

AVVISO IMPORTANTE: Se si vuole citare questo articolo dovrebbe fare come segue per rispettare il copyright e l'impact factor della rivista.

Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E; Society for Cardiovascular Magnetic Resonance Board of Trustees Task Force on Standardized Protocols. Standardized cardiovascular magnetic resonance (CMR) protocols 2013 update. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013; 15: 91.

Standardizzazione dei protocolli di risonanza magnetica cardiaca (RMC), aggiornamento del 2013

Christopher M Kramer^{1*}, Jörg Barkhausen², Scott D Flamm³, Raymond J Kim⁴, Eike Nagel⁵, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance Board of Trustees Task Force on Standardized Protocols

Riassunto

Questo documento è un aggiornamento della pubblicazione del 2008 del gruppo di lavoro per la standardizzazione dei protocolli della Società di Risonanza Magnetica Cardiaca (**SCMR**). Dal momento della pubblicazione originale, sono stati pubblicati 3 documenti aggiuntivi da parte del gruppo di lavoro (Refertazione, Analisi delle immagini, e Cardiopatie congenite) che dovrebbero essere correlate al presente documento. La sezione dei principi generali e delle tecniche è stata ampliata dato che sempre più tecniche comuni alla risonanza magnetica cardiaca (RMC) sono state standardizzate. Tuttavia poiché lo sviluppo nel campo della caratterizzazione e del "mapping" tissutale è molto rapido, l'utilizzo di questi protocolli è rimasta ancora facoltativa. La speranza degli autori è che questo documento continui a rendere più standardizzato e semplice l'avvicinamento alla RMC clinica, ponendo al centro il paziente. Tale documento verrà aggiornato ad intervalli regolari nell'ambito degli sviluppi in RMC.

Introduzione

Il seguente documento è un aggiornamento della pubblicazione del 2008 da parte del nucleo direttivo per la standardizzazione dei protocolli della Società di Risonanza Magnetica Cardiaca (**SCMR**) [1]. Dal momento della pubblicazione originale, sono stati pubblicati 3 documenti aggiuntivi da parte del gruppo di lavoro che dovrebbero essere unite al presente documento. Il primo documento riguarda la parte di refertazione, pubblicato dal gruppo di lavoro della SCMR nel 2010 [2]. Tutte le note bibliografiche in merito riguardo agli sviluppi dei protocolli citati sono state eliminate dal presente documento, in quanto esse sono riportate già nel suddetto documento. Allo stesso modo, tutte le citazioni riguardanti le tecniche di analisi delle immagini non sono state incluse nel presente documento poiché già presenti interamente nella recente pubblicazione del gruppo di lavoro della SCMR sull'analisi delle immagini [3].

Tutti i protocolli utilizzati nelle Cardiopatie Congenite sono stati rimossi alla luce della recente pubblicazione sull'argomento [4]. La sezione che tratta dei principi generali e delle tecniche è stata ampliata poiché le tecniche comuni alla RMC sono state standardizzate. Tuttavia, poiché lo sviluppo nel campo della caratterizzazione e del **mapping** tissutale è molto rapido, l'utilizzo di questi protocolli è rimasta ancora facoltativa. La speranza degli autori è che questo documento continui a rendere più standardizzato e semplice l'avvicinamento alla RMC clinica, ponendo al centro di tutto il paziente. Tale documento verrà aggiornato ad intervalli regolari nell'ambito degli sviluppi in RMC.

Tecniche generali

Considerazioni sulla intensità del campo magnetico

1. La RMC può essere eseguita con campi magnetici di diversa intensità. Sistemi a 1.5T sono generalmente utilizzati nella maggior parte dei casi.
2. La RMC con sistema 3T richiede un attento **shimming** e un adattamento degli impulsi di radiofrequenza per evitare gli artefatti.

* Correspondence: ckramer@virginia.edu

¹Departments of Medicine and Radiology, University of Virginia Health System, Lee Street, Box 800170, Charlottesville, VA 22908, USA

Full list of author information is available at the end of the article

3. Come risultato di un migliore rapporto segnale-rumore (**SNR**) i sistemi 3T risultano più vantaggiosi nelle immagini di perfusione, aumentando l'intensità di segnale che si ottiene con la somministrazione di mezzo di contrasto durante l'acquisizione di primo passaggio. Inoltre anche le immagini di **tagging** e di **4D-flow** possono essere migliori nei sistemi a 3T.
4. Le sequenze di **SSFP**, che sono di prima scelta nei sistemi a 1.5T per le immagini in cine, possono risultare particolarmente difficili, costituendo vere e proprie sfide nei sistemi a 3T, poiché resentano maggiori artefatti da banda scura, artefatti da flusso e quelli dovuti alla selezione di un angolo di inclinazione non ottimale, a causa delle restrizioni del (**SAR**).
5. I dispositivi che sono stati provati con macchinari 1.5T possono non essere sicuri al 3T: bisogna pertanto controllare le informazioni relative alla sicurezza (**MRI safety**) di ogni specifico dispositivo quando si vuole inserirlo in questi campi magnetici.

Agenti "stressor"

1. Dobutamina: dose massima tipica 40 µg/kg/min
2. Atropina: frazioni tipiche di 0.25 mg l (dose massima 2 mg)
3. Adenosina: 140 µg/per ogni kg peso corporeo/min, (considerare un'incremento fino a 210 µg/per ogni Kg di peso corporeo/min, in base alle norme istituzionali e locali, se dopo 2-3 minuti la frequenza cardiaca non aumenta di 10 bpm, oppure se la pressione arteriosa non diminuisce di 10 mmHg)
4. Regadenoson: 0.4 mg in una somministrazione endovena singola.

Controindicazioni

Dobutamina

- Ipertensione arteriosa sistemica di grado severo ($\geq 220/120$ mmHg)
- Angina instabile
- Stenosi valvolare aortica severa (gradiente valvolare aortico di picco >50 mmHg or area valvolare aortica < 1 cm²)
- Aritmie cardiache complesse, inclusa la fibrillazione atriale a risposta media ventricolare tachifrequente
- Cardiomiopatia ipertrofica ostruttiva
- Miocardite, endocardite, pericardite

Scompenso cardiaco congestizio

Atropina

- Glaucoma ad angolo chiuso
- Miastenia gravis
- Patologie ostruttive delle vie urinarie
- Occlusione intestinale

Adenosina oppure Regadenoson

- Blocco atrioventricolare di II o III grado oppure malattia del nodo del seno.
- Pressione arteriosa sistemica inferiore a 90 mmHg
- Bradicardia sinusale (frequenza cardiaca minore di 40 bpm)
- Riacutizzazioni di BPCO oppure asma bronchiale, broncopneumopatia con regolare uso di inalatori.
- Nota ipersensibilità all' adenosina o al regadenoson
- Gli effetti collaterali del regadenoson descritti sono meno importanti di quelli dell'adenosina, anche se l'emivita del regadenoson è più lunga.

Preparazione del paziente

- 1) Ottenere il consenso informato del paziente all'esecuzione dello stress test.
- 2) Al fine di ottenere un test massimale il paziente dovrebbe astenersi dall'assumere i seguenti farmaci antagonisti per le 12-24 ore precedenti Per la dobutamina: β -bloccanti e nitrati. Per l'adenosina/regadenoson: la caffeina (caffè, tè, befande ofarmaci contenenti caffeina), la teofillina e il dipiridamolo
Note: Vi è una crescente mole di dati sulla possibilità di superare l'azione antagonizzante della caffeina e della nicotina, aumentando le dosi dell'adenosina e del regadenoson.
1. Il digiuno non è obbligatorio, ma è consigliato, per prevenire gli effetti avversi degli agenti stressor, includendo tra questi la nausea ed il vomito, che possono essere estremamente fastidiosi quando un paziente giace supino all'interno di uno spazio angusto come quello del magnete
2. Due accessi venosi dovrebbero essere a disposizione, uno in un braccio per la somministrazione del gadolinio e l'altro nel controlaterale per la somministrazione dell'adenosina. Per l'infusione del mezzo di contrasto è preferibile utilizzare una vena superficiale. Il manicotto della pressione arteriosa dovrebbe essere utilizzato attentamente, in modo da non ostacolare l'infusione di gadolinio o adenosina. L'infusione del regadenoson richiede l'utilizzo di una sola via venosa.

Effetti potenzialmente avversi

La dobutamina ad alta dose può causare dolore toracico, palpitazioni. Complicanze più gravi nell'utilizzo dello stressor ad alte dosi sono rare, ma includono:

- Infarto miocardico
- Fibrillazione ventricolare
- Tachicardia ventricolare sostenuta

L'adenosina e il regadenoson possono causare vampata di calore, dolore toracico, dispnea. Effetti collaterali più severi includono:

- Disturbi di conduzione transitori

- Ipotensione transitoria
- Tachicardia sinusale transitoria
- Broncospasmo.

Requisiti e norme di sicurezza per lo stress imaging

1. attrezzature per il monitoraggio dei parametri del paziente (pressione arteriosa, traccia elettrocardiografica per il monitoraggio del ritmo cardiaco, sistema di microfoni per la comunicazione con il paziente durante l'esame)
2. Preparazione ed addestramento regolare per la rapida rimozione del paziente dal magnete in caso di emergenza.
3. Personale e sistema di emergenza all'interno della struttura
4. Defibrillatore
5. Farmaci per il trattamento dell'emergenza:
 - a. A disposizione immediata: beta bloccante (ad esempio l'esmololo oppure il metoprololo), la nitroglicerina, l'aminofillina.
 - b. Nel carrello delle emergenze: il set completo dei farmaci di emergenza (includendo farmaci come l'adrenalina, i beta bloccanti, l'atropina, i farmaci broncodilatatori, e quelli antiaritmici
1. Per la dobutamina è importante valutare in tempo reale della cinesi regionale durante la fase di ricostruzione delle immagini subito dopo averle acquisite.

Protocollo riguardante la dose e la sicurezza del gadolinio

Vedi tabella 1.

Note:

1. Il volume e la velocità di iniezione dipendono dalla durata dell'acquisizione delle immagini: I valori di velocità raccomandati fanno riferimento a tempi medi di acquisizione delle immagini.
2. Le velocità di iniezione sono differenti per i mezzi di contrast 1 molari. Come regola generale si divide la velocità di iniezione dell'agente per un fattore pari a 2.
3. I mezzi di contrasto con una maggiore rilassività (come l'acido gadobenico) richiedono dosi minori.
4. All'interno dei vari protocolli, il termine "gadolinio" si riferisce a ai chelati del gadolinio.

Considerazioni sulla sicurezza:

1. L'uso del gadolinio dovrebbe essere evitato nei pazienti con insufficienza renale cronica in stadio 4 e 5 (con un filtrato glomerulare stimato <30 mL/min/1.73 m²), ed in particolar modo nei pazienti in trattamento dialitico, ed in quelli con insufficienza renale acuta ed epatopatia cronica, a causa del rischio di fibrosi sistemica nefrogenica (**NSF**).
2. La dose di gadolinio da utilizzare dovrebbe essere la minore possibile, sufficiente a garantire una qualità delle immagini soddisfacente.

3. Il rischio di **NSF** dipende in parte dal tipo di chelati del gadolinio che vengono utilizzati. Bisogna fare riferimento alle linee guida dell'istituto, regionali e nazionali in merito alla scelta del tipo di agente di contrasto nei pazienti con insufficienza renale.
4. In mancanza di alternative nei pazienti in trattamento dialitico in cui sia da somministrare il gadolinio, la dialisi dovrebbe essere eseguita basandosi sulle linee guida dell'Istituto, regionali e nazionali.

Protocollo di studio della struttura e della funzione ventricolare.

1. Immagini di localizzazione – assiali, coronali, sagittali
2. Un set di immagini para-assiale con sequenze **SSFP** o **FSE** (8–10 mm)
3. Le immagini di localizzazione per posizionare le immagini in asse corto – le acquisizioni in cine sono preferibili a quelle **single shot**, per la necessità di visualizzare il movimento lungo l'asse longitudinale e del piano atrioventricolare.
 - a. Gli assi lunghi verticali debbono essere prescritti in maniera ortogonale rispetto alle immagini di localizzazione para-assiali, attraversando il centro della valvola mitrale
 - b. Gli assi lunghi orizzontali devono essere posizionati ortogonalmente agli assi lunghi verticali passando per l'apice e il centro della valvola mitrale
4. Le sequenze **SSFP** sono considerate quelle di scelta per le immagini in cine perchè permettono un elevato rapporto segnale/rumore (**SNR**) ed un'eccellente visualizzazione della cavità endoventricolare e del bordo endocardico.
 - a. Con i sistemi 3T, la qualità delle immagini in cine **SSFP** può essere compromessa dalla presenza di artefatti e le sequenze **spoiled gradient-echo** possono essere considerate una valida alternativa.
 - b. Strategie per ridurre o eliminare l'artefatto "**banding**" includono lo **shimming**, la riduzione del **TR**, l'aggiustamento della frequenza delle radiofrequenza (la frequenza delle sequenze per le immagini di localizzazione può essere utile in tale senso)
5. Le immagini in cine **SSFP** debbono essere acquisite dal piano valvolare mitralico fino all'apice. La fetta più basale dell'asse corto dovrebbe essere posizionata immediatamente sopra il miocardio della giunzione atrioventricolare in telediastole, e posizionata sulle precedenti immagini longitudinali in cine precedentemente acquisite.
 - a. Spessore di fetta pari a 6–8 mm, con uno spazio di 2–4 mm tra le fette con una somma di 10 mm
 - b. Risoluzione temporale ≤ 45 ms tra le fasi
 - c. Utilizzo del "**Parallel imaging**" se disponibile
6. Immagini in cine in asse lungo **SSFP**
 - a. La proiezione 4-camere in asse lungo deve essere prescritta dall'asse lungo verticale che attraversa

l'apice e il centro della valvola mitrale e tricuspidale. Questo può essere anche ottenuto dall'asse corto, da un piano che attraversa l'angolo costo frenico (marginale) della parete libera del ventricolo destro.

- b. L'asse lungo verticale ottenuto dalle immagini di localizzazione già acquisite.
- c. Il tratto di efflusso del ventricolo sinistro (**LVOT**) in asse lungo, generato dall'asse corto basale da un piano che passa attraverso l'apice e il centro della valvola mitrale e allineato a livello del centro del **LVOT** verso la valvola aortica.

Protocollo di studio della struttura e funzione ventricolare destra.

1. L'immagine del ventricolo destro in asse corto può essere ottenuto in un modo analogo a quanto descritto per la struttura e la funzione del ventricolo sinistro. Se l'asse corto viene utilizzato per valutazioni quantitative, è importante collocare la fetta basale in asse corto subito sul lato miocardico del ventricolo destro, avendo particolare cura di escludere parte del volume atriale incluso almeno nella fetta basale in telesistole.
2. Il pacchetto di immagini in cine para-assiali deve coprire interamente il ventricolo destro per essere utilizzato nello studio dei volume.
3. Le immagini in asse lungo dovrebbero includere una proiezione del ventricolo destro longitudinale allineata con il piano di inflow tricuspidalico e con il tratto di efflusso del ventricolo destro (in piani sagittali o para-sagittali che attraversano la valvola polmonare).

Protocollo di perfusione di primo passaggio

1. Immagini di localizzazione come per la morfologia e funzione del ventricolo sinistro.
2. Immagini con **saturation-recovery** con sequenze ibride **gradient echo echo planar (GRE-EPI), GRE, o SSFP.**
3. Immagini in asse corto (almeno 3 fette per battito cardiaco)
 - a. Per la valutazione di ischemia, le immagini devono essere acquisite durante ogni battito cardiaco.
 - b. Spessore di fetta 8 mm.
 - c. **Parallel imaging**, se disponibile.
 - d. Risoluzione bidimensionale, <3 mm approssimativamente.
 - e. Risoluzione di ricostruzione temporale ~ 100 – 125 ms o più breve se disponibile.
 - f. Somministrazione di mezzo di contrasto (0.05 – 0.1 mmol/kg, 3–7 mL/s) seguito da almeno 30 ml di soluzione fisiologica (3–7 mL/s).
 - g. Apnea da iniziare durante la prima fase di infusione del contrasto prima che arrivi dentro la cavità del ventricolo sinistro.
 - h. Acquisizione delle immagini per 40–50 battiti cardiaci, tempo sufficiente per il passaggio del

contrasto attraverso il miocardio ventricolare sinistro

Protocollo di late gadolinium enhancement

1. Sequenze di impulsi:
 - a. 2D segmented inversion recovery GRE o SSFP, Phase-Sensitive Inversion-Recovery (PSIR) e sequenze 3D sono preferite in pazienti appropriati con soddisfacente capacità di mantenere le apnee e se il rapporto segnale/rumore sia sufficiente.
 - b. Immagini acquisite con singolo impulso (Single-shot imaging) (SSFP readout) come alternativa, in pazienti con ritmo cardiaco irregolare e/o difficoltà a mantenere le apnee.
 - c. Attendere almeno 10 minuti dopo l'iniezione di gadolinio (per il dosaggio dei gadolinio-chelanti vedi Tabella 1). Nota – L'attesa può essere inferiore di 10 minuti se usati dosaggi minori, in quanto il segnale del sangue si riduce più del segnale del miocardio con LGE. Le immagini devono essere acquisite come immagini statiche in diastole.
 - d. Negli stessi assi delle immagini in cine (asse corto ed asse lungo).
 - e. Spessore di fetta, come per immagini in cine.
 - f. Risoluzione in-plane, ~1.4-1.8 mm
 - g. Durata di acquisizione per intervalli R-R sotto 200 ms, ma inferiore in caso di tachicardia per evitare immagini sfuocate.
 - h. Tempo di inversione impostato per annullare miocardio sano. Altrimenti, può essere usata una sequenza PSIR che necessita meno frequentemente di correzione del TI.
 - i. Il read-out viene impostata solitamente a battiti cardiaci alterni (2 RR), ma bisogna modificare tale parametro ad ogni battito (1 RR) in caso di bradicardia oppure ogni 3 battiti (3RR) in caso di tachicardia od aritmia cardiaca.

Perfusione da stress con adenosina/regadenoson

1. Protocollo di acquisizione della morfologia e della funzione ventricolare sinistra (altrimenti può essere eseguito tra l'acquisizione da stress e l'acquisizione a riposo, anche se l'esecuzione subito dopo l'infusione di gadolinio può ridurre il contrasto dell'interfaccia sangue-endocardio).
 2. Imaging di perfusione da stress con adenosina (almeno 3 minuti di infusione a 140 µg/kg di peso corporeo/min, da aumentare eventualmente a 210 µg/kg peso corporeo /min).
- Facoltativamente – iniziare l'infusione di adenosina con il paziente fuori dal tunnel del magnete.
- a. Protocollo di perfusione di primo passaggio.
 - b. Durante ultimo minuto di infusione dell'adenosina,

- può essere somministrato il gadolinio.
- c. Dopo aver acquisito immagini per 40–50 battiti cardiaci, tempo sufficiente per permettere al gadolinio di entrare nel miocardio ventricolare sinistro, l’infusione di adenosina può essere interrotta.
 - d. Monitoraggio **EKG** continuo e misurazione pressione arteriosa a riposo, durante l’infusione ed almeno per 2 minuti dopo la sospensione dell’adenosina.
3. In alternativa: imaging con perfusione da stress con regadenoson (bolo endovenoso di 0.4 mg).
 - a. Protocollo di perfusione di primo passaggio.
 - b. Approssimativamente due minuti dopo l’iniezione di regadenoson, somministrare gadolinio.
 - c. Acquisire immagini per 40–50 battiti cardiaci, tempo sufficiente per permettere al gadolinio di entrare nel miocardio ventricolare sinistro.
 - d. Monitoraggio **EKG** continuo e misurazione pressione arteriosa a riposo ed ogni due minuti per almeno 6 minuti dopo la somministrazione di regadenoson.
 4. Perfusione a riposo
 - a. Attendere almeno 10 minuti per permettere il wash-out del gadolinio dopo la perfusione di primo passaggio. Durante l’attesa si possono controllare le immagini da stress, completare le sequenze cine (per esempio gli assi lunghi), eseguire valutazione di valvulopatie, ecc.
 - b. Ripetere l’acquisizione di immagini da perfusione senza adenosina/regadenoson usando la stessa dose di gadolinio (Nota: il flusso può non essere tornato ai valori basali dopo 10 minuti dalla somministrazione di regadenoson).
 - c. Se la perfusione da stress è normale e non ci sono artefatti, la perfusione a riposo può non essere fatta. In tal caso, una ulteriore dose di gadolinio

- può essere somministrata per permettere l’acquisizione delle immagini di **late gadolinium enhancement** (dose totale di 0.1 – 0.2 mmol/kg).
5. Protocollo di **Late Gadolinium Enhancement**
 - a. Bisogna attendere almeno 5 minuti dopo l’esecuzione delle immagini di perfusione a riposo
 6. Facoltativo – Quantificazione completa
 - a. Prendere in considerazione la somministrazione di un duplice bolo di contrasto per eliminare l’effetto di non linearità tra la concentrazione del mezzo di contrasto e l’intensità del segnale. Per fare ciò, iniettare un pre-bolo diluito in maniera standardizzata.
 - b. Prendere in considerazione l’utilizzo di una sequenza dedicata per il doppio bolo di contrasto. Si ottiene in questa maniera un approccio simile a quello del doppio bolo correggendo la non-linearità tra intensità del segnale e la concentrazione del mezzo di contrasto senza l’iniezione di contrasto diluito aggiuntivo ma con la necessità di software specifici che possono non essere disponibili in ogni macchina.

Prendere in considerazione l’acquisizione di immagini in densità protonica prima dell’iniezione del contrasto. Questo può essere fatto come correzione basale per la quantificazione completa ma necessita di software specifici che possono non essere disponibili in ogni macchina.

Lo stress dobutamina

1. Protocollo di acquisizione della morfologia e funzione ventricolare sinistra.
2. Stress con dobutamina
 - a. Aumentare il dosaggio di dobutamina con incrementi di 10 µg/kg peso corporeo/minuto ogni 3 minuti cominciando da 10 µg/kg peso corporeo/minuto fino al raggiungimento della frequenza cardiaca desiderata [$85\% \times (220 - \text{età})$].

Tabella 1: dose del bolo di contrasto e soluzione fisiologica e velocità di iniezione

Indicazione	Dose di contrasto (mmol/kg di peso corporeo)	Velocità di infusione	Soluzione Fisiologica	Velocità di iniezione
Perfusione	0.05-0.1	3-7 mL/s	30 mL	3-7 mL/s
Late Gadolinium Enhancement	0.1-0.2		20 mL	
Angiografia (Carotidi, renali, aorta)	0.1-0.2	2-3 mL/s	20 mL	2-3 mL/s
Angiografia Time-resolved	0.05	3-5 mL/s	30 mL	3-5 mL/s
Angiografia periferica	0.2	Primi 10 mL a 1.5 mL/s, il resto a 0.4-0.8 mL/s	20 mL	0.4-0.8 mL/s

- b. Aggiungere atropina in piccole dosi, se la risposta della frequenza cardiaca è inadeguata (Vedi 1.2, Agenti da stress).
- a. Ripetere 3 assi corti e 3 assi lunghi durante ogni incremento della velocità di infusione della dobutamina.
- b. Monitoraggio **ECG** continuo e misurazione della pressione arteriosa durante ogni fase.
- c. Vedere le immagini in cine, in tempo reale, mentre si acquisiscono.
- d. Adattare sequenze cine **SSFP** per ottimizzare risoluzione temporale man mano che la frequenza cardiaca aumenta.
- e. Interrompere l'esame se c'è la comparsa di nuova anomalie della cinetica regionale, effetti collaterali importanti o si ottiene il raggiungimento della frequenza cardiaca massimale.

Protocollo di flusso

1. Solitamente eseguito come parte di altri protocolli cardiovascolari. Possono essere utilizzate le immagini di localizzazione già disponibili. E' opportuno che il vaso interessato venga raffigurato su due piani diversi oppure possono essere utilizzati piani ricostruiti direttamente dallo scanner utilizzando immagini **MRA** (per esempio ulteriori acquisizioni di immagini **bSSFP**, **CE-MRA**, o **T2 black blood scouts** possono essere di aiuto).
2. Sequenza: vengono solitamente usate **motion encoded cine gradient echo sequences** a singola direzione ("**through-plane**").
3. Per risultati ottimali, il piano di scansione deve essere
 - a) centrato sul vaso di interesse
 - b) allineato in maniera ortogonale alla direzione del flusso sanguigno principale, in due direzioni nello spazio
 - c) centrato all' isocentro del magnete
4. Parametri di imaging: spessore di fetta 5-8 mm; risoluzione bidimensionale almeno 1/10 del diametro del vaso. La **velocity encoding sensitivity (Venc)** deve essere adattata alle velocità attese – dopo ogni scansione, le immagini di **phase-difference** devono essere controllate per valutare la presenza di **aliasing**. Se l'**aliasing** è presente, il settaggio di **Venc** deve essere adattato di conseguenza. Se disponibile, una sequenza "**scout**" di velocità può permettere un settaggio ottimale del **Venc**.
5. Nella pratica clinica l'acquisizione di frame temporali nell'ordine di 20– 30 sono sufficienti. Per la ricostruzione, può essere usata una segmentazione del k-spazio attraverso multipli battiti cardiaci, nei limiti della capacità di apnea del paziente. Tecniche a respiro libero con l'utilizzo di un navigatore possono essere utilizzate per migliorare la risoluzione temporale e spaziale se necessario.
6. Il tempo di eco (**TE**) deve essere impostato al minimo, particolarmente quando bisogna acquisire immagini di

vasi stenotici.

Protocollo di caratterizzazione tissutale avanzata

Le applicazioni della caratterizzazione tissutale si stanno espandendo rapidamente e le sequenze di impulsi disponibili nelle diverse piattaforme variano in maniera significativa. Per questo motivo, i protocolli sotto riportati sono delle linee guida generiche visto che non esiste tutt'oggi una standardizzazione in questo ambito. Valori normali dovrebbero essere sviluppati in ogni singolo istituto o tra istituti che collaborano e che utilizzano piattaforme e sequenze di impulsi simili.

1. Imaging **T2** pesato (facoltativo)
 - a. **Black blood T2-W STIR (Short Tau Inversion Recovery)**.
 - i. Possibili errori – segnale iperintenso in zone di basso flusso, perdita di segnale causato dal movimento
 - b. Sequenze **Bright blood T2-W**
 - i. Sequenze **T2-prepared single-shot SSFP**
 - ii. Sequenza ibrida **turbo spin echo-steady state free precession** come alternativa
 - iii. Possibili errori – segnale iperintenso può oscurare il bordo endocardico.
 - c. **T2 mapping** (facoltativo).
 - i. Sequenze **T2-prepared single-shot SSFP** acquisite con tempi di preparazione T2 differenti.
 - ii. Correzione di movimento se necessario
 - d. **T1 mapping** (facoltativo)
 - i. Imaging di Look Locker (**MOLLI** o **SHMOLLI** o equivalente).
 - ii. Eseguire prima del contrasto e in 2– 4 fasi temporali distinte dopo il bolo di contrasto.
 - iii. In alternativa, infusione continua di contrasto può essere usata al posto del bolo

Protocollo T2*

1. Utilizzato per valutare il deposito miocardico di ferro in patologie da accumulo come la talassemia major. Le immagini sono solitamente acquisite in concomitanza alla acquisizione delle immagini di funzione ventricolare sinistra. Se le immagini di T2* vengono acquisite come parte di un protocollo di acquisizione per lo studio delle cardiomiopatie con utilizzo di mezzo di contrasto, le immagini T2* devono essere acquisite prima della somministrazione del contrasto.
2. Si tratta di una sequenza di impulsi a acquisite in una singola apnea, **gradient-echo, multi-echo** con una serie di 6– 9 **TE** a cominciare da ~2 ms ed arrivare fino a ~18 ms, con una distanza temporale tra due echi di ~2 ms. Viene solitamente usato un tempo di latenza di 0 ms dopo l'onda R. Facoltativo - In pazienti con un deposito di ferro severo una sequenza di impulsi con una sequenza temporale più corta potrebbe essere utile

per determinare in maniera accurata i valori di T2*: una serie di 6–9 TE a cominciare da ~1 ms ed arrivare fino a ~12 ms, con distanza temporale tra gli echi di ~1 ms.

3. Acquisizione di una singola fetta medio ventricolare in asse corto.
4. Spessore di fetta di 8–10 mm; Risoluzione bidimensionale, ~1.6-3.0 mm.
5. (Facoltativo) Una sequenza di imaging simile a quella appena descritta, seppur non sincronizzata con l'**ECG**, viene acquisita in assiale a livello della porzione media del fegato per la valutazione del deposito di ferro epatico. L'assenza di sincronizzazione con l'**ECG** permette una sequenza temporale di **TE** minore e di conseguenza l'acquisizione di un numero maggiore di echi.

Protocolli specifici per singola patologia – Cardiopatía ischemica

Infarto miocardico acuto o sindrome coronarica acuta

1. Protocollo di acquisizione per la morfologia e funzione del ventricolo sinistro.
2. Facoltativo – Protocollo di caratterizzazione tissutale avanzata
3. Facoltativo – Protocollo di perfusione di primo passaggio (solo a riposo). Da considerare stress se la lesione coronarica “colpevole” è stata già rivascolarizzata.
4. Ricerca della presenza di ostruzione microvascolare, considerare la ripetizione della perfusione di primo passaggio o **early gadolinium enhancement**, per esempio entro i primi 1–3 minuti dopo l'infusione del contrasto.
5. Protocollo di **late gadolinium enhancement**

Cardiopatía ischemica cronica e vitalità

1. Protocollo di acquisizione per la morfologia e funzione del ventricolo sinistro.
2. Facoltativo – Protocollo di caratterizzazione tissutale avanzata.
3. Facoltativo – Dobutamina a bassa dose con infusione di 10 µg/kg/min di dobutamina in 5 minuti per la valutazione della riserva contrattile mediante la valutazione del miglioramento dell'ispessimento della parete miocardica.
4. Facoltativo – perfusione con adenosina da stress ed a riposo o con dobutamina ad alta dose come per l'imaging funzionale (vedi protocolli degli stress per maggiori dettagli) per determinare la presenza di difetti di perfusione inducibili o alterazioni della cinetica regionale.
5. Protocollo di **Late Gadolinium Enhancement**

Angiografia

MRA periferica

1. Bobina per i vasi periferici, o combinazione di bobine, sono disponibili. Manicotti per compressione venosa

(posizionati a livello di coscia ed insufflati a pressione inferiore alla diastolica) sono utili, se disponibili.

2. Immagini di localizzazione del vaso in assiale, a bassa risoluzione con **time-of-flight MRA** o **SSFP**.
3. Timing del gadolinio
 - a. Opzione 1 –Bolo in assiale a livello della aorta addominale distale. Iniezione di 2 mL di gadolinio, seguita da 20 mL di soluzione fisiologica. Determinare il tempo al picco di **enhancement** seguito dall'iniezione, usando una tecnica di **single shot bolus tracking**.
 - b. Opzione 2 – Tecnica del **trigger bolus** per eseguire l'inizio della scansione
4. **Stepping-table, gadolinium-enhanced MRA** viene eseguita nella proiezione coronale dall'aorta addominale tratto medio fino agli arti inferiori.
 - a. Due acquisizioni volumetriche – una pre-contrasto (per la sottrazione) ed una durante la somministrazione di contrasto.
 - b. Il gadolinio viene somministrato in 2 fasi per minimizzare la contaminazione venosa, seguita da un bolo di soluzione fisiologica. Vedi Tabella 1
 - c. Spessore di fetta 1–1.5 mm; risoluzione spaziale acquisita bidimensionale 0.8-1.5 mm.
 - d. Fette – tipicamente 60–100, quante richieste per includere i vasi di interesse.
 - e. I volumi ottenuti per addome/pelvi e cosce possono essere di risoluzione spaziale maggiore (vasi grandi), mentre per quelli degli arti inferiori è da preferire una risoluzione spaziale sub-millimetrica. I primi tipicamente necessitano 15–20 secondi, mentre per gli arti inferiori l'acquisizione può impiegare 60–90 secondi a causa dell'elevata risoluzione spaziale. L'acquisizione ellittico-centrica del k-spazio è vantaggiosa per gli arti inferiori. Se disponibile, acquisizioni **time-resolved** sono da preferire per la scansione degli arti inferiori.
 - f. Acquisizione in **parallel-imaging** (necessarie l'uso di bobine di superficie multicanale)

In alternativa: protocollo a duplice iniezione

1. Dose singola di gadolinio: **time-resolved MRA** di polpaccio e vasi del piede
 2. Dose singola di gadolinio: vasi addominali e di coscia
- In alternativa: Tecnica di **MRA** senza contrasto
1. Due approcci generici potenzialmente da utilizzare (esistono anche altri):
 1. “**Fresh Blood Imaging**” dove due sequenze **ECG**-sincronizzate **3D fast-spin-echo** sono eseguite con la prima sincronizzata in sistole e la seconda in diastole. La sottrazione delle immagini in sistole dal set di immagini acquisite in diastole formano il **dataset** di immagini in fase arteriosa. Questo è riconducibile a volumi più grandi ed acquisizione nell'asse z maggiore.
 - a. Spessore di fetta ~2 mm; risoluzione spaziale acquisita bidimensionale di 0.6-0.8 mm.
 - b. Fette – tipicamente 40, quante richieste per

includere i vasi di interesse.

- c. Acquisizione l'acquisizione in **parallel-imaging** (necessarie bobine di superficie multicanale)
2. **3D SSFP** con impulso **inversion preparation**, che determina una soppressione del background, e che con idoneo **TI**, permette la visualizzazione del sangue arterioso che entra dall'esterno del volume sottoposto a **IR** e che arriva dentro la regione di interesse offrendo un elevato segnale arterioso. Questo è più utile per l'acquisizione di volumi più piccoli
 - a. Volume acquisito: $\sim 340 \text{ Å} \sim 300 \text{ Å} \sim 70$;
risoluzione spaziale acquisita $\sim 1.3 \text{ Å} \sim 1.3 \text{ Å} \sim 1.4$.

Raccomandata l'acquisizione in **parallel-imaging** (necessarie bobine di superficie multicanale).

MRA aorta toracica

1. Immagini di localizzazione, 3 orientamenti.
2. **Half-Fourier single shot fast spin echo** o **SSFP** (una singola apnea per l'intero torace) con orientamento para-assiale.
3. Immagini para-assiali T1 pesate **fast spin echo** acquisizioni perpendicolari all'aorta (per l'ematoma intramurale, dissezione).
4. Immagini cine **SSFP** parasagittali su un piano parallelo all'aorta e lungo la linea mediana dell'aorta. Facoltativo – uso di un pianificazione con il metodo dei 3 punti
5. Studio della valvola aortica secondo il protocollo delle valvole
6. Tempistica del mezzo di contrasto
 - a. Opzione 1 – bolo di prova - parassiale a livello dell'aorta addominale distale. Iniezione di 2 ml gadolinio, seguita da 20 ml di soluzione salina. Determinare il tempo di picco dell'**enhancement** dopo l'iniezione.
 - b. Opzione 2 – tecnica del “bolus triggering” per determinare il tempo inizio di scansione
 - c. Opzione 3 – acquisizioni rapide **3D multifase** senza sincronizzazione.
7. **3D gadolinium enhancement MRA** (0,1- 0,2 mmol / kg) (opzionale – acquisizione con **trigger ECG**)
 - a. Utilizzare una risoluzione spaziale di almeno 1-1,5 mm
 - b. Acquisizione di **parallel imaging** se disponibile
 - c. Almeno 2 acquisizioni dopo l'iniezione di contrasto
8. Opzionale – para-assiale pesata in T2 **gradient eco** o T1-pesate **gradient-echo** post-contrasto per l'aortite
9. Opzionale - si veda la sezione 3.2.1 (**MRA** periferico) per le tecniche di **MRA** senza contrasto

Valutazione delle anomalie delle arterie coronarie

1. Protocollo per la morfologia e funzione del ventricolo sinistro per cercare anomalie della cinetica di parete

- a. Aggiungere una proiezione asse lungo orizzontale con alta risoluzione temporale (≤ 20 ms per fase) per determinare con precisione il periodo di “immobilità” dell'arteria coronaria destra
2. Sequenza **Navigator-gated, 3D-MRA** in respiro libero:
 - a. Fette para-assiali che vanno da un piano passante per l'arteria polmonare prossimale fino al centro dell'atrio destro (eventualmente coprire l'intero cuore). Spessore fetta 1-1,5 mm; risoluzione spaziale bidimensionale di 1,0 mm o meno.
 - b. Fette- tipicamente 50-80, necessarie per includere i vasi di interesse.
 - c. Regolare il **trigger-delay** e le finestra di acquisizione secondo il periodo osservato di immobilità coronarica.
 - d. Preferenzialmente usare un'acquisizione in **parallel imaging**
 - e. Navigatore posizionato sull'emidiaframma destro.
 - f. Opzionale - usare il gadolinio per incrementare l'efficacia del **navigator**
3. Facoltativo –
 - a. Tecniche in apnea se scarsa qualità delle immagini o se non disponibile il navigator o se di scarsa qualità.
 - b. Sequenza T2 pesata potrebbe essere utile.

Valutazione delle vena polmonari - pre- e post-ablazione

1. Protocollo per la morfologia e funzione del ventricolo sinistra.
2. **3D MRA** con mdc in apnea eseguita nella proiezione coronale che comprende le vene polmonari e atrio sinistro (se l'apnea lo permette anche una maggiore copertura anteriore).
 - a. Opzionale - piani obliqui centrati sulle vene polmonari permettono di ridurre lo spessore dello “**slab**” e anche il tempo di apnea attesa ma a scapito di una minor copertura dell'atrio sinistro.
 - b. Opzionale - **ECG-gating**. Quando paziente ha un ritmo irregolare, la ricostruzione deve essere sincronizzata con la sistole (cioè senza **trigger delay**).
 - c. 2-3 acquisizioni volumetriche - una pre-contrasto (per sottrazione), una durante il primo passaggio di contrasto, una (opzionale) dopo la somministrazione di contrasto.
 - d. Gadolinio (0,1-0,2 mmol / kg) iniettato a 2-3 ml / s
 - e. Spessore di fetta 1-2 mm; risoluzione spaziale bidimensionale 1-1,5 mm
 - f. Fette - tipicamente 60-80, quelle necessarie per coprire la regione di interesse.
 - g. Acquisizione in **parallel-imaging** se disponibile
3. Opzionale – **phase contrast “through plane”** di ogni vena polmonare.

Venografia coronarica

1. **Navigator-gated, IR 3D MRA** in apnea
 - a. Fette para-assiali che vanno dall'arteria polmonare principale fino a metà dell'atrio destro (eventualmente intera copertura cardiaca). Spessore di fetta 1-1.5 mm; risoluzione spaziale bidimensionale minore di 1.0 mm.
 - b. Fette - tipicamente 110-130, quelle necessarie per includere i vasi di interesse.
 - c. Regolare il **trigger-delay** e la finestra di acquisizione in telesistole (quando il diametro della vena è massimo) o in alternativa nel periodo mesodiastolico di immobilità, tipica durata di acquisizione 60-90 ms per battito.
 - d. Preferibile un'acquisizione **parallel imaging**.
 - e. Soppressione del grasso.
 - f. Navigator posizionato sull'emidiaframma destro.
 - g. Nessuna preparazione T2 **prepulse**, ma **Inversion prepulse** (determinare il tempo di inversione prima della scansione utilizzando un **TI-scout** o una sequenza Look-Locker).
 - h. Acquisire dopo la somministrazione di mezzo di contrasto

Altro

Cardiomiopatie LV non ischemica, miocardite inclusa

1. Protocollo per la morfologia e funzione del ventricolo sinistro
2. Opzionale – protocollo per la caratterizzazione tissutale avanzata
3. Opzionale – solo per la miocardite

Early gadolinium enhancement ratio –

immagini T1 pesate prima e dopo il gadolinio per la misura della variazione dell'intensità del segnale nel miocardio rispetto al muscolo scheletrico.

4. Protocollo **Late Gadolinium Enhancement**
5. Opzionale – Perfusioni a riposo e da stress con adenosina o con dobutamina ad alte dosi (vedere Protocolli di stress per i metodi e controindicazioni) per valutare la presenza o l'assenza di ischemia poiché una cardiomiopatia mista può essere presente.

Cardiomiopatia ipertrofica

1. Protocollo per la morfologia e funzione del ventricolo sinistro
2. Imaging di **Phase contrast** del **LVOT** e **cine SSFP** in proiezione 3 camere per la valutazione della turbolenza di flusso e del movimento sistolico anteriore della valvola mitrale o di corde tendinee, e la misura della velocità e del gradiente se presente
3. Opzionale – considerare il protocollo di caratterizzazione tissutale avanzata
4. Opzionale – considerare il protocollo di stress perfusione con vasodilatatori
5. Protocollo **Late Gadolinium Enhancement**

Cardiomiopatia aritmogena del ventricolo destro

Protocollo per la morfologia e funzione del ventricolo sinistro

1. immagini para-assiali o oblique **cine SSFP** (spessore di fetta 5-6 mm) in modo da coprire il ventricolo destro, compreso il tratto di efflusso. E' raccomandata l'acquisizione di Una immagine asse lungo verticale allineato con **l'inflow** tricuspidalico.
2. sequenze opzionali
 - a. immagini a sangue nero para-assiali o oblique (**double inversion recovery** T1-pesate **fast spin echo**)
 - b. Ripetere le stesse immagini con la soppressione del grasso
 - c. Protocollo **Late Gadolinium Enhancement** nelle stesse proiezioni. Considerare il TI in grado di annullare il segnale del ventricolo destro.

Malattia valvolare

I pazienti con valvole artificiali possono essere sottoposti in tutta sicurezza a RMC con macchinari a 1,5 e 3 Tesla. La forza generata dal cuore pulsante è di gran lunga superiore alla forza esercitata dal campo magnetico.

1. Protocollo per la morfologia e funzione del ventricolo sinistro.
 - a. Utilizzare proiezioni asse lungo orizzontale per valutare l'anatomia delle valvole mitrale e tricuspide e la presenza di turbolenza .
 - b. Utilizzare vista **LVOT** per la mitrale e valvola aortica.
 - c. Usare la proiezione asse lungo verticale per la valvola mitrale.
 - d. Proiezione coronale per la valvola aortica
 - e. Altre viste (asse lungo ventricolare destro, tratto di efflusso ventricolare destro quando necessario).
1. Argomenti specifici
 - a. Valutazione della morfologia valvolare con **cine SSFP** nel piano della valvola in questione. Deve essere prestata

attenzione nell'ottimizzare la posizione e l'angolo delle immagini.

- b. Nota - se deve essere effettuata la misura planimetrica di una valvola stenotica, è raccomandata l'acquisizione di un set di immagini parallele o leggermente sovrapposte ad alta risoluzione perpendicolari alla lunghezza del jet di eiezione e che si estendono dall'orifizio al piano immediatamente a valle di esso. La misura planimetrica ha più probabilità di essere corretta quando la sezione trasversa dell'orifizio, o del jet, ben delineata. Questo non è sempre possibile in presenza di Jet obliqui o frammentati.
- c. Immagini **Gradient-echo** o **hybrid gradient-eco/echo planar** possono visualizzare il jet di rigurgito con una maggiore sensibilità (per valutazioni solo qualitative).
- d. Nell'insufficienza mitralica o tricuspidaica, si raccomanda l'acquisizione di un set di immagini cine parallele di 5 mm allineate nella direzione dell'afflusso valvolare e perpendicolari alla principale linea di coaptazione passando dalla commissura superiore alla inferiore. L'orientamento può essere quello del piano **LVOT** per la mitrale e para-assiale per la tricuspide. Questo set di immagini consente la valutazione del tethering, del prollasso o della insufficienza attraverso gli "scallop" di entrambi i lembi mitralici.
- e. Adattare la **Encoded Velocity** alla velocità attuale (usando la velocità più bassa ottenibile senza **aliasing**).

Utilizzare il **TE** più basso possibile per i jet ad alta velocità.

Malattia pericardico

1. Protocollo per la morfologia e funzione del ventricolo sinistro.
2. Immagini **Fast Spin echo** T1 o T2
 - a. 2-3 immagini asse lungo rappresentative e 3-4 immagini asse corto rappresentative per misurare lo spessore pericardico (normale ≤ 3 mm)
 - b. Se si sospetta una cisti pericardica, fare riferimento al protocollo dello studio delle masse
3. Opzionale - Se le regioni si sono osservate regioni di pericardio ispessito - immagini **tagging** T1 pesate **gradient-echo** del miocardio per dimostrare la presenza o assenza di "slippage" epicardico/pericardico (2-3 immagini asse lungo e 1-2 immagini asse corto)
4. Immagini **real-time** acquisite durante le manovre di respirazione dinamica sono preziose per la valutazione dell'interdipendenza ventricolare
 - a. è da preferirsi un piano asse corto medio-ventricolare
 - b. la risoluzione temporale delle immagini cine deve essere preferibilmente inferiore a 60 ms

- c. I pazienti devono essere istruiti ad effettuare respiri con profondo espirio e inspirio e il periodo di imaging totale deve essere di almeno 2 cicli respiratori completi
 - d. l'evidenza di movimento settale anomalo (appiattimento o inversione del setto nella proto-diastole) durante l'inspirazione è specifico di una fisiologia cardiaca di tipo costrittivo
5. Protocollo **Late Gadolinium Enhancement**. L'acquisizione con e senza saturazione del grasso è utile per distinguere l'infiammazione del pericardio dal grasso epicardico o pericardico

Masse cardiache e paracardiache, tra cui trombi

1. Protocollo per la morfologia e funzione del ventricolo sinistro.
2. **Fast Spin Echo** T1 pesata - fette orientate lungo la massa e lungo le strutture circostanti (il numero di fette dipende delle dimensioni della massa)
3. **Fast Spin Echo** T2 pesata con soppressione del grasso (opzionale - senza soppressione del grasso) - lungo la massa e le strutture circostanti come sopra. Vedere le cardiomiopatie non ischemiche per i dettagli della sequenza.
4. Protocollo di perfusione di primo passaggio con le fette posizionate lungo la massa.
5. Ripetere **Fast Spin Echo** T1 pesata con soppressione del grasso
6. (Opzionale) ripetere alcune selezionate immagini **cine SSFP** post contrasto
7. Protocollo **Late Gadolinium Enhancement**
 - a. Le immagini col T1 impostato per annullare il trombo (circa 500-550 ms, 850-900 ms a 3T) contribuiscono a differenziare una formazione trombotica da un tumore e a delineare una stratificazione trombotica circostante o associata al tumore.
 - b. Immagini ripetute nel tempo possono aiutare a distinguere un tumore con core necrotico ipoperfuso da un trombo.

SEZIONE ABBREVIAZIONI E TERMINI: Nota: I nomi delle sequenze rimaste senza traduzione in convenzione spagnola per mantenere il significato originale.

Termini (in ordine di apparizione nel testo)	Inglese	Italiano
Shimming	Shimming	Shimming
SNR	Signal to noise ratio	Rapporto segnale/rumore
SSFP	Steady state free precession	Nome della sequenza
SAR	Specific absorption rate	Tasso di assorbimento specifico

MRI safety	Magnetic Resonance Imaging safety	Sicurezza in risonanza magnetica	Time-resolved MRA	Time-resolved MRA	Nome della sequenza
NSF	Nephrogenic systemic fibrosis	Fibrosi sistemica nefrogenica	3D fast-spin-echo	3D fast-spin-echo	Nome della sequenza
FSE	Fast Spin Echo	Nome della sequenza	3D SSFP	3D SSFP	Nome della sequenza
Single-shot	Single-shot	Nome della sequenza	IR	Inversión Recuperación	Nome della sequenza
Spoiled gradient-echo	Spoiled gradient-echo	Nome della sequenza	Fast spin echo T1-W	Fast spin echo T1-W	Nome della sequenza
TR	Time to repetition	Tempo di ripetizione	3-point piloting	3-point piloting	Tecnica dei 3 punti
LVOT	Left ventricular out-flow tract	Tratto di efflusso del ventricolo sinistro	T2-W gradient echo	T2-W gradient echo	Nome della sequenza
Hybrid gradient echo-Echo planar (GRE-EPI)	Hybrid gradient echo-Echo planar (Gradient Recalled Echo-Echo Planar Imaging)	Nome della sequenza	T1-W gradient echo	T1-W gradient echo	Nome della sequenza
GRE	Gradient Recalled Echo	Nome della sequenza	Look-Locker	Look-Locker	Nome della sequenza
Phase-Sensitive (PSIR)	Phase-Sensitive (Phase Sensitive Inversion Recovery)	Nome della sequenza	Double inversion recovery T1-weighted fast spin echo	Double inversion recovery T1-weighted fast spin echo	Nome della sequenza
MRA	Magnetic Resonance Angiography	Angiografia con Risonanza Magnetica	Gradient echo	Gradient echo	Nome della sequenza
bSSFP	balanced Steady State Free Precession	Nome della sequenza	Hybrid gradient echo/echo planar imaging	Hybrid gradient echo/echo planar imaging	Nome della sequenza
CE-MRA	Contrast Enhanced – MRA	Angiografia con Risonanza Magnetica con mezzo di contrasto	T1-W gradient echo myocardial tagged	T1-W gradient echo myocardial tagged	Nome della sequenza
T2	Relaxation time T2		Real-time	Real-time	Nome della sequenza
One-direction (“through-plane”) motion encoded cine gradient echo	One-direction (“through-plane”) motion encoded cine gradient echo	Angiografia con Risonanza Magnetica	T1-W fast spin echo	T1-W fast spin echo	Nome della sequenza
V_{enc}	Velocity encoding	Nome della sequenza	T2-W fast spin echo	T2-W fast spin echo	Nome della sequenza
Aliasing	Aliasing	Aliasing	T1-W turbo spin echo	T1-W turbo spin echo	Nome della sequenza
TE	Time to Echo	Tempo di echo			
T2-W	T2- weighted	Nome della sequenza			
T2-W STIR (Short Tau Inversion Recovery)	T2-W STIR (Short Tau Inversion Recovery)	Nome della sequenza			
T2 prepared single-shot SSFP.	T2 prepared single-shot SSFP.	Nome della sequenza			
Hybrid turbo spin echo-steady state free precession	Hybrid turbo spin echo-steady state free precession				
T2 mapping	T2 mapping				
T2 prepared single-shot SSFP	T2 prepared single-shot SSFP	Nome della sequenza			
T2 prep time	T2 preparation time	T2 prep time			
T1 mapping	T1 mapping	T1 mapping T2 mapping			
Look Locker imaging (MOLLI or SHMOLLI)	Look Locker imaging (MOLLI or SHMOLLI)	Nome della sequenza			
T2*	T2*	T2*			
Time-of-flight MRA	Time-of-flight MRA	Nome della sequenza			
Single-shot bolus tracking	Single-shot bolus tracking	Nome della sequenza			
Bolus trigger	Bolus trigger	Nome della sequenza			
Stepping-table, gadolinium-enhanced MRA	Stepping-table, gadolinium-enhanced MRA	Angiografia con risonanza magnetica con tecnica “stepping table”			
Elliptical centric k-space	Elliptical centric k-space	Nome della sequenza			
Time-resolved	Time-resolved	Nome della sequenza			

Competing interests

Christopher Kramer MD - Research support from Siemens Healthcare, Novartis, Consultant for Synarc, St. Jude Medical.

Jörg Barkhausen MD - none.

Scott Flamm MD - Institutional research support from Siemens Healthcare and Philips Healthcare. Advisory Board for Bayer Healthcare, TeraRecon and Circle Cardiovascular.

Raymond Kim MD - Inventor on a US patent owned by Northwestern University concerning delayed contrast-enhanced MRI to diagnose myocardial viability and infarction, Co-founder, HeartIT, LLC, Educational grant, Siemens Medical Solutions, Consultant: Bayer, Veimedix, St. Jude Medical.

Eike Nagel MD - Research support from Philips Healthcare and Bayer Healthcare.

Authors' contributions

CMK: wrote protocols, edited protocols, edited manuscript, corresponding author. JB: wrote protocols, edited protocols, edited manuscript. SDF: wrote protocols, edited protocols, edited manuscript. RJK: wrote protocols, edited protocols, edited manuscript. EN: wrote protocols, edited protocols, edited manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Author details

¹Departments of Medicine and Radiology, University of Virginia Health System, Lee Street, Box 800170, Charlottesville, VA 22908, USA. ²Department for Radiology, University Hospital Schleswig-Holstein, Lübeck, Germany.

³Imaging Institute, and Heart and Vascular Institute, Cleveland Clinic,

Cleveland, OH, USA. ⁴Duke Cardiovascular Magnetic Resonance Center, Duke University Medical Center, Durham, NC, USA. ⁵Division of Imaging Sciences, King's College, London, United Kingdom.

Received: 19 September 2013 Accepted: 19 September 2013
Published: 8 October 2013

References

1. Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E. Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols, society for cardiovascular magnetic resonance: board of trustees task force on standardized protocols. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2008; **10**:35.
2. Hundley WG, Bluemke D, Bogaert JG, Friedrich MG, Higgins CB, Lawson MA, et al. Society for cardiovascular magnetic resonance guidelines for reporting cardiovascular magnetic resonance examinations. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2009; **11**:5.
3. Schulz-Menger J, von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Bluemke DA, Bremerich J, Flamm SD, Fogel MA, et al. Standardized post processing in cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2013; **15**:35.
4. Fratz S, Chung T, Greil GF, Samyn MM, Taylor AM, Buechel ERV, et al. Guidelines and protocols for cardiovascular magnetic resonance in children and adults with congenital heart disease: SCMR expert consensus group on congenital heart disease. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2013; **15**:51.

doi:10.1186/1532-429X-15-91

Cite this article as: Kramer et al.: Standardized cardiovascular magnetic resonance (CMR) protocols 2013 update. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* 2013 **15**:91.

Submit your next manuscript to BioMed Central
and take full advantage of:

- Convenient online submission
- Thorough peer review
- No space constraints or color figure charges
- Immediate publication on acceptance
- Inclusion in PubMed, CAS, Scopus and Google Scholar
- Research which is freely available for redistribution

Submit your manuscript at
www.biomedcentral.com/submit

