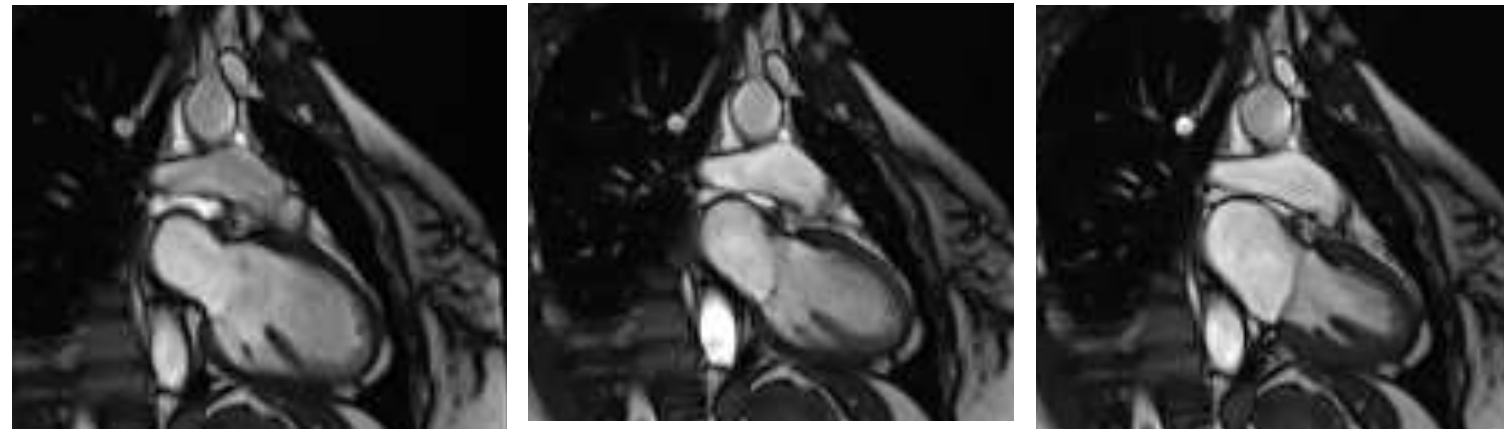
Localizador 4 cámaras

Luego lo ajustaremos sobre el localizador del eje corto:

- Asegurar que es paralelo al septo.
- Comprobar que la alineación es la correcta.



Localización 2 cámaras
sobre eje corto

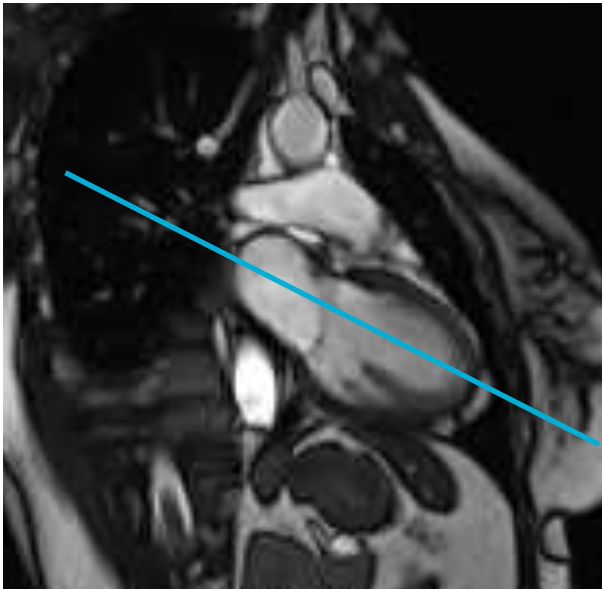


Cine 2 cámaras

Cine 4 cámaras (Vista frontal en movimiento)

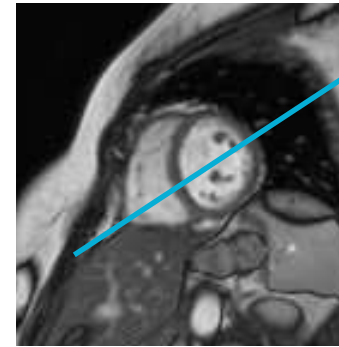
Objetivo: Debe mostrar las 4 cavidades latiendo coordinadamente e intentando evitar la aorta.

Copiar del localizador 4 cámaras y corregirlo sobre el cine 2 cámaras rotando si es necesario para que sea perpendicular y verificando que pasa por el ápex.

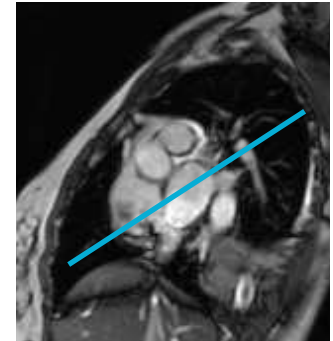


Localización 4 cámaras sobre cine 2
cámaras

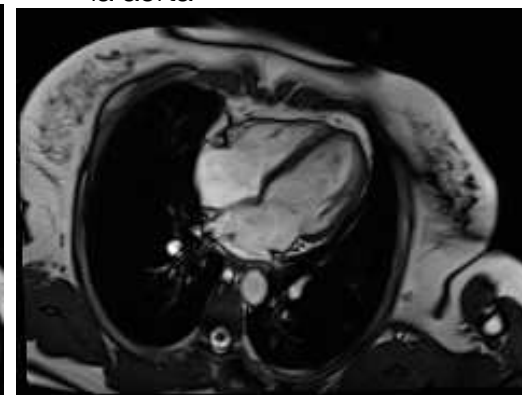
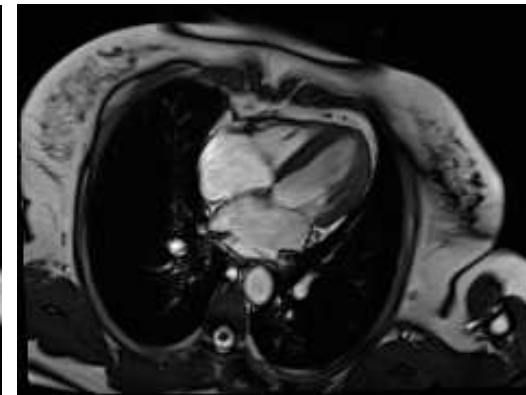
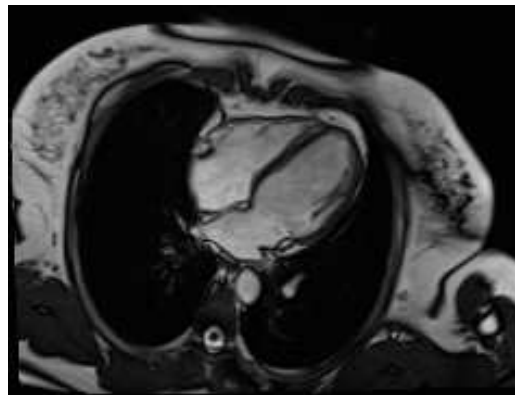
Corregir sobre el localizador eje corto asegurando que es perpendicular al septo e intentando librar en la medida de lo posible incluir la aorta.



Localización 4 cámaras
sobre eje corto



Localización 4 cámaras
sobre eje corto evitando
la aorta



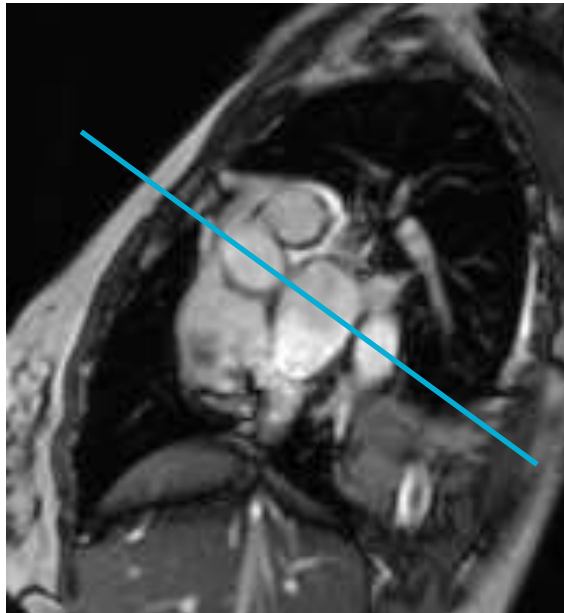
Cine 4 cámaras

Cine 3 cámaras (Imagen de la aorta en movimiento)

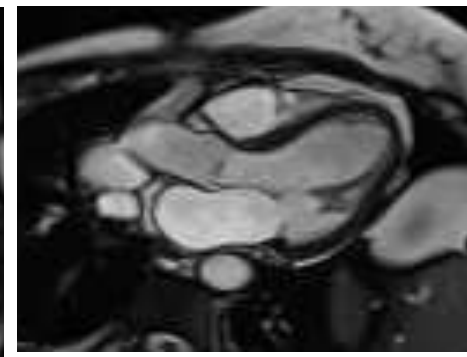
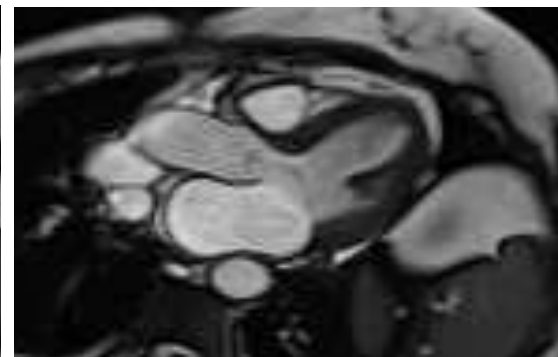
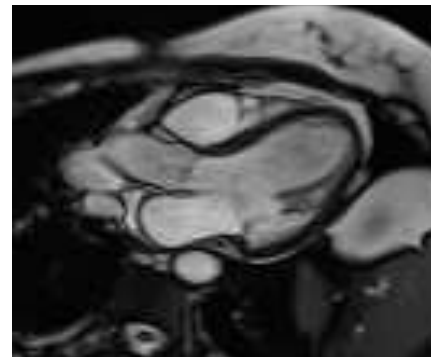
Objetivo: ver el ventrículo izquierdo contraerse, con la aorta visible en la parte superior.

Localizar el "muñeco de nieve" en el eje corto:

Llamamos al muñeco de nieve a la figura que forma la aorta con la cámara, haremos pasar un corte por el centro de esas dos estructuras.

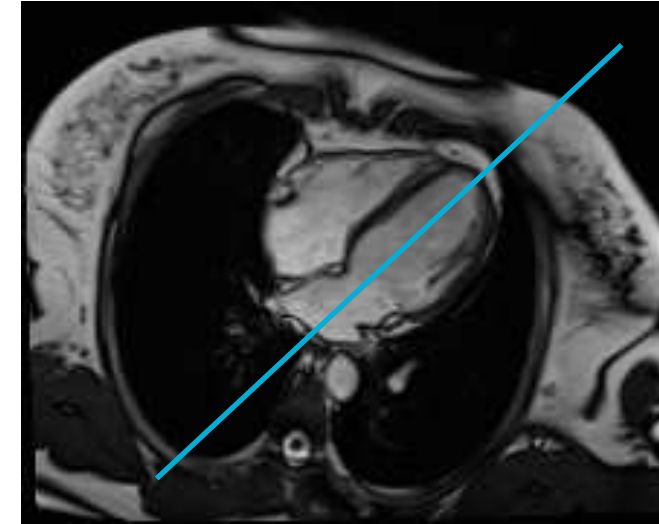


Localización 3 cámaras sobre eje corto



Cine 3 cámaras

Y sobre el 4 cámaras paralelo al septo.

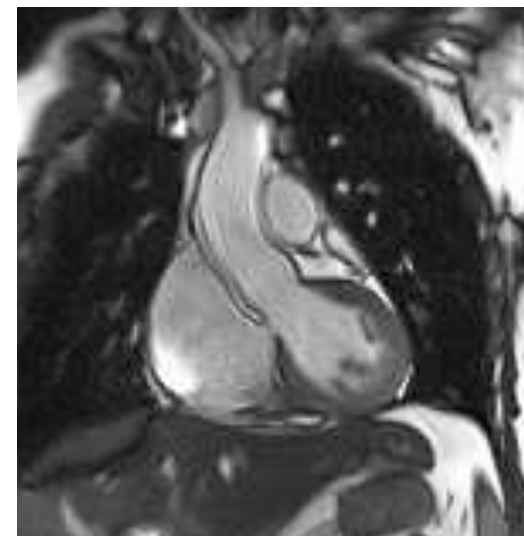
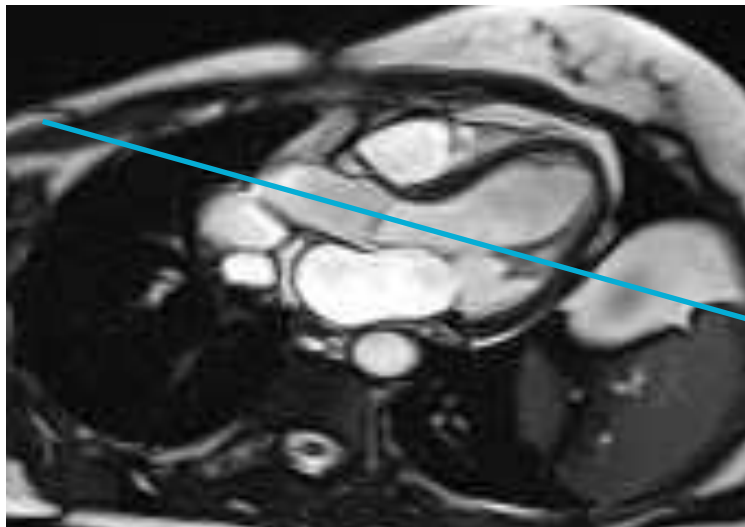


Localización sobre cine 4 cámaras

Cine tracto de salida del ventrículo izquierdo (TSVI)

Objetivo: Deberemos ver un plano coronal del corazón, la aorta como un vaso tubular largo y la salida del ventrículo izquierdo hacia la misma.

Se empezara copiando la secuencia coronal que ya se adquirió antes y sobre el tres cámaras se debe poner el corte pasando paralelo y por el centro de la aorta.



Localización sobre cine 3 cámaras

Cine TSVI

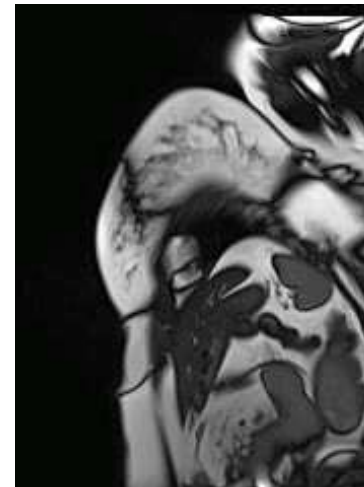
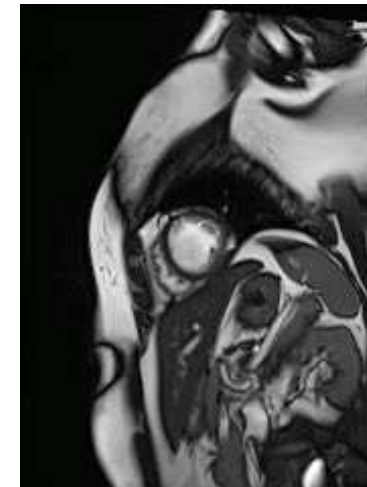
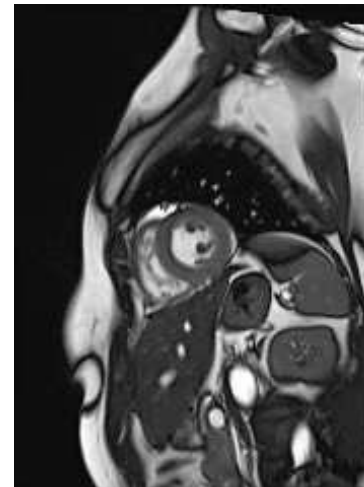
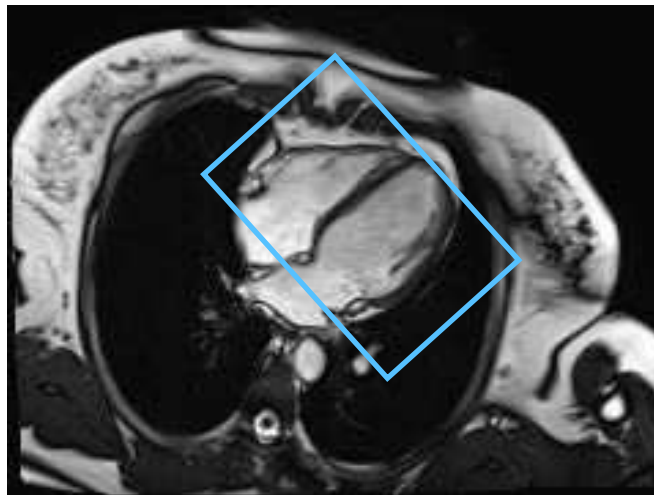
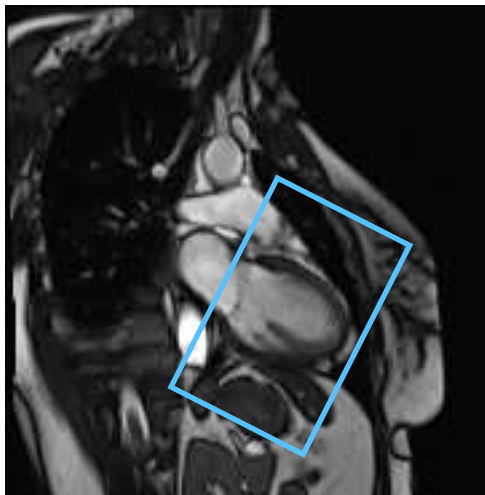
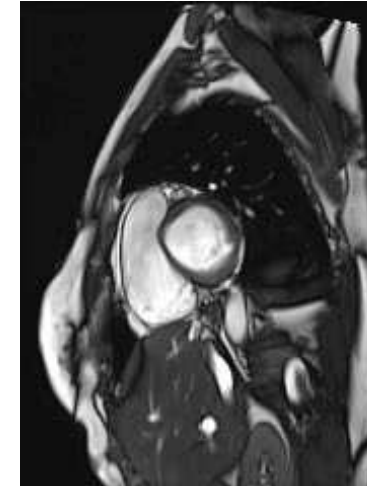
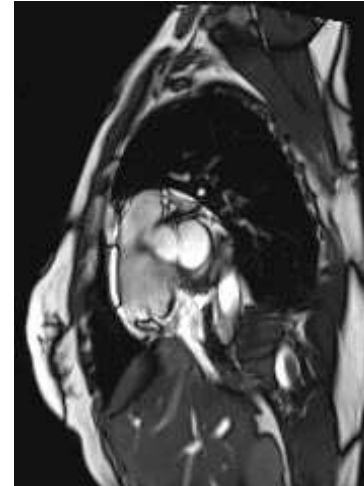
Cine Eje corto - La secuencia principal

Objetivo: Deberías ver cómo el ventrículo se contrae de manera uniforme en todos los cortes, desde antes de la válvula mitral hasta en el ultimo corte no se vea corazón

El primer paso será copiar el localizador eje corto para después:

- Corregir sobre el cine 2 cámaras perpendicular sobre el apex.

Corregir sobre el cine 4 cámaras paralelo al septo. 10 - 15 cortes desde la válvula mitral (incluida) y el último corte donde ya no haya músculo cardíaco



Localización eje corto sobre cine
2 cámaras

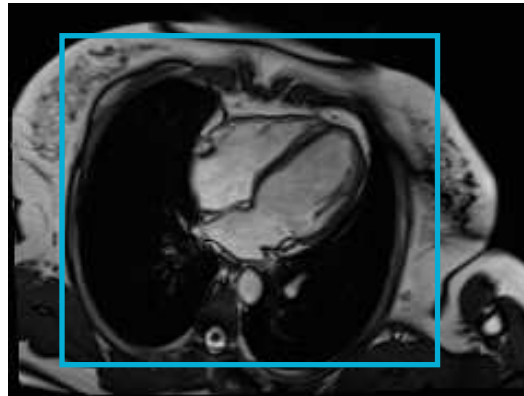
Localización sobre cine 4 cámaras

Cine eje corto

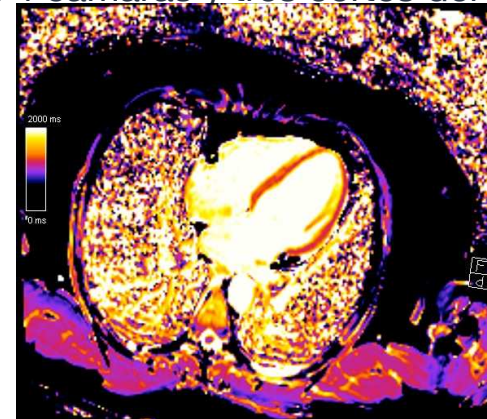
Paso 4: Mapeos T1 Y T2

Objetivo: Obtener información sobre la composición del tejido miocárdico.

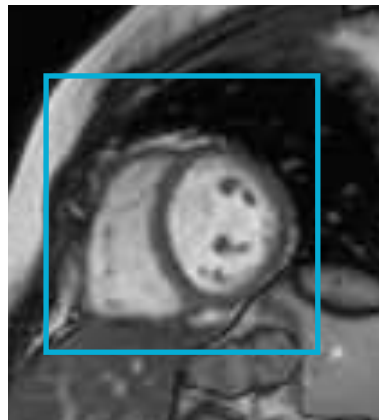
Para el mapeo T1 y el T2 se utiliza la misma localización, un corte copiado de el 4 cámaras y tres cortes del eje corto, estos deben estar distribuidos a diferentes niveles.



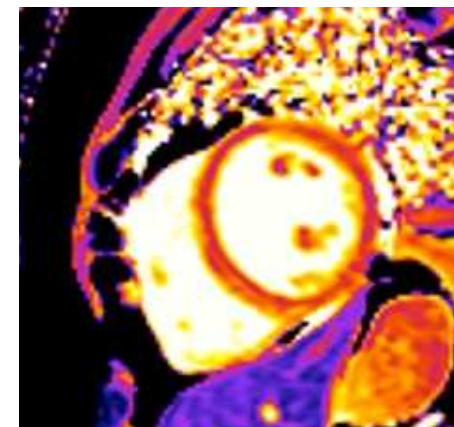
Localización sobre cine 4 cámaras



4 Cámaras



Localización 4 cámaras
sobre eje corto



Eje corto

Paso 5: Administración de contraste

Objetivo: Administrar la dosis de contraste intravenoso para el realce tardío, puesto que se necesitan 8 minutos antes de realizar el realce se administra aquí y mientras en ese tiempo se adquieren las válvulas y los flujos.

De esta manera no se pierde tiempo y se evita que el paciente se mueva al estar con la maquina parada.

Calcular la dosis:

$\text{Peso del paciente} \div 10 \times 2$

Ejemplo: paciente de 70 kg $\rightarrow (70 \div 10) \times 2 = 14 \text{ mL}$

Injectar lentamente a través de la vía IV

Comenzar cronómetro, 8 minutos.

Se utilizara este tiempo de espera para evaluar el movimiento valvular y la circulación.

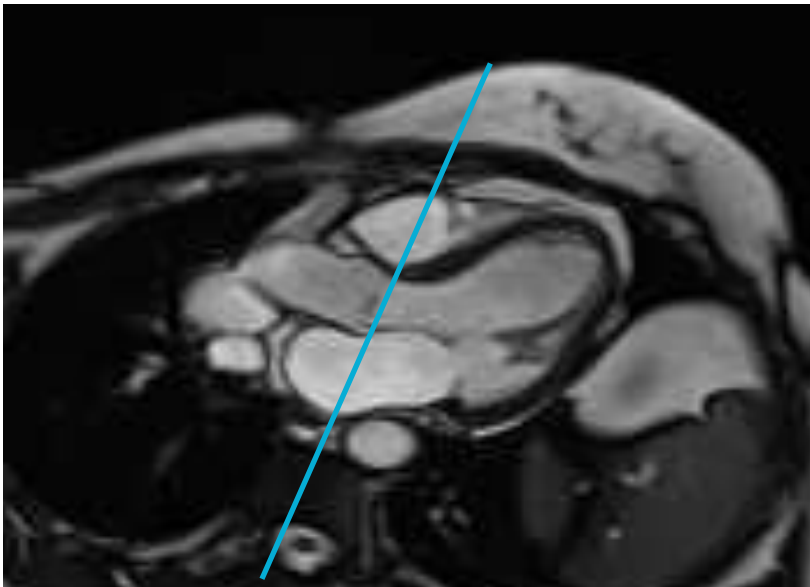
Paso 6: Válvulas y flujos

Válvula aortica

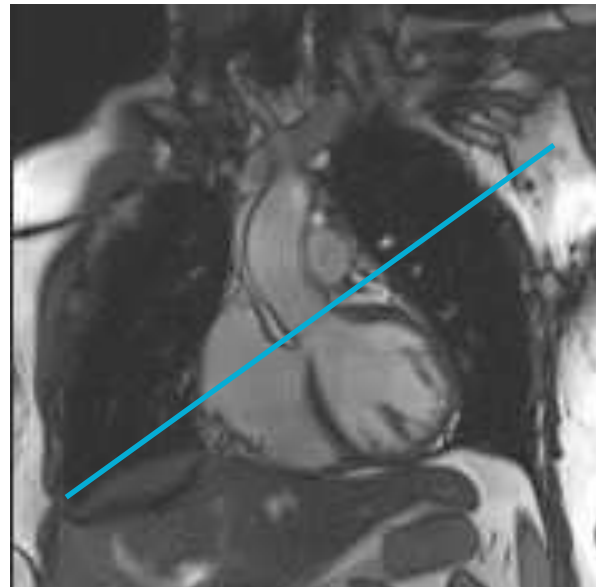
Objetivo: Ver como se abren y cierran los velos

Localizar sobre: cine 3 cámaras + TSVI, buscando una imagen en el que se vea la válvula y se coloca el corte de manera que pase por encima.

Se deberá identificar los velos de la válvula abrir y cerrar perfectamente.



Localización sobre cine 3 cámaras



Localización sobre cine 3 cámaras



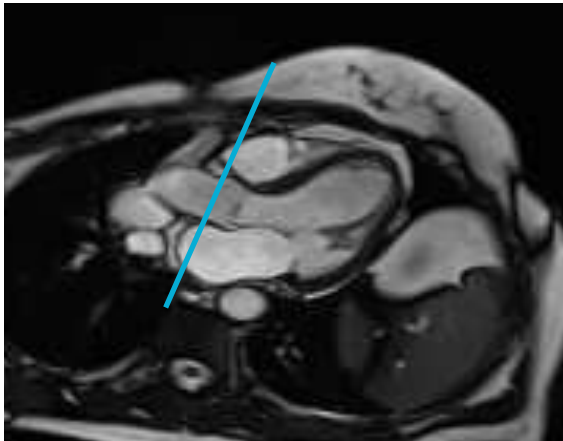
Valvula aórtica

Flujo de la aorta

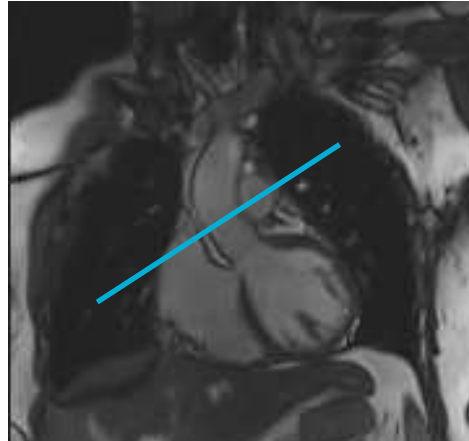
Objetivo: Ver la aorta redonda para poder medir su flujo.

Localizar sobre: cine 3 cámaras + TSVI, el corte deberá ir perpendicular a la aorta, cortando el vaso de manera que forme un círculo perfecto.

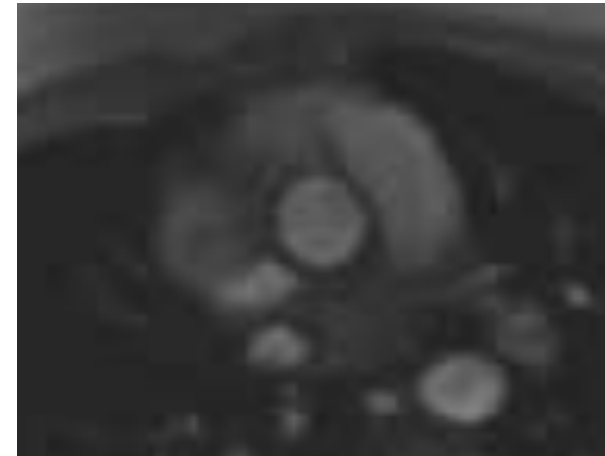
Importante verificar que no haya aliasing (puntos negros o blancos dentro del vaso). En caso de que lo haya se subirá la codificación velocidad hasta conseguir que no haya.



Localización sobre cine 3 cámaras



Localización sobre cine 3
cámaras



Aorta

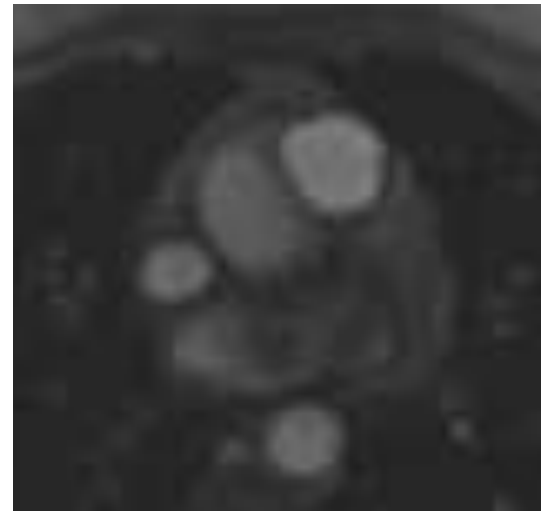
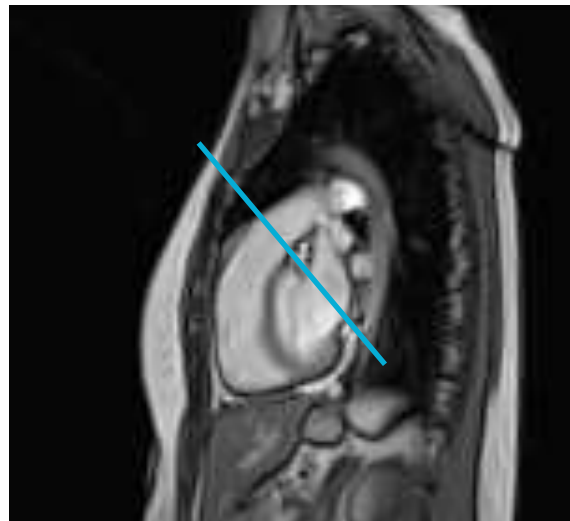


Aorta

Flujo de la pulmonar

Objetivo: Ver la pulmonar redonda para poder medir su flujo.

Se necesita como referencia un localizador axial y sagital , después de encontrar su localización se corta justo antes de que se divida en la ramas derecha e izquierda .



Pulmonar



Pulmonar

Debe verse el vaso redondo y verificar si hay aliasing, igual que con la aorta.

Paso 9: TI SCOUT

Objetivo: Seleccionar el tiempo correcto para contraste

A los 8 minutos después de la inyección haremos el "TI scout", es un localizador especial que detecta dónde está el contraste.

Se adquiere en el plano del eje corto. Se obtienen múltiples imágenes con diferentes valores de TI (tiempo de inversión).

Se ven varias imágenes del mismo corte con diferentes intensidades de contraste, cada imagen tiene un TI diferente

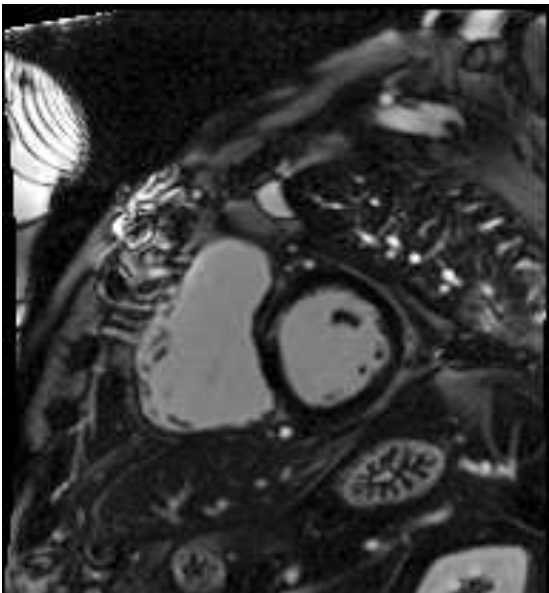
Buscaremos la imagen donde el miocardio esté más negro y anotaremos el valor del tiempo de inversión, lo necesitaremos para las siguientes secuencias.

Paso 10: Realce tardío - Las imágenes finales con contraste

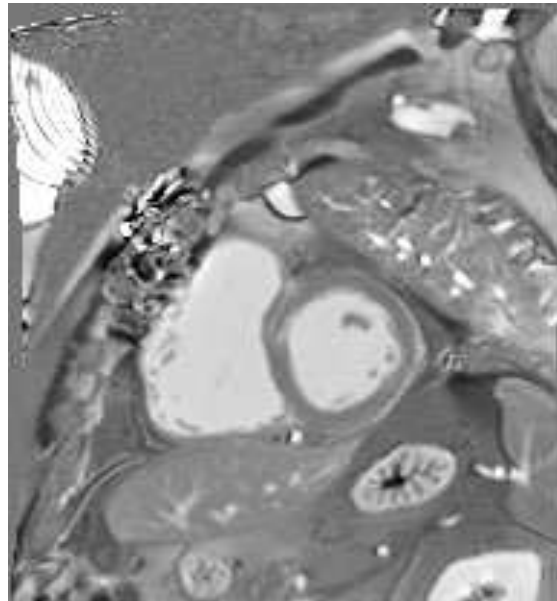
Objetivo: Mostrar qué tejido cardíaco está dañado (fibrosis, infarto, etc.).

Realce tardío 2 cámaras

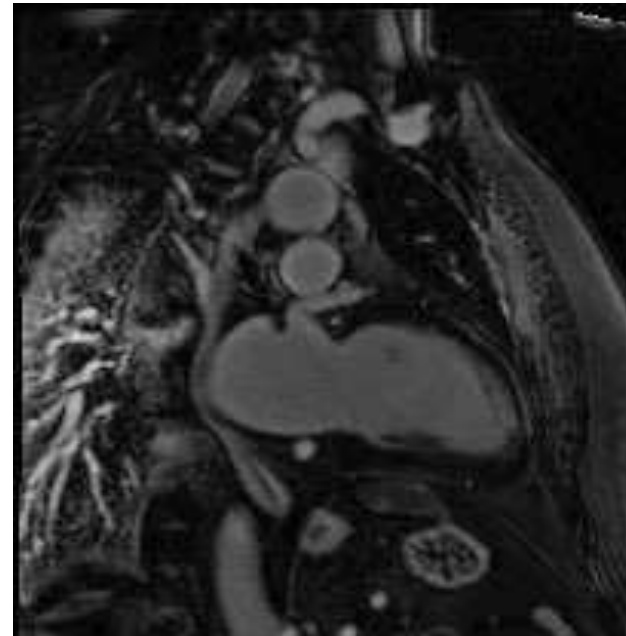
Copiar del cine 2 cámaras anterior, verificando en la secuencia del TI que el corte coincide con un dos cámaras y aplicar el TI que seleccionaste en el scout.



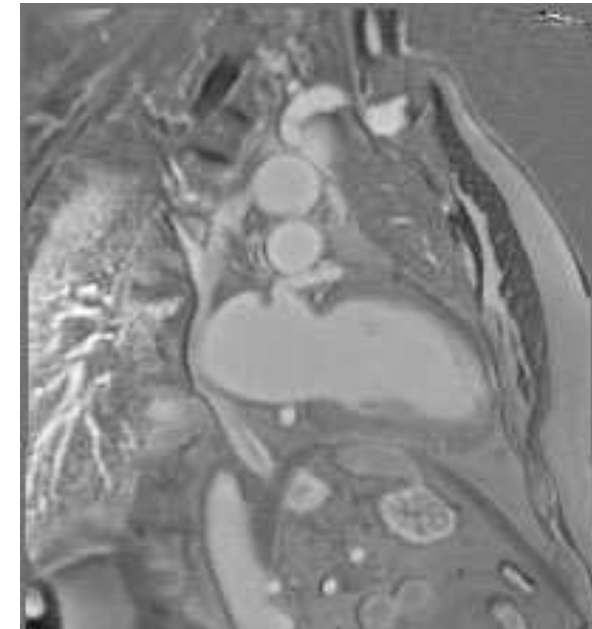
Realce Eje corto



Realce Eje corto



Realce 2 cámaras



Realce 2 cámaras

Realce tardío eje corto

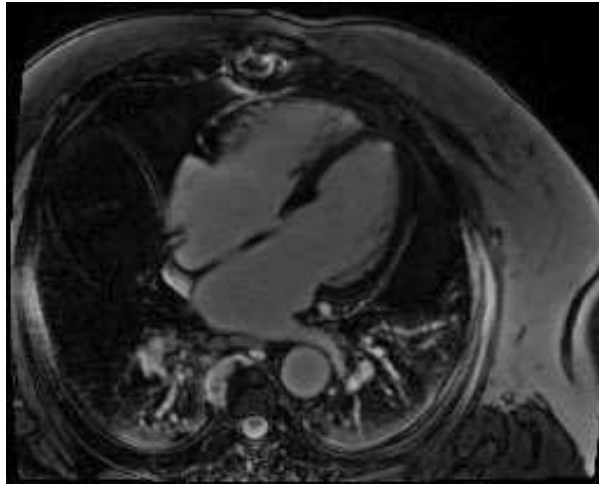
Copiar del cine eje corto verificándolo sobre el 2 cámaras.

Aplicar el TI, al numero que configuramos en la secuencia anterior le sumaremos 10 ms mas.

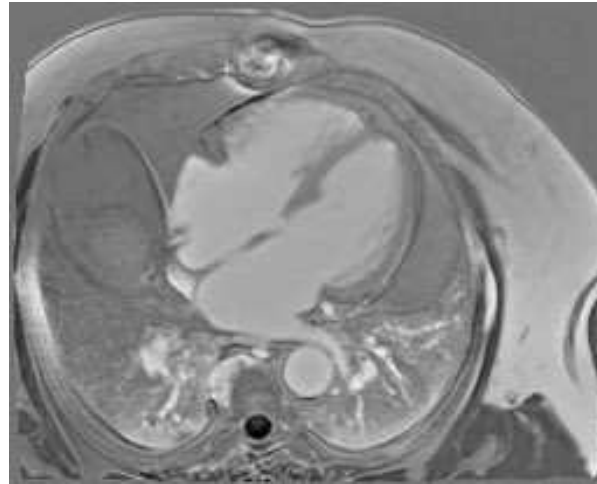
Realce tardío 4 cámaras

Copiar del cine 4 cámaras anterior, comprobando sobre el dos cámaras y el eje corto.

Aplicar el TI correcto, al del eje corto le sumaremos 20 más.



Realce 4 cámaras

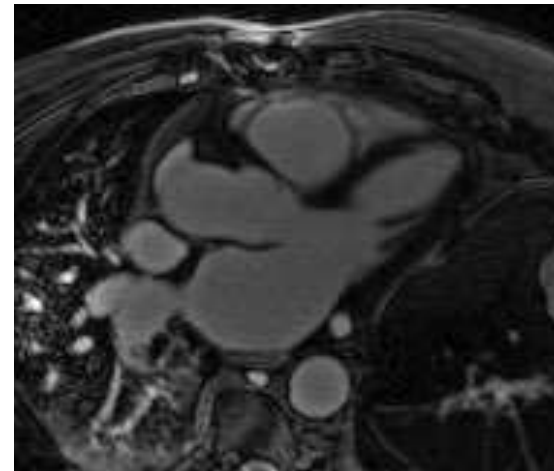


Realce 4 cámaras

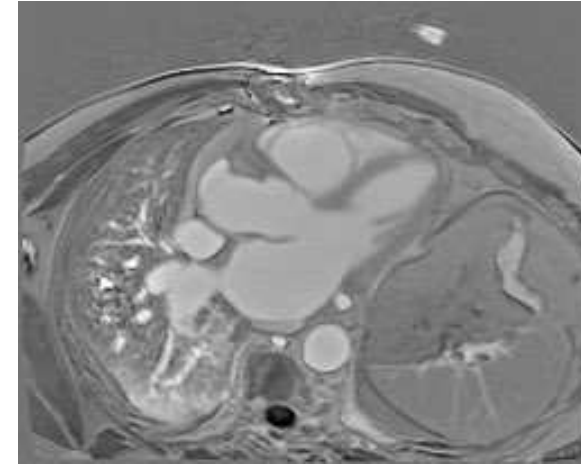
Realce tardío 3 cámaras

Copiar del cine 3 cámaras anterior y comprobar en el resto de secuencias que tenemos que la orientación es la correcta.

Para después aplicar el TI correcto.



Cine 3 cámaras



Cine 3 cámaras

Artefactos en RMC: Identificación y Soluciones

Artefactos por una mala Sincronización ECG

Cuando la onda R no se detecta correctamente, ocurren artefactos de movimiento cardíaco. Estos artefactos se manifiestan como borrones, transiciones abruptas entre segmentos o duplicaciones de estructura. La solución principal es asegurar que los electrodos estén bien posicionados, evitando zonas con grasa, músculo prominente o hueso.

Los cables no deben formar bucles para evitar interferencias en el ECG, especialmente durante cambios de gradiente. La unidad de medición (PMU) debe colocarse lo más cerca del isocentro posible.

Artefactos de Aliasing

Uno de los artefactos más comunes en Resonancia de corazón es el aliasing, que ocurre cuando la anatomía imagen excede el FOV en dirección de codificación de fase. Esto causa que partes de la anatomía fuera del FOV aparezcan en el borde opuesto de la imagen, o metiendo artefactos dentro de la imagen a estudiar

La solución principal para estos artefactos es aumentar el FOV.

Artefactos por Tiempo de Inversión Inadecuado

En secuencias de realce tardío, si el tiempo de inversión no es el correcto, se produce contraste insuficiente entre el miocardio normal y el tejido dañado. La solución es repetir un TI scout y buscar la imagen donde veamos el miocardio mas negro.
