

**RECOMENDACIONES PARA FORMACIÓN,
ACREDITACIÓN Y USO APROPIADO DE LA
CARDIO-RESONANCIA MAGNÉTICA.**

Comité SEC

- ✓ José F Rodríguez Palomares
- ✓ Alicia M Maceira González
- ✓ Luis Jesús Jiménez Borreguero
- ✓ Esther Pérez David
- ✓ Guillem Pons Lladó
- ✓ Miguel Ángel García Fernández

Comité SERAM

- ✓ Angel Gayete
- ✓ Rafaela Soler

I. INTRODUCCIÓN

Durante la última década, ha habido un aumento progresivo en el uso clínico de la resonancia magnética para la evaluación más eficiente de pacientes con patologías cardiovasculares. Las dificultades técnicas en su desarrollo y aplicación clínica se han derivado del movimiento del corazón y el lento desarrollo de la tecnología para subsanarlo, así como por la escasez inicial de equipos dotados con sistemas de sincronismo cardíaco y de programas de post-procesado. La puesta en marcha, en los últimos años, de una actividad regular de Cardio-RM en los hospitales de nuestro medio sigue en desarrollo. Frecuentemente han sido cardiólogos o radiólogos con formación específica en Cardio-RM quienes han tomado la iniciativa en esta actividad.

Por otra parte, siguiendo los principios de la medicina moderna, la participación multidisciplinar conjunta de facultativos de diferentes especialidades en la toma de decisiones en los diferentes procesos clínicos que forman la patología cardíaca es el modelo idóneo de organización, ya que ofrece la máxima eficiencia en la resolución de problemas diagnósticos de los pacientes con enfermedades cardíacas, contribuyendo a la vez a potenciar la investigación en dicho campo.

FINALIDAD DEL DOCUMENTO

El objetivo principal de este documento es el de proponer, pautas de organización y trabajo en un campo concreto de la Imagen cardíaca como es la Cardio-RM, para mejorar la calidad y eficiencia de esta técnica en la asistencia de los pacientes con diferentes tipos de patología cardiovascular.

Hay que remarcar que para obtener una alta precisión, optimizar su valor pronóstico y la eficiencia de la Cardio-RM en la evaluación de los pacientes con enfermedades cardíacas es imprescindible disponer de tecnología suficiente en cuanto a campo magnético, gradientes, antenas, secuencias de adquisición y software de post-

procesado. Además de tecnología, es necesario que el personal facultativo esté suficientemente cualificado, entrenado y con experiencia tanto en la parte técnica de la Cardio-RM como en la parte clínica de las enfermedades cardiológicas. Las normas para la acreditación del personal facultativo que realice e informe estudios de Cardio-RM han sido claramente establecidas por diferentes sociedades científicas y grupos de trabajo internacionales y se concretarán en el apartado VI del presente documento.

La Cardio-RM, complementa a otras técnicas diagnósticas no invasivas en cardiología, como la ecocardiografía transtorácica, transesofágica, 3D, con contraste y de estrés, a las técnicas nucleares de gammagrafía de perfusión miocárdica (SPECT) y tomografía por emisión de positrones (PET) y a la tomografía computarizada. Es por ello que la interpretación de las exploraciones de Cardio-RM, al igual que el resto de las técnicas arriba mencionadas, requiere de un conocimiento de la fisiología/patología cardiovascular y de una interpretación global del resto de exploraciones cardiovasculares realizadas a fin de obtener un diagnóstico más preciso.

La Sociedad Española de Cardiología y la SERAM recomiendan la creación de Unidades o comités multidisciplinares de patología cardíaca, bajo la coordinación y supervisión que en cada caso se considere más operativa, teniendo en cuenta las características de cada centro. Dichas Unidades se encargarían de elaborar los protocolos de actuación integrales razonados, incluyendo la imagen cardíaca, con el objetivo de obtener la mayor eficiencia diagnóstica y terapéutica en el paciente cardiológico, evitando así la redundancia de exploraciones y procedimientos innecesarios que conllevan un importante aumento del gasto y consumo de recursos.

DIFERENTES ESTUDIOS DE CARDIO-RM Y COMPLEJIDAD.

II. 1. Equipamiento necesario para la realización de estudios de Cardio-RM

Los estudios de Cardio-RM se pueden llevar a cabo en equipos de RM convencional de 1,5 ó de 3 Tesla. Es imprescindible la disponibilidad de un sistema de monitorización electrocardiográfica para la sincronización de las adquisiciones, y es

recomendable la utilización de una bobina receptora específica para estudios cardiacos. Aunque muchos equipos disponen de paquetes básicos para realizar estudios de Cardio-RM, es recomendable disponer en el sistema de un *software* informático específico, constituido por secuencias especialmente diseñadas para aplicaciones cardiacas más avanzadas. Las secuencias en RM son, de hecho, programas de ordenador que determinan las características de la imagen final por medio del control de aspectos del *hardware* del sistema, como la emisión de los pulsos de radiofrecuencia que van a interaccionar con los núcleos atómicos, produciendo el fenómeno de resonancia magnética, o la generación de gradientes selectivos dentro del campo magnético, que permitirán delimitar en el espacio la lectura de la señal. Las aplicadas en estudios cardiacos son en realidad adaptaciones de secuencias de uso general, modificadas para obtener imágenes adecuadas de un órgano de características especiales, como es el corazón. Existe un buen número de secuencias diferentes para aplicaciones cardiovasculares, que reciben, además, distintos nombres dependiendo del fabricante del equipo, pero a efectos prácticos, es posible considerarlas en grupos genéricos, dependiendo del tipo de información que se obtiene con ellas. Podemos distinguir los siguientes tipos(1,2):

a) *Secuencias estáticas nativas*

Aunque se trata de las secuencias básicas en RM, han conocido un extenso desarrollo a lo largo del tiempo, con numerosas variantes, conociéndose como secuencias de “sangre negra” o secuencias de spin eco, ya que su estrategia implica la supresión de la señal de la sangre en movimiento antes de adquirir la información anatómica. Permiten obtener una imagen por ciclo cardiaco, en una determinada fase del mismo, con una excelente resolución y contraste, por lo que se utilizan para estudios morfológicos y de caracterización tisular. Estas secuencias se pueden modificar potenciando determinados aspectos del proceso de resonancia, como es el tiempo de recuperación de la magnetización (T1) o el de degradación de la señal tras

una excitación (T2, T2*), característicos de cada tejido, lo cual confiere a la Cardio-RM su gran capacidad de análisis tisular. Modalidades recientes dentro de este grupo son las secuencias denominadas de mapeo T1, T2 ó T2*, por las que es posible determinar el valor numérico de estos parámetros, permitiendo así añadir una dimensión cuantitativa a la caracterización tisular.

b) Secuencias estáticas de realce tardío

Denominadas de Inversión/Recuperación, dada su estrategia de adquisición, cuyo objetivo es anular la señal tisular miocárdica sin contraste y realzar las áreas donde existe contraste retenido, motivo por el que se adquieren tardíamente (10-15 minutos) tras la administración del agente, permitiendo así visualizar áreas de cicatriz miocárdica, isquémica o de otro origen. La disponibilidad de estas secuencias es esencial, ya que constituyen uno de los puntos fuertes de la Cardio-RM, al ser referenciales en la detección y cuantificación del infarto de miocardio.

c) Secuencias estáticas de alta resolución 3D

Aplican diferentes estrategias con un denominador común: obtener cortes múltiples (100-150), contiguos, con la máxima resolución (isotrópica, de hasta 1 mm por vóxel), a efectos de permitir una reconstrucción en 3D. Utilizadas para análisis de la anatomía coronaria, y también para contraste tardío, estas secuencias requieren un tiempo de examen prolongado (10-12 minutos), y no se puede llevar a cabo, por tanto, en apnea, por lo que la adquisiciones se practican con sincronización cardiaca y también respiratoria, por medio de la técnica de “navegación” diafragmática.

d) Secuencias dinámicas de cine

Se conocen como secuencias de “sangre blanca” o secuencias de gradiente de eco, dada la alta intensidad de señal del flujo en movimiento que produce la estrategia de adquisición aplicada, sin precisar de la administración de agentes de contraste. Su objetivo es obtener el máximo contraste natural entre tejido sólido (el miocardio ventricular, en este caso) y la sangre en movimiento. Ello conduce a una potenciación de la interfase entre ambas estructuras, lo que resulta adecuado para la determinación de volúmenes de las cavidades. Dado que se obtienen múltiples imágenes por ciclo cardíaco, es posible la reconstrucción del mismo en diferentes fases, con una resolución temporal de hasta 20 ms, lo que permite un cálculo muy exacto de los parámetros de función ventricular. Una modalidad de las secuencias de cine es la denominada de marcaje (*tagging*) miocárdico, por la que se aplica una matriz de bandas de pre-saturación de baja intensidad de señal que persisten durante la adquisición dinámica, y que actúan de marcadores que permiten visualizar la deformación miocárdica a lo largo del ciclo cardíaco.

e) Secuencias dinámicas de perfusión

Permiten adquirir varios cortes (3-6) completos por cada ciclo cardíaco, cada uno en una fase diferente del ciclo, con una estrategia de adquisición que potencia los cambios en la intensidad de señal debidos a la llegada de contraste, por lo que la secuencia se adquiere de forma continua durante 1 minuto durante el primer paso de un bolo de un compuesto de gadolinio. Su objetivo es detectar defectos regionales de perfusión, sea basales o bien durante la administración de un agente de estrés farmacológico, como la adenosina o el dipiridamol, lo que permite obtener información sobre la presencia de isquemia inducible.

f) Secuencias dinámicas de mapa de velocidad

Permiten obtener un mapa de velocidades de flujo en los componentes que presentan movimiento en el plano de corte, como los vasos sanguíneos, en base al análisis de las desviaciones de fase de la señal recibida, que se hallan en relación directa con la velocidad. El muestreo de hasta 30-40 fases del ciclo cardiaco en un corte orientado ortogonalmente con un vaso, como la aorta o la arteria pulmonar, da como resultado una curva de velocidades instantáneas que, integrada por el área del vaso, visible en el mismo corte, permite un cálculo de volúmenes de flujo gran exactitud.

g) Secuencias de angio-RM

Ampliamente utilizadas en RM vascular, estas secuencias permiten obtener un bloque de cortes finos (1-2 mm) paralelos con cualquier orientación y con una estrategia que realza la señal de la llegada de contraste paramagnético. La adquisición de la secuencia se sincroniza con la llegada del contraste a la estructura en cuestión, y de la substracción con la misma adquisición en situación basal se obtiene un conjunto de imágenes muy contrastadas que se pueden reconstruir en formato 3D para su análisis. En Cardio-RM, dichas secuencias son de aplicación para estudios de la aorta, arteria pulmonar o venas pulmonares.

II. 2.Requerimientos de personal y equipamiento adicional para la realización de estudios de Cardio-RM

Al igual que en el caso de la RM convencional, los estudios de Cardio-RM precisan de un técnico en imagen diagnóstica a cargo del manejo del equipo. También se requiere la presencia de un/a enfermero/a, ya que buena parte de los pacientes van a requerir canalización de vía venosa para la administración de contraste, así como para la eventual administración de agentes de estrés farmacológico.

La práctica de estudios de estrés farmacológico exige disponer de fármacos vasodilatadores (adenosina o dipyridamol) y agentes con efecto inotrópico positivo (dobutamina). La elección de uno u otro en los estudios de inducción de isquemia dependerá de la situación clínica concreta, así como de posibles contraindicaciones. En cualquier caso, es necesario disponer, para este tipo de estudios, de un sistema de infusión compatible con la sala de RM para la administración del fármaco, así como de un sistema de monitorización del paciente que incluya los parámetros habituales (ritmo cardíaco, tensión arterial y saturación de oxígeno).

En cuanto al personal facultativo, la práctica de estudios de Cardio-RM requiere la presencia de un cardiólogo o radiólogo formado en la técnica (véase apartado VI del presente documento) que decida, en cada paciente, la estrategia del estudio dependiendo de la solicitud concreta, modificándola, si es el caso, de acuerdo con los hallazgos que puedan aparecer, y supervise directamente la práctica de aquellos estudios que impliquen administración de agentes de estrés farmacológico(3,4).

II. 3. Niveles de complejidad de los estudios de Cardio-RM

Las múltiples modalidades disponibles de Cardio-RM hacen necesaria una sistematización de los estudios en función de su previsible complejidad, dependiente, a su vez, de la indicación clínica. Esta categorización permite definir *a priori* niveles de complejidad de cada estudio, con las consiguientes previsiones en cuanto a tiempo requerido para la realización del examen, tiempo de interpretación y costes en agentes fungibles, lo que condicionará, a su vez, una diferente consideración administrativa.

Cabe distinguir, en este sentido, 3 niveles(5):

Nivel I. Es el que incluye secuencias morfológicas o funcionales (sea función ventricular o análisis de flujos), sin requerir administración de contraste. Ejemplo de

ello sería el estudio diagnóstico o de seguimiento de un paciente con enfermedad valvular.

Nivel II. Es el que añade al anterior una o más secuencias que requieran administración de contraste paramagnético. Sería el caso del estudio de pacientes con miocardiopatía, infarto de miocardio, o de aquellos que requieren un estudio de angio-RM.

Nivel III. Es el que requiere de un estudio de estrés farmacológico que incluye, a su vez, administración de contraste y de fármacos de estrés. Es el caso de los estudios de inducción de isquemia en pacientes con enfermedad arterial coronaria.

En la tabla 1 se relacionan los grupos genéricos de situaciones clínicas en las que es de utilidad la Cardio-RM con el nivel de complejidad previsible para cada una de ellas.

III. INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES DE LA CARDIO-RM

La Cardio-RM es una técnica muy segura y con una tasa de complicaciones muy baja. Sin embargo, existen diversas circunstancias en las que su realización está contraindicada(6):

1) Contraindicaciones de la Cardio-RM.

- a) Dispositivos activos como marcapasos temporal o definitivo y desfibriladores (modelos anteriores al 2000, implantados en los últimos 3 meses, pacientes dependientes de marcapasos o modelos no compatibles con la RM), neuroestimuladores y bombas de infusión de insulina.
- b) Clip de aneurisma cerebral (salvo los no ferromagnéticos).
- c) Cuerpos extraños metálicos en los ojos (se aconseja realizar una radiografía orbitaria en casos dudosos).
- d) Implantes cocleares.
- e) Claustrofobia intratable (alrededor de un 2% de los casos).

- f) Paciente con inestabilidad hemodinámica: Debido a la duración de la exploración, la necesidad de permanecer en decúbito supino y la dificultad de monitorización del paciente.
- 2) Contraindicaciones al contraste de Gadolinio.
- a) Insuficiencia renal con filtrado glomerular inferior a 30 ml/min o hemodiálisis por riesgo de fibrosis nefrogénica sistémica.
 - b) Trasplantados hepáticos o pre-trasplante hepático.
 - c) Niños < 1 año por presentar inmadurez de la función renal.

En general, los implantes metálicos, tales como prótesis de cadera, prótesis valvulares cardíacas, stents coronarios y suturas esternales no presentan peligro para la realización de estudios en equipos de 1,5 T ya que los materiales usados no son ferromagnéticos (aunque pueden aparecer artefactos en la localización del implante). En caso de dudas, sobre todo si se va a utilizar un equipo de alto campo (3T) se debe consultar la página web *MRIsafety.com*, en donde, se puede encontrar una descripción detallada de todas las contraindicaciones de la Cardio-RM y consejos de seguridad.

Las diferentes secuencias desarrolladas en Cardio-RM han permitido que dicha técnica pueda ser aplicada para el diagnóstico de múltiples patologías cardiovasculares. Entre las principales indicaciones de esta técnica destacan(7):

1) **Cardiopatías congénitas.**

La Cardio-RM representa una técnica de gran relevancia en la evaluación de pacientes con cardiopatías congénitas. Dado que se trata, generalmente, de una población joven y que va a requerir múltiples exploraciones a lo largo de su vida, se aconseja el uso de técnicas no invasivas y que no empleen radiaciones ionizantes. Además de las secuencias estáticas de sangre negra (eco de spin) y secuencias dinámicas cine, las secuencias dinámicas de mapa de velocidad (de contraste de fase) son relevantes para la cuantificación de flujos y la valoración

de cortocircuitos, así como, la angiografía 3D que permite la valoración tridimensional de las estructuras vasculares(8).

2) **Patología aórtica.**

La Cardio-RM permite el estudio de la aorta en toda su extensión. Las secuencias estáticas anatómicas permiten definir con precisión las dimensiones aórticas en diversas situaciones patológicas (aneurismas, disección, hematoma intramural, anomalías del cayado aórtico, coartación...). Las secuencias dinámicas de mapa de velocidad proporcionan información sobre flujos y velocidades tanto en casos de coartación como en disección aórtica. La visualización 3D de la aorta y sus ramas proporciona información anatómica y permite la planificación en caso de reparación endovascular o quirúrgica(9).

3) **Patología del pericardio.**

La Cardio-RM permite la visualización directa del pericardio. Constituye la técnica de elección para la detección de ciertas enfermedades del pericardio, como pericarditis constrictiva o calcificada, la invasión tumoral del pericardio, y la ausencia congénita del pericardio (10). Las imágenes dinámicas de cine en tiempo real permite la visualización directa de los efectos de la respiración en el movimiento septal ayudando al diagnóstico de pericarditis constrictiva. Finalmente, el realce pericárdico tras administración de gadolinio sugiere un proceso inflamatorio del mismo.

4) **Cardiopatía isquémica:**

La Cardio-RM es la técnica más completa para la valoración de pacientes con sospecha de enfermedad coronaria o enfermedad coronaria establecida, síndrome coronario (con o sin elevación del segmento ST) y cardiopatía isquémica crónica.

La Cardio-RM de estrés permite la valoración de pacientes con enfermedad coronaria o con sospecha de la misma. Diferentes modalidades pueden ser consideradas: estudios de estrés con dobutamina o bien estudios de perfusión con estrés farmacológico (adenosina, dipiridamol o regadenosón). En

el caso de la dobutamina, además de la valoración de la contractilidad regional, se aconseja la valoración de la perfusión tras administración de contraste con el fin de mejorar la especificidad del estudio. En el caso del uso de agentes vasodilatadores, la valoración de la contractilidad regional se asocia a un incremento de la especificidad en el diagnóstico de enfermedad coronaria y con un peor pronóstico en el seguimiento(11).

En cuanto a la valoración de los pacientes con síndrome coronario agudo o con cardiopatía isquémica crónica, las secuencias dinámicas de cine permiten el estudio de la contractilidad regional, volúmenes ventriculares y fracción de eyección. Las secuencias estáticas de realce tardío de gadolinio permiten una excelente cuantificación de la extensión de la necrosis determinando así la viabilidad miocárdica, que presenta, además, implicaciones pronósticas en el seguimiento.

En pacientes con síndrome coronario agudo, las secuencias potenciadas en T2 permiten cuantificar el edema miocárdico pudiéndose determinar el área miocárdica en riesgo y la presencia de infartos hemorrágicos. Además, en las secuencias de realce tardío (tanto de forma precoz como tardíamente) se puede estudiar la presencia de obstrucción microvascular que se asocia a un peor pronóstico en dichos pacientes(12).

Si bien, la Cardio-RM es una excelente técnica para la valoración del tamaño de la necrosis, diversos estudios recientes han puesto de manifiesto que existe una sobreestimación de la masa necrótica en la fase aguda del infarto debido a la presencia de edema miocárdico. Falta por determinar qué momento post-síndrome coronario y post-administración de contraste es el óptimo para la correcta cuantificación de la necrosis miocárdica (13).

5) Miocardopatías y miocarditis:

La Cardio-RM presenta una gran utilidad en el diagnóstico y valoración de los pacientes con diferentes tipos de miocardopatía(14,15). Permite determinar de

forma precisa los volúmenes, función ventricular y masa miocárdica. Además, es la mejor técnica para la valoración de la función ventricular derecha en pacientes con miocardiopatía arritmogénica de ventrículo derecho.

Las secuencias estáticas en sangre negra pre-contraste potenciadas en T1, T2 y T2* permiten la caracterización tisular, valorando así, la presencia de infiltración adiposa, edema/inflamación miocárdica o la sobrecarga férrica.

Además, los diferentes patrones de realce tardío permiten el diagnóstico diferencial de diferentes miocardiopatías o miocarditis según la localización del realce (subendocárdico, intramiocárdico o subepicárdico) y la distribución del mismo (focal, parcheado o difuso) (1,7).

6) Estudio de valvulopatías:

Aunque el estudio de valvulopatías se realiza de forma habitual y precisa mediante ecocardiografía transtorácica, la Cardio-RM es una excelente técnica para el seguimiento individual de la severidad de las insuficiencias valvulares, en particular de la insuficiencia aórtica, así como, el seguimiento de los volúmenes ventriculares, función y masa miocárdicas(16).

7) Tumores cardíacos:

La ecocardiografía transtorácica o transesofágica es la técnica de elección en el diagnóstico de las masas intracavitarias. Sin embargo, la Cardio-RM permite en muchas ocasiones la caracterización tisular de las masas, así como establecer la extensión del tumor, infiltración y relación con resto de estructuras anatómicas (17).

IV. ANÁLISIS DE IMÁGENES Y ELABORACIÓN DEL INFORME.

La elaboración del informe es una parte crucial de un estudio de Cardio-RM, ya que es el medio de comunicación fundamental con el facultativo solicitante del estudio. Aunque en ciertas situaciones de urgencia la transmisión oral de un informe preliminar, haciendo constar que lo es, puede ser necesaria,

ésta debe ir siempre seguida a la mayor brevedad del envío por escrito del informe completo correspondiente.

Es importante recordar que la información recogida en el informe puede tener implicaciones legales, por lo que éste debe ser revisado cuidadosamente, para evitar al máximo los errores de interpretación, descripción o transcripción, antes de su firma y subsiguiente envío al facultativo solicitante. Igualmente, todos los facultativos que han participado en la realización la exploración y en la elaboración del informe deben constar en el mismo. Dependiendo de la existencia y características específicas del sistema de gestión de informes e imágenes diagnósticas (PACS) de cada centro sanitario, tanto el informe como las imágenes se subirán al sistema informático correspondiente o se enviarán al médico solicitante en soporte en papel, CD u otro, en cuyo caso se recomienda añadir al texto las imágenes más representativas. También por motivos legales, en caso de que el informe sufra una modificación posterior, el médico solicitante debe recibir el nuevo informe y en éste se debe hacer constar que se ha producido un cambio. Muchos sistemas de gestión de informes hospitalarios ya llevan incorporado un procedimiento de trazabilidad. En caso de que el solicitante sea el propio paciente, el informe se le dará a él mismo. Cuando el solicitante es un tercero, el facultativo que realiza el informe tiene la responsabilidad ética de asegurarse de que el paciente es informado de cualquier hallazgo inesperado que pueda afectar seriamente a su salud.

A continuación se enumeran los parámetros y apartados que en general deben constar en un informe de Cardio-RM, de acuerdo con las recomendaciones de las principales sociedades científicas (SCMR, ACC/AHA/ACR) (1,3,18):

1. Datos administrativos: Se debe incluir el modelo, fabricante y campo magnético del equipo de Cardio-RM, así como qué estación de trabajo se ha utilizado para el análisis.

2. Datos demográficos y clínicos del paciente: Número de identificación del paciente (SIP, número de historia clínica), fecha de nacimiento, sexo, así como cualquier otro dato demográfico que pueda afectar la interpretación de los resultados. Se hará constar también peso y talla, datos clínicos relevantes para el estudio, datos del electrocardiograma si se dispone de ellos, ritmo cardíaco, frecuencia cardíaca y presión arterial si son clínicamente relevantes (p.ej. en estudios valvulares). Aunque no es obligado, es recomendable recoger los factores de riesgo cardiovascular, el tratamiento farmacológico y el resultado de otras pruebas diagnósticas realizadas (coronariografía, ecocardiograma...).

3. Indicación del estudio: se debe hacer constar la indicación clínica (detección de isquemia, estudio de viabilidad, etc.), si el paciente es ingresado o ambulatorio, el nombre del médico solicitante y su especialidad.

4. Realización del estudio:

a) Fecha del estudio, calidad del estudio y facultativos que han intervenido en la realización e informe del estudio (deben constar todos).

b) Listado de secuencias empleadas (secuencias dinámicas de cine, dinámicas de mapa de velocidad (contraste de fase), angiografía, etc.).

c) Otros datos a recoger dependerán del tipo de estudio:

- Si se ha administrado medio de contraste, se debe hacer constar el valor de creatinina plasmática, la estimación del filtrado glomerular, el tipo de contraste, dosis, vía, volumen y flujo utilizados. Si se produce una reacción adversa al contraste, ésta se debe hacer constar, así como los fármacos que se han empleado en su tratamiento.

- Si se trata de un estudio de estrés se incluirán: fármaco empleado, vía y dosis, ritmo cardíaco, datos hemodinámicos (frecuencia cardíaca y presión arterial basal y en cada estadio del estrés), cualquier síntoma o efecto secundario del estrés, y en caso de administrar algún fármaco posteriormente, determinar el

fármaco empleado y su dosis. En algunos centros también se monitoriza la saturación de oxígeno, aunque sólo ocasionalmente es necesario.

- Si es un estudio realizado con sedación, se hará constar en el informe, registrando qué fármaco, dosis y vía de administración, así como si el paciente ha sido monitorizado por un especialista en Anestesiología.

5. Parámetros obtenidos en el estudio de Cardio-RM: dependiendo del tipo de estudio, los parámetros obtenidos pueden ser diferentes.

Siempre que se haya hecho un estudio de función ventricular es obligatorio incluir como mínimo los volúmenes y fracción de eyección del ventrículo izquierdo y, en líneas generales, está indicado aportar para cada estructura estudiada (aurículas, ventrículos, válvulas, grandes vasos, etc.) los parámetros numéricos clínicamente relevantes, exactos y reproducibles, absolutos y si procede también relativos a la superficie corporal, así como comentarios de cada estructura estudiada. Se recomienda seguir el listado, distribuido en patologías, que propone la SCMR(1).

Para los estudios de pacientes con sospecha o diagnóstico previo de cardiopatía isquémica, se deben informar los hallazgos (alteraciones segmentarias en reposo y estrés, defectos de perfusión, presencia de necrosis y transmuralidad) con el modelo de 17 segmentos de la ACC/AHA(19).

6. Hallazgos incidentales no cardiovasculares: dado el gran tamaño de campo de la Cardio-RM, es frecuente detectar patología no cardiovascular desconocida previamente, ésta se debe incluir en el informe.

7. Conclusiones del estudio: este apartado es muy importante y determina en gran medida la calidad del informe y por tanto del estudio realizado. Es importante sintetizar toda la información obtenida en el estudio en un diagnóstico global con una orientación cardiológica clínica, con el objetivo de ayudar al cardiólogo clínico, intervencionista o cirujano cardíaco a planificar el tratamiento y estratificar el pronóstico del paciente.

Finalmente, dado que el resultado final del estudio está en relación con la integración de trabajo en las Unidades de Imagen Cardíaca, entrefacultativos correspondientes a los departamentos de Cardiología y Radiodiagnóstico, se aconseja que el informe recoja la firma de todos los facultativos que han participado en la exploración.

V. FORMACIÓN Y COMPETENCIA.

Una formación adecuada es fundamental para conseguir la excelencia en la realización de Cardio-RM. Es recomendable, por lo tanto, que en todas las Unidades de Imagen Cardíaca que realizan estudios de Cardio-RM existan especialistas adecuadamente formados y con experiencia en este tipo de estudios (ESC) o SCMR(20,21).

Se pueden describir tres niveles diferentes de competencia en Cardio-RM:

- Nivel 1: es el nivel básico. Refleja la formación que deben recibir todos los residentes en Cardiología, siguiendo las recomendaciones curriculares de la ESC (20).
- Nivel 2: es el nivel requerido para un cardiólogo que tiene la intención de realizar e interpretar estudios de Cardio-RM (subespecialista en imagen cardíaca) o el nivel de formación que deben recibir todos los residentes en Radiodiagnóstico, según figura en el Plan de Formación oficial de la especialidad.
- Nivel 3: es el nivel requerido para un especialista que tiene la intención de dirigir un programa de Cardio-RM y supervisar su programa de formación, además de realizar e interpretar estudios.

Para la consecución de dichos niveles existen una serie de requerimientos que deben cumplirse(20,21):

Nivel 1:

En este nivel, los conocimientos de Cardio-RM son suficientes para seleccionar las indicaciones apropiadas de la técnica en los pacientes cardiopatas e interpretar los informes resultantes en su contexto clínico, pero no para realizar los estudios de forma autónoma.

Los requerimientos principales para alcanzar el nivel 1 son los siguientes:

- Participación en la realización e interpretación de 50 estudios de Cardio-RM en un centro con experiencia en la técnica. Se recomienda la revisión de casos didácticos.

- Participación en sesiones clínicas o cursos en los que se expliquen los conceptos básicos de física en Cardio-RM, indicaciones y protocolos más frecuentes en la práctica clínica, limitaciones y contraindicaciones de la técnica, post-procesado básico de las imágenes.

Nivel 2:

Este nivel es el que corresponde a los especialistas que quieren sub-especializarse en imagen cardíaca, y que por tanto tienen como objetivo realizar e informar estudios de Cardio-RM. Es recomendable que su labor pueda desempeñarse bajo la supervisión de un especialista con nivel 3 (puede ser un especialista de su centro o que ofrezca asistencia remota).

Se recomienda cumplir estos cuatro objetivos:

- a) Cursos de formación continuada y sesiones clínicas con un contenido superior a 50 horas de formación teórica. Existen varios cursos de formación o másteres que son especialmente adecuados para este objetivo. Los temas que han de ser cubiertos en la formación teórica son: conceptos básicos de física en Cardio-RM necesarios para entender las secuencias habitualmente empleadas en los estudios cardíacos, indicaciones y protocolos clínicos,

artefactos, limitaciones y contraindicaciones de la técnica, post-procesado avanzado de las imágenes.

b) Estancia de al menos tres meses en un centro con experiencia en Cardio-RM. Es recomendable que en dicho centro el especialista en formación disponga del apoyo de una persona acreditada con nivel 3. La formación debe incluir la participación en la adquisición de al menos 50 estudios, la redacción al menos de 50 informes y la interpretación de un mínimo de 150 casos. Una opción para los médicos cuyas circunstancias dificultan rotaciones externas prolongadas es la revisión e interpretación de colecciones de casos didácticos anonimizados.

Los estudios deben incluir las siguientes categorías:

- Estudios de isquemia y viabilidad.
- Función ventricular izquierda y derecha.
- Valvulopatías
- Patología aórtica (aneurisma de aorta, disección aórtica)
- Cardiopatías congénitas más frecuentes (coartación aórtica, tetralogía de Fallot, cortocircuitos intracardiacos)
- Miocardiopatías (miocardiopatía hipertrófica, miocardiopatía dilatada, miocardiopatías restrictivas, miocarditis, no compactación miocárdica y miocardiopatía arritmogénica)
- Masas cardíacas
- Patología pericárdica
- Angiografía de grandes vasos.

c) Formación en reanimación cardiopulmonar básica y avanzada, especialmente para poder realizar una supervisión adecuada de los estudios de Cardio-RM de estrés.

Para mantener la habilidad adquirida en Cardio-RM se recomienda una formación continuada de al menos 20 horas cada tres años, así como la adquisición e interpretación de un mínimo de 100 estudios cada tres años.

Nivel 3:

Es el nivel requerido para capacitar a un especialista para dirigir un programa de Cardio-RM, actuar como formador acreditado en un centro de imagen cardiaca.

Se recomienda cumplir estos tres objetivos:

- a) Realización de cursos específicos de formación continuada en RM y otras modalidades con un contenido superior a 50 horas de formación teórica. Los temas que han de ser cubiertos en la formación teórica son: conceptos detallados de física orientada a la RM, indicaciones clínicas, interpretación de las imágenes.
- b) Experiencia de al menos un año con Cardio-RM. Es recomendable que en dicho centro el especialista en formación disponga del apoyo de una persona acreditada con nivel 3. La formación debe incluir la participación en la adquisición de al menos 100 estudios, la redacción al menos de 100 informes y la interpretación de un mínimo de 300 casos. La revisión de al menos 100 casos debe realizarse con un experto de nivel 3.

Los estudios deben incluir las siguientes categorías:

- Estudios de isquemia (al menos 50 casos) y viabilidad
- Función ventricular izquierda y derecha.

- Valvulopatías
- Patología aórtica (aneurisma de aorta, disección aórtica)
- Cardiopatías congénitas más frecuentes (coartación aórtica, tetralogía de Fallot, cortocircuitos intracardiacos; al menos 50 casos)
- Miocardiopatías (descritas previamente)
- Masas cardíacas
- Patología pericárdica
- Angiografía de grandes vasos.

c) Formación en reanimación cardiopulmonar básica y avanzada.

Para mantener la competencia de tipo nivel 3 se recomienda una formación continuada de al menos 40 horas cada tres años, adquisición e interpretación de un mínimo de 200 estudios de Cardio-RM cada tres años y la participación en programas de formación en el propio centro, o bien, nacionales o internacionales.

VI. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

De los apartados previamente descritos podemos destacar, por tanto, las siguientes recomendaciones:

- 1) El objetivo del presente documento es el de garantizar la máxima calidad de los estudios de Cardio-RM en beneficio del paciente.
- 2) La actividad de Cardio-RM debe programarse, al igual que el resto de las pruebas de imagen cardíaca, en el marco de las Unidades o comités multidisciplinares de patología cardíaca, integradas por los diversos especialistas implicados en el manejo de la patología cardíaca. .

- 3) Para la realización de los estudios de Cardio-RM se debe disponer del equipamiento material y personal necesarios que garanticen la calidad de las exploraciones. A fin de minimizar riesgos al paciente, (7).
- 4) Los informes de Cardio-RM deben disponer de una estructura y contenido adecuados a la indicación por la que se solicita, deben describir los parámetros más relevantes y deben presentar una orientación cardiológica clínica que permita al especialista que la solicita planificar el tratamiento y estratificar el pronóstico del paciente.
- 5) Los informes de Cardio-RM deben ser firmados por todos los especialistas que han intervenido en la realización, la interpretación y/o supervisión del estudio. Cabe recordar que la firma de un informe clínico conlleva implicaciones de carácter legal.
- 6) Los especialistas responsables de los estudios de Cardio-RM deben disponer de la formación adecuada con el fin de garantizar la calidad y la homogeneidad de los estudios (21).

VII. RECOMENDACIÓN FINAL.

Tabla 1: Diferentes grupos genéricos de situaciones clínicas en las que es de utilidad la Cardio-RM con el nivel de complejidad previsible para cada una de ellas.

| | Nivel I | Nivel II | Nivel III |
|-----------------------------|---------|----------|-----------|
| Morfología/función cardíaca | ● | | |

| | | | |
|-----------------------------------|---|---|---|
| Enfermedad valvular | ● | | |
| Enfermedades del miocardio | | ● | |
| Enfermedad pericárdica | | ● | |
| Estudio de masas y tumores | | ● | |
| Infarto de miocardio / viabilidad | | ● | |
| Cardiopatías congénitas | | ● | |
| Estudio de grandes vasos | | ● | |
| Detección de isquemia miocárdica | | | ● |

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E. Standardized cardiovascular magnetic resonance (CMR) protocols 2013 update. J Cardiovasc Magn Reson 2013;15:91.
2. Pons Lladó G. Protocolos de Cardio-RM y Cardio-TC de la Unidad de Imagen Cardíaca Sant Pau. Marge Medica Books 2012.
3. Hundley WG, Bluemke DA, Finn JP et al. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 expert consensus document on cardiovascular magnetic resonance: a report

- of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *J Am Coll Cardiol* 2010;55:2614-62.
4. Schulz-Menger J, Bluemke DA, Bremerich J et al. Standardized image interpretation and post processing in cardiovascular magnetic resonance: Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) board of trustees task force on standardized post processing. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013;15:35.
 5. Pons Lladó G, Carreras Costa F. Modalidades, indicaciones y nivel de complejidad de los estudios de resonancia magnética cardiaca: informe especial. *Rev Esp Cardiol Supl* 2006;6:6.
 6. Schwitter J, Abdel-Aty H. CMR Update: J. Schwitter, 2008.
 7. Pennell DJ, Sechtem UP, Higgins CB et al. Clinical indications for cardiovascular magnetic resonance (CMR): Consensus Panel report. *Eur Heart J* 2004;25:1940-65.
 8. He J, Gu D, Reynolds K et al. Serum total and lipoprotein cholesterol levels and awareness, treatment, and control of hypercholesterolemia in China. *Circulation* 2004;110:405-11.
 9. Pereles FS, McCarthy RM, Baskaran V et al. Thoracic aortic dissection and aneurysm: evaluation with nonenhanced true FISP MR angiography in less than 4 minutes. *Radiology* 2002;223:270-4.
 10. Masui T, Finck S, Higgins CB. Constrictive pericarditis and restrictive cardiomyopathy: evaluation with MR imaging. *Radiology* 1992;182:369-73.
 11. Bodi V, Sanchis J, Lopez-Lereu MP et al. Prognostic value of dipyridamole stress cardiovascular magnetic resonance imaging in patients with known or suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2007;50:1174-9.
 12. Dall'Armellina E, Karamitsos TD, Neubauer S, Choudhury RP. CMR for characterization of the myocardium in acute coronary syndromes. *Nat Rev Cardiol* 2010;7:624-36.

13. Kim HW, Farzaneh-Far A, Kim RJ. Cardiovascular magnetic resonance in patients with myocardial infarction: current and emerging applications. *J Am Coll Cardiol* 2009;55:1-16.
14. Mahrholdt H, Wagner A, Judd RM, Sechtem U, Kim RJ. Delayed enhancement cardiovascular magnetic resonance assessment of non-ischaemic cardiomyopathies. *Eur Heart J* 2005;26:1461-74.
15. Soriano CJ, Ridocci F, Estornell J, Jimenez J, Martinez V, De Velasco JA. Noninvasive diagnosis of coronary artery disease in patients with heart failure and systolic dysfunction of uncertain etiology, using late gadolinium-enhanced cardiovascular magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:743-8.
16. Myerson SG, d'Arcy J, Mohiaddin R et al. Aortic regurgitation quantification using cardiovascular magnetic resonance: association with clinical outcome. *Circulation* 2012;126:1452-60.
17. Sparrow PJ, Kurian JB, Jones TR, Sivananthan MU. MR imaging of cardiac tumors. *Radiographics* 2005;25:1255-76.
18. Hendel RC, Budoff MJ, Cardella JF et al. ACC/AHA/ACR/ASE/ASNC/HRS/NASCI/RSNA/SAIP/SCAI/SCCT/SCMR/SIR 2008 Key Data Elements and Definitions for Cardiac Imaging: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Data Standards (Writing Committee to Develop Clinical Data Standards for Cardiac Imaging). *Circulation* 2009;119:154-86.
19. Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. A statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *Circulation* 2002;105:539-42.
20. Gillebert TC, Brooks N, Fontes-Carvalho R et al. ESC core curriculum for the general cardiologist (2013). *Eur Heart J* 2013;34:2381-411.

21. Plein S, Schulz-Menger J, Almeida A et al. Training and accreditation in cardiovascular magnetic resonance in Europe: a position statement of the working group on cardiovascular magnetic resonance of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2011;32:793-8.