

Guida alla scelta di un'apparecchiatura per l'esecuzione di esami di risonanza magnetica cardiovascolare: le caratteristiche minime

Amedeo Chiribiri¹, Luigi Natale², Massimo Lombardi³, per il Gruppo di Studio sulla Risonanza Magnetica Cardiovascolare della Società Italiana di Cardiologia

¹Dipartimento di Medicina Interna, Università degli Studi, Torino, ²Istituto di Radiologia, Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma, ³Laboratorio di Risonanza Magnetica, Istituto di Fisiologia Clinica del CNR, Pisa

Key words:
Cardiovascular imaging;
Magnetic resonance.

Magnetic resonance imaging has become an important and sophisticated tool for non-invasive evaluation of patients with known or suspected cardiovascular disease. These technical capabilities have determined in many hospitals and universities the need for purchasing magnetic resonance scanners capable of executing cardiovascular examinations. Unfortunately, due to the complexity of the devices and the number of different possible hardware and software configurations offered by the vendors, never the choice between one scanner and the other or between one configuration and the other is easy. The aim of this review is to analyze the different components of a magnetic resonance scanner, identifying the minimum hardware and software requirements needed to perform cardiovascular examinations, in order to provide the physician or the hospital administrator interested in buying a scanner with some directions to make an informed choice.

(G Ital Cardiol 2010; 11 (3): 195-208)

© 2010 AIM Publishing Srl

Ricevuto il 9 ottobre 2008; nuova stesura il 9 marzo 2009; accettato il 12 marzo 2009.

Per la corrispondenza:

Dr. Amedeo Chiribiri

Dipartimento di
Medicina Interna
Università degli Studi
Corso Dogliotti, 14
10126 Torino

E-mail: amedeo.chiribiri@gmail.com

Introduzione

Scopo di questo documento, redatto dal Gruppo di Studio sulla Risonanza Magnetica Cardiovascolare della Società Italiana di Cardiologia, è fornire alle figure professionali potenzialmente interessate una breve guida per l'identificazione delle caratteristiche minime di un'apparecchiatura di risonanza magnetica (RM) da utilizzare per l'esecuzione di esami cardiovascolari.

Il documento è organizzato in maniera tale da analizzare i singoli sistemi che compongono un'apparecchiatura RM, identificando le caratteristiche minime di ciascuno. Le tabelle forniscono una visione sinottica dei prodotti in questo momento offerti dai maggiori produttori di sistemi di RM. La rassegna si limita ad elencare le caratteristiche minime delle varie componenti per aiutare chi ancora non è addentro alle problematiche tecniche specifiche, qualche volta esclusive, della RM cardiaca. Non sono quindi presi in esame aspetti più complessi come lo studio del metabolismo cardiaco, o gli studi RM con stress farmacologico, o i protocolli di ricerca metodologica, che sono possibili solo utilizzando le apparecchiature più alte di gamma.

Non è intenzione del Gruppo di Studio sulla Risonanza Magnetica Cardiovascolare della Società Italiana di Cardiologia suggerire l'acquisto né pubblicizzare alcuno specifico prodotto o marchio. Scopo di questo lavoro è di

fornire al medico gli elementi utili per fare una scelta ragionata delle apparecchiature da acquisire al fine di ottimizzare l'investimento da compiere in base alla prevista attività clinica. Le Appendici 1 e 2 riportano inoltre una lista degli acronimi usati in risonanza magnetica cardiovascolare dai diversi produttori di sistemi, al fine di facilitare la comparazione tra le funzioni offerte dalle diverse apparecchiature.

Componenti di un sistema di risonanza magnetica¹⁻¹⁰

Un sistema per l'esecuzione di esami RM è schematicamente costituito da un magnete, da un sistema a radiofrequenza (RF), da una bobina di ricezione del segnale e da un sistema per la generazione di gradienti del campo magnetico. Inoltre, l'apparecchiatura deve essere equipaggiata con altre parti, come sistemi di monitoraggio del paziente e dispositivi di sicurezza, e può essere dotata di particolari tipi di sequenze, cioè di programmi di acquisizione delle immagini dedicati a specifiche applicazioni, sulla base delle caratteristiche hardware e delle licenze d'uso eventualmente acquistate dall'utente.

Magnete¹¹⁻¹³ (Tabella 1)

Il magnete costituisce l'elemento fondamentale e di maggiori dimensioni di un sistema di RM. Crea e mantiene un campo magnetico statico di intensità sufficiente a provocare l'al-

Chiave di Lettura

Ragionevoli certezze. La risonanza magnetica (RM) cardiovascolare si è affermata negli ultimi anni come una metodica diagnostica affidabile e non invasiva per la valutazione dell'apparato cardiovascolare. L'intrinseca versatilità della metodica permette l'acquisizione di immagini in ogni direzione dello spazio, con un'elevatissima risoluzione spaziale e temporale, con la capacità di eseguire indagini dinamiche e durante stress farmacologico, e con la capacità di sfruttare differenti tipi di contrasto tra tessuti. Per questi motivi il numero di richieste d'esame è in costante aumento e molte strutture sanitarie hanno in programma l'acquisizione di moderne apparecchiature. Ogni applicazione clinica può però richiedere programmi (le sequenze) e componenti hardware specifici, che assumono differenti denominazioni a seconda del produttore esaminato.

Questioni aperte. L'elevato numero di opzioni hardware e software offerte dai produttori rendono la scelta dell'apparecchiatura RM alquanto difficile, in quanto la selezione delle opzioni da acquistare dipende essenzialmente dal tipo di utilizzo clinico previsto per l'apparecchiatura.

Le ipotesi. Scopo del documento è di fornire al medico gli elementi utili per fare una scelta ragionata delle apparecchiature da acquisire, al fine di ottimizzare l'investimento da compiere in base alla prevista attività clinica. Il testo è strutturato in maniera tale da analizzare i singoli sistemi che compongono un'apparecchiatura RM, identificando le caratteristiche minime di ciascuno e fornendo un'indicazione su quali siano le funzioni indispensabili all'esecuzione di un esame RM cardiovascolare, e di quali siano le funzioni desiderabili nel caso in cui l'apparecchiatura abbia anche uno scopo di ricerca. Le tabelle forniscono una visione sinottica dei prodotti in questo momento offerti dai maggiori produttori di sistemi di RM.

lineamento dei protoni che costituiscono i nuclei degli atomi di idrogeno e a causare il fenomeno della risonanza dei nuclei al momento dell'erogazione della RF. Il campo è misurato in Tesla (T) e la sua intensità determina la frequenza di risonanza dei nuclei di idrogeno secondo l'equazione di Larmor e di conseguenza la massima ampiezza di banda del segnale (correlata alla velocità e alla quantità delle informazioni che possono essere acquisite dall'apparecchiatura) e il rapporto segnale/rumore (correlato alla qualità del segnale che è possibile acquisire).

Prerequisito a una buona qualità dell'immagine è un'elevata omogeneità del campo magnetico statico (misurata in parti per milione).

Attualmente sono utilizzati nell'ambito cardiovascolare dispositivi con magneti da 1 a 3T, anche se in realtà il maggior numero di apparecchiature installate è costituito da magneti con campo da 1.5T, mentre le unità da 1T o da 3T rappresentano solo una minoranza. Recentemente sono state introdotte sul mercato nuove unità con campo magnetico statico di 1T e magneti aperti (Philips Panorama 1.0T, Best, Olanda). Tale apparecchiatura offre un pacchetto completo di sequenze per applicazioni cardiovascolari, analogamente ai modelli da 1.5T e 3T dello stesso produttore. Nonostante i vantaggi dell'utilizzo di magneti aperti con campo magnetico verticale, disegnati al fine di minimizzare il rischio di episodi di claustrofobia, alcune limitazioni nelle prestazioni del sistema dei gradienti di campo e la mancanza di una bobina di ricezione dedicata

agli studi cardiaci (cfr. più avanti) suggeriscono di acquistare scanner di questo tipo come valida alternativa in caso di installazione di un secondo o terzo scanner in siti già equipaggiati con magneti da 1.5T di ultima generazione.

Esistono parecchie limitazioni nell'uso anche delle apparecchiature dotate di magneti ad altissimo campo, come per le unità cardiovascolari da 3T. Infatti tali apparecchiature offrono talvolta una scarsa qualità dell'immagine con alcuni tipi di sequenze, come ad esempio con le sequenze cine di tipo *balanced*. D'altra parte le apparecchiature equipaggiate con magneti da 3T offrono i migliori livelli di rapporto segnale/rumore, il che garantisce per altri tipi di sequenze la maggiore qualità delle immagini (sequenze di perfusione, di impregnazione tardiva, di *tagging*). Per questi motivi le unità da 3T potrebbero rappresentare la scelta migliore come seconda o terza unità in siti già equipaggiati con magneti da 1.5T dell'ultima generazione, e soprattutto per il momento dovrebbero essere considerate principalmente per scopi di ricerca. Inoltre, è indispensabile ricordare che, a causa dell'intensità di campo, problemi di tipo normativo potrebbero complicare l'installazione di tali dispositivi e limitarne l'uso clinico. Il Gruppo di Studio raccomanda a tale proposito un consulto preventivo con il servizio di fisica medica del proprio ospedale, con l'Istituto Superiore di Sanità e con l'Istituto per la Prevenzione e Sicurezza sul Lavoro (ISPESL).

Per questi motivi, al momento della pubblicazione di questo documento, il Gruppo di Lavoro raccomanda di considerare l'acquisto di apparecchiature da 1.5T qualora lo scopo principale della nuova apparecchiatura sia di eseguire studi cardiovascolari.

Alcune apparecchiature da 1.5T offrono la possibilità di un incremento futuro dell'intensità del campo a 3T, nel caso in cui ciò fosse richiesto per nuove applicazioni (Philips Achieva XR 3T, Best, Olanda). Deve però essere sottolineato che il costo di tali apparecchiature è maggiore già in fase di prima installazione e, in ogni caso, dovrebbero essere messi in conto anche i costi da sostenere al momento dell'intervento per l'incremento di campo. Al momento il Gruppo di Studio non formula pertanto alcuna raccomandazione a proposito di tali apparecchiature.

Sistema a radiofrequenza (Tabella 2)

Il sistema RF è progettato per trasmettere energia, sotto forma di onde radio, ai tessuti (mediante le bobine di trasmissione), allo scopo di sfruttare il fenomeno della RM e di portare i nuclei di idrogeno – che, quando sottoposti a un intenso campo magnetico, si comportano come minuscole antenne in grado di assorbire parte dell'energia trasmessa dall'apparecchiatura – a uno stato energetico più elevato. Una volta terminata la stimolazione, una piccola parte dell'energia assorbita sarà restituita dai tessuti, costituendo il segnale registrato dalle bobine di ricezione. Ogni bobina può essere potenzialmente utilizzata come antenna di trasmissione o di ricezione del segnale. La bobina che trasmette ai tessuti la RF è costituita dalla cosiddetta *body coil*, bobina fissa posta all'interno del tunnel dello scanner, utilizzata in alcune applicazioni anche come antenna (o bobina) di ricezione del segnale.

Bobina di ricezione (Tabella 3)

La bobina di ricezione è l'antenna con cui il sistema registra i segnali emessi dai tessuti in risposta all'energia trasmessa dal sistema RF, come descritto nel paragrafo precedente.

Tabella 1. Caratteristiche tecniche rilevanti dei magneti disponibili per applicazioni di risonanza magnetica cardiovascolare.

	GE Signa Excite HD 1.5T	GE Signa HDx 1.5T	Philips Achieva 1.5T	Philips Intera 1.5T	Siemens MAGNETOM Avanto	Toshiba Excelart 1.5T	Toshiba Vantage Atlas 1.5T
Intensità di campo	1.5T	1.5T	1.5T	1.5T	1.5T	1.5T	1.5T
Tipo di magnete	Superconduttivo	Superconduttivo	Superconduttivo	Superconduttivo	Superconduttivo	Superconduttivo	Superconduttivo
Lunghezza del magnete	172 cm	172 cm	157 cm	157 cm	150 cm	140 cm	140 cm
N. avvolgimenti di superconduttore	6	6	6	6	7	7	7
Omogeneità di campo (parti per milione, ppm)	2 ppm a 48 cm	2 ppm a 48 cm	0.75 ppm (solitamente 0.5 ppm) a 45x50x50	0.75 ppm a 45x50x50	1.5 ppm (solitamente 0.8 ppm) a 50 cm	2 ppm a 50 cm	2 ppm a 50 cm
Shim del campo	0.97 ppm a 45 cm	0.97 ppm a 45 cm	0.6 ppm (solitamente 0.45 ppm) a 45 cm	0.6 ppm a 45 cm	1 ppm (solitamente 0.4 ppm) a 45 cm	1 ppm a 40 cm	1 ppm a 40 cm
Shim del campo individualizzato per ogni singolo paziente	Passivo e attivo Si, con 3 canali lineari e 5 addizionali (solo con gradienti Twin-speed, opzione High-Order Shim)	Passivo e attivo Si, con 3 canali lineari e 5 addizionali (solo con gradienti Twin-speed, opzione High-Order Shim)	Passivo e attivo Si, 3 canali lineari e 5 addizionali opzionali	Passivo e attivo Si, 3 canali lineari	Passivo e attivo Si, 3 canali lineari (standard) e 5 di secondo ordine opzionali (Advanced Shim Option)	Passivo e attivo Si, 3 canali lineari principali e 5 secondari (opzionali, High Order Shim Kit)	Passivo e attivo Si, 3 canali lineari principali e 5 secondari (opzionali, High Order Shim Kit)
Consumo di olio	0.03 l/h	0.03 l/h	0.03 l/h	0.03 l/h	0 l/h (tecnologia "zero boil-off")	0.05 l/h	0.05 l/h

Tabella 2. Caratteristiche tecniche rilevanti dei sistemi di radiofrequenza (RF) disponibili per applicazioni di risonanza magnetica cardiovascolare.

	GE Signa Excite HD 1.5T	GE Signa HDx 1.5T	Philips Achieva 1.5T	Philips Intera 1.5T	Siemens MAGNETOM Avanto	Toshiba Excelart 1.5T	Toshiba Vantage Atlas 1.5T
Tecnologia amplificatore RF	Stato solido	Stato solido	Stato solido	Stato solido	Stato solido	ND	ND
Potenza di trasmissione in RF	21 kW	21 kW	18 kW	18 kW	15 kW	20 kW	20 kW
Ampiezza di banda in ricezione	1 MHz	1 MHz	3 MHz	1 MHz	1 MHz	409.2 kHz	409.2 kHz
N. canali RF digitali indipendenti	4 standard	8 standard	8 standard	4 versione a basso costo	8 con bobina Tim [32x8]	4 standard	16 standard
	8 opzionali	16 opzionali	16 opzionali	6 standard	18 con bobina Tim [76x18]	8 opzionali	32 opzionali
	16 opzionali	32 opzionali	32 opzionali	32 con bobina Tim [76x32]			

Esistono diversi tipi di bobine, disegnate in maniera specifica sulla base del distretto anatomico da esaminare.

I materiali che costituiscono la bobina e la geometria dei suoi elementi condizionano pesantemente il rapporto segnale/rumore e quindi la qualità e la velocità di acquisizione delle immagini. Le prestazioni delle tecnologie di acquisizione parallela utilizzate dalle moderne apparecchiature RM, essenziali per ottenere immagini di ottima qualità in tempi compatibili con l'apnea respiratoria richiesta nell'acquisizione di molte sequenze cardiache, dipendono dal numero degli elementi che costituiscono la bobina (tali elementi sono solitamente identificati dalle ditte produttrici come "canali"). Diversi solenoidi uniti in un unico dispositivo costituiscono le bobine di tipo *phased-array*, quelle più frequentemente utilizzate. Il numero di solenoidi presenti nella bobina è pari al numero di canali della bobina stessa. A parità di altre condizioni, più alto è il numero di canali, maggiore sarà la velocità di acquisizione delle immagini, ma al costo di una progressiva diminuzione del rapporto segnale/rumore. Le bobine di tipo *phased-array* permettono l'acquisizione di immagini ad alta risoluzione (parametro che dipende direttamente dal comportamento del singolo canale della bobina), con una vista (*field of view*) ampia, ricostruita dalla somma delle singole viste offerte dai singoli canali secondo algoritmi che possono variare secondo la ditta produttrice.

Alcuni produttori di apparecchiature RM producono e commercializzano bobine cardiache specifiche, mentre altri offrono bobine studiate per analizzare contemporaneamente tutto il torace. Il Gruppo di Studio raccomanda la scelta di bobine di tipo *phased-array* con almeno quattro canali, meglio se disegnate specificamente per applicazioni cardiovascolari.

Sistema dei gradienti di campo (Tabella 4)

Le caratteristiche del sistema dei gradienti di campo influenzano grandemente la qualità delle immagini acquisite, il tipo di sequenze che è possibile utilizzare sull'apparecchiatura RM e la velocità di acquisizione. Tale sistema è studiato e progettato per creare rapide e transitorie variazioni del campo magnetico all'interno dell'apparecchiatura RM. L'attivazione di questo sistema è necessaria per la codifica dei segnali in fase e in frequenza e per sincronizzare la fase dei nuclei di idrogeno eccitati, allo scopo di ottenere un segnale registrabile (sequenze *gradient-echo*). Le caratteristiche di funzionamento del sistema dei gradienti di campo possono essere misurate sia in termini di ampiezza massima della deflessione del campo magnetico (mT/m) sia in termini di velocità di deflessione del campo magnetico (*slew rate*: T/m/s). Gradienti più potenti permettono una maggiore risoluzione spaziale per ogni tipo di sequenza, un rapporto segnale/rumore maggiore e una migliore risoluzione temporale per le sequenze cinetiche.

Sulla base dei dati pubblicati in letteratura negli ultimi anni, il Gruppo di Lavoro suggerisce di adottare apparecchiature con ampiezza massima dei gradienti non inferiore a 33 mT/m. Uno *slew rate* di almeno 90 T/m/s è richiesto per l'uso delle sequenze cardiologiche più semplici e il Gruppo di Studio suggerisce l'acquisto di sistemi con *slew rate* ≥ 100 T/m/s. È comunque da tener presente che i risultati migliori si ottengono con gradienti più potenti (>40 mT/m e *slew rate* >150 T/m/s) e che immagini di qualità inferiori sono inevitabili con apparecchiature meno performanti. A tale proposito, le unità da 1T a magnete aperto presentano ancora

alcune limitazioni, essendo riportati valori di ampiezza massima di 26 mT/m e di *slew rate* di 65-80 T/m/s.

Sistemi di monitoraggio del paziente e dispositivi di sicurezza (Tabella 5)

I pazienti cardiopatici o sospetti tali dovrebbero sempre essere esaminati nelle condizioni di maggiore sicurezza, poiché il loro stato clinico durante l'esecuzione dell'esame RM potrebbe subire rapide e imprevedibili variazioni, soprattutto quando si tratti di esami condotti durante stress farmacologico. Il monitoraggio dei parametri vitali è obbligatorio, anche se la registrazione di tracce elettrocardiografiche potrebbe essere problematica a causa dell'interferenza del campo magnetico statico, dei gradienti e del sistema RF. A tale proposito sono da preferirsi sistemi di monitoraggio del ritmo cardiaco basati sulla tecnica vectorcardiografica, meno sensibile alle interferenze dovute all'acquisizione delle immagini. Il tracciato elettrocardiografico inoltre non potrà essere utilizzato in nessun caso per la diagnosi di ischemia in corso di studi con stress farmacologico.

La sincronizzazione con il ritmo cardiaco è essenziale per l'esecuzione di studi cardiaci. In casi estremi in cui sia impossibile acquisire una traccia elettro- o vectorcardiografica adeguata, dovrebbe essere possibile sincronizzare l'acquisizione delle immagini mediante pulsiossimetro.

Durante lo svolgimento di studi con stress farmacologico è inoltre indispensabile monitorare l'andamento della pressione sanguigna. A tale scopo è necessario fornirsi di apparecchiature compatibili con il sistema di RM.

Il lettino su cui si trova il paziente deve essere facilmente rimovibile in caso di emergenza, al fine di poter procedere rapidamente alle manovre di rianimazione cardiopolmonare all'esterno della stanza del magnete. In caso di assenza di tale possibilità una barella amagnetica deve essere sempre disponibile nelle immediate vicinanze del magnete. Il personale deve essere allenato a eseguire la manovra di evacuazione e a iniziare le manovre rianimatorie entro 30 s dall'alterazione del quadro clinico (dovrebbero essere presenti almeno 2 individui che abbiano conseguito un brevetto specifico per la rianimazione cardiopolmonare).

Un carrello per le emergenze equipaggiato con tutto il necessario, compreso un defibrillatore, dovrebbe essere reperibile immediatamente al di fuori della stanza del magnete. Tutte queste accortezze organizzative diventano obbligatorie durante gli esami RM da stress.

Sequenze necessarie per l'esecuzione di indagini di risonanza magnetica cardiovascolare

Le sequenze sono i programmi che l'apparecchiatura RM può eseguire. Il susseguirsi degli impulsi di preparazione, impulsi di eccitazione, impulsi per la codifica spaziale e impulsi di lettura determinano la natura del contrasto presente nell'immagine e la risoluzione spaziale e temporale. Le sequenze sono state suddivise per chiarezza in sequenze angiografiche e in sequenze cardiache. Non tutti i tipi di sequenza sono forniti da tutte le apparecchiature. Ciò può dipendere dalle limitazioni della specifica configurazione hardware dell'apparecchiatura RM, oppure solo dal tipo di licenza d'uso acquistata insieme all'apparecchiatura.

Non è scopo di questo lavoro la descrizione delle indicazioni e dell'appropriatezza del ricorso a specifici tipi di sequenze secondo l'indicazione clinica all'esame RM.

Tabella 3. Tipi e caratteristiche delle bobine disponibili per applicazioni di risonanza magnetica cardiovascolare (ASSET, SENSE, i-PAT, SPEEDER: differenti tecnologie di acquisizione parallela).

	GE Signa Excite HD 1.5T	GE Signa HDx 1.5T	Philips Achieva 1.5T	Philips Intera 1.5T	Siemens MAGNETOM Avanto	Toshiba Excelart 1.5T	Toshiba Vantage 1.5T	Toshiba Vantage Atlas 1.5T
Bobina "body" integrata Bobina per torace e bobina cardiaca	SI 8-channel Cardiac Array 8 canali	SI 8-channel Cardiac Array 8 canali	SI SENSE Cardiac coil 5 canali	SI SENSE Cardiac coil 5 canali	SI Body Matrix + Spine Matrix 6 canali, 12 canali in combinazione con la bobina Spine Matrix	SI 4ch Flex Body Array 4 canali	SI 4ch Flex Body Array 4 canali	SI Atlas Body 16 canali, di cui 8 nella regione di interesse per gli esami cardiaci SPEEDER-compatibile
Vascolatura periferica	ASSET-compatibile 4-channel Cardiac Array 4 canali	ASSET-compatibile	SENSE-compatibile SENSE 32-channel Cardiac coil 32 canali	SENSE-compatibile SENSE 32-channel Cardiac coil only available for Achieva 32 canali	iPAT-compatibile 32-channel Body coil iPAT-compatibile PA Matrix 16 canali, può essere combinata con la bobina Body Matrix e la Spine Matrix, fino a 52 canali totali iPAT-compatibile	QD Torso Speeder 4 o 8 canali SPEEDER-compatibile	QD Torso Speeder 4 o 8 canali SPEEDER-compatibile	Atlas Body + Atlas Spine SPEEDER-compatibile
Testa, collo, distretti vascolari cerebrali	Lower Leg Array 8 o 16 canali ASSET-compatibile	Peripheral Vascular Array 12 canali	SENSE Peripheral Vascular 12 canali	SENSE Peripheral Vascular 12 canali	SENSE Peripheral Vascular 12 canali, può essere combinata con la bobina Body Matrix e la Spine Matrix, fino a 52 canali totali iPAT-compatibile	Peripheral Vascular coil 12 canali	Peripheral Vascular coil 12 canali	Atlas Body + Atlas Spine SPEEDER-compatibile
Possibilità di posizionamento contemporaneo di più bobine diverse e di combinazione di più bobine in una unica acquisizione Altre caratteristiche	No	No	No	No	SI	No	No	SI

Bobina torace leggera (950 g).
Bobine con cavi corti connessi al lettino del paziente

Tabella 4. Caratteristiche dei sistemi di gradienti disponibili per applicazioni di risonanza magnetica cardiovascolare.

	GE Signa Excite HD 1.5T	GE Signa HDX 1.5T	Philips Achieva 1.5T	Philips Intera 1.5T	Siemens MAGNETOM Avanto	Toshiba Excelart 1.5T	Toshiba Vantage 1.5T	Toshiba Vantage Atlas 1.5T
Ampiezza dei gradienti	SmartSpeed: 23 mT/m HighSpeed+: 33 mT/m EchoSpeed+: 33 mT/m	EchoSpeed+: 33 mT/m TwinSpeed Zoom mode: 50 mT/m TwinSpeed Whole-Body mode: 23 mT/m	Gradienti Pulsar HP 33 mT/m Gradienti Nova HP	Gradienti Pulsar 21 mT/m	Gradienti Q-engine 33 mT/m	Gradienti AG 30 mT/m Gradienti XG	Gradienti AGV: 30 mT/m Gradienti MG: 30 mT/m Gradienti XGV: 30 mT/m	Gradienti X: 30 mT/m Gradienti Z: 33 mT/m
Velocità dei gradienti (slew rate)	TwinSpeed Zoom mode: 50 mT/m TwinSpeed Whole-Body mode: 23 mT/m SmartSpeed: 507 m/s HighSpeed+: 77 T/m/s EchoSpeed+: 120 T/m/s	EchoSpeed+: 1207 m/s TwinSpeed Zoom mode: 150 T/m/s Whole-Body mode: 807 m/s	33 mT/m Gradienti Nova Dual HP 66 mT/m Gradienti Pulsar HP	Gradienti Pulsar 53 T/m/s	Gradienti SQ-engine 45 mT/m (asse z)/ 40 mT/m (assi x e y) Gradienti Q-engine 125 T/m/s	30 mT/m Gradienti XG	Gradienti ZGV: 33 mT/m Gradienti AGV: 50 T/m/s Gradienti MG: 86 T/m/s Gradienti XG: 130 T/m/s Gradienti ZG: 200 T/m/s	Gradienti X: 130 T/m/s Gradienti Z: 200 T/m/s
Linearità dei gradienti	ND	ND	1.4%	1.4%	1.7%	ND	ND	ND

Tabella 5. Caratteristiche rilevanti dei dispositivi di sicurezza forniti con le apparecchiature di risonanza magnetica cardiovascolare.

	GE	Philips	Siemens	Toshiba
Monitoraggio del ritmo cardiaco	VCG: standard	VCG: standard	ECG: standard VCG: opzionale	VCG: standard
Monitoraggio di altri parametri biologici Letino estraibile con comando manuale di emergenza	Saturazione ossiemoglobinica Standard	Saturazione ossiemoglobinica Standard	Saturazione ossiemoglobinica Standard	Saturazione ossiemoglobinica Standard
Letino direttamente trasportabile all'esterno della stanza del magnete	ND	Opzionale	No	ND
Letino dotato di sistema di monitoraggio attivo dei parametri vitali	ND	Opzionale	No	ND

Tabella 6. Tipi e caratteristiche di rilievo delle sequenze angiografiche fornite con le apparecchiature di risonanza magnetica cardiovascolare. Tra parentesi è indicato il pacchetto eventualmente necessario per ottenere la funzione.

Sezioni angiografiche	GE Signa Excite HD 1.5T	GE Signa HDx 1.5T	Philips Achieva 1.5T	Philips Intera 1.5T	Siemens MAGNETOM Avanto	Toshiba Excelart 1.5T	Toshiba Vantage 1.5T	Toshiba Vantage Atlas 1.5T
2D/3D time-of-flight (ToF) ^a	Si (ScanTools)	Si (ScanTools)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
Magnetisation transfer contrast (MTC)	Si (ScanTools)	Si (ScanTools)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
Ramped RF pulses	Si (ScanTools)	Si (ScanTools)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si, ISCE (standard)
2D/3D phase contrast (PC) ^a	Si (ScanTools)	Si (ScanTools)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
Contrast-enhanced MRA (CE MRA) ^a	Si (ScanTools)	Si (ScanTools)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (MRA 2002)	Si (MRA 2004)	Si (MRA R6)
Fast 3D sequence	Si (ScanTools)	Si (ScanTools)	Si (ScanTools Plus/Pro/Premium)	Si (ScanTools Plus/Pro)	Si (standard)	Si	Si	Si
Centric elliptical scanning	Si (ScanTools)	Si (ScanTools)	Si, CENTRA (ScanTools Plus/Pro/Premium)	Si, CENTRA (ScanTools Plus/Pro)	Si (standard)	No	No	Centric SI (MRA R6 Package)
Dynamic 4D MRA	Si (TRICKS) Oppure TRICKS-XV (imaging parallelo), solo per scanner di livello HDx	Si (TRICKS-XV) (ScanTools Premium)	Si, BolusTrak (ScanTools Plus/Pro/Premium)	No	Si (TWIST)	No	DRKS (Freeze Frame Package)	DRKS (Freeze Frame R6 Package)
Contrast bolus timing ^a	Si, SmartPrep (ScanTools)	Si, SmartPrep (ScanTools)	Si, BolusTrak (ScanTools Plus/Pro/Premium)	Si, BolusTrak (ScanTools Plus/Pro)	Si, Care Bolus (standard)	Si, Visual Prep (MRA 2002)	Si, Visual Prep (MRA 2004)	Si, Visual Prep (opzione MRA R6 Package)
Peripheral MRA (pMRA) ^a	Si (ScanTools)	Si (ScanTools)	Si, MobiTrak (ScanTools Plus/Pro/Premium)	Si, MobiTrak (ScanTools Plus/Pro)	Si (standard)	Si	Si	Si
pMRA with moving table	Si, SmartStep (ScanTools)	Si, SmartStep (ScanTools)	Si, MobiTrak (ScanTools Plus/Pro/Premium)	Si, MobiTrak (ScanTools Plus/Pro)	Si (standard)	Si, Moving Bed (MRA 2002)	Si, Moving Bed (MRA 2004)	Si, Moving Bed (MRA R6 Package)
Subtraction ^a	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	No	No	Si (standard)
Post-processing	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
Maximum intensity projections (MIP)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
Minimum intensity projections (MinIP)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
Targeted MIP	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
Shaded surface display (SSD)	Si	Si	Si (Volume Inspection)	Si (Volume Inspection)	Si (standard)	No	No	No

^asequenze ritenute necessarie in una dotazione di base.

Tabella 7. Tipi di sequenze *spin-echo* e *turbo spin-echo* cardiache fornite con le apparecchiature di risonanza magnetica cardiovascolare. Tra parentesi il pacchetto eventualmente necessario per ottenere la funzione.

	GE Signa Excite HD 1.5T	GE Signa HDx 1.5T	Philips Achieva 1.5T	Philips Intera 1.5T	Siemens MAGNETOM Avanto	Toshiba Excelart 1.5T	Toshiba Vantage 1.5T	Toshiba Vantage Atlas 1.5T
<i>Spin-echo (SE)</i>								
Single-echo SE	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
Dual-echo SE	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
<i>Turbo spin-echo (TSE)</i>								
Multi-shot TSE ^a	Si (ScanTools)	Si (ScanTools)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si, FastSE (standard)	Si, FastSE (standard)	Si, FastSE (standard)
Single-Shot TSE ^a	Si (ScanTools)	Si (ScanTools)	Si (standard) Max Turbo Factor only 256	Si (standard) Max Turbo Factor only 256	Si, HASTE (standard)	Si, FASE (standard)	Si, FASE (standard)	Si, FASE (standard)
TSE with echo sharing	Si (ScanTools)	Si (ScanTools)	No	No	Si (standard)	No	No	No
Turbo dark fluid (FLAIR) ^b	Si (ScanTools)	Si (ScanTools)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si, FastFLAIR (standard)	Si, FastFLAIR (standard)	Si, FastFLAIR (standard)
T1 FLAIR	Si (ScanTools)	Si (ScanTools)	ND	ND	Si (standard)	No	No	No
True IR	No	No	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si, FastIR (standard)	Si, FastIR (standard)	Si, FastIR (standard)
TSE with flip-back pulse	Si, FRFSE (ScanTools)	Si, FRFSE (ScanTools)	Si, DRIVE (ScanTools Plus/Pro/Premium)	Si, DRIVE (ScanTools Plus/Pro)	Si, RESTORE (standard)	Si, FSE T2 plus (standard)	Si, FSE T2 plus (standard)	Si, FSE T2 plus (standard)
3D TSE	Si (ScanTools)	Si (ScanTools)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
3D Turbo dark fluid	No	No	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	No	No	No
3D SPACE	3D FLAIR option (solo 3T)	3D FLAIR option (solo 3T)	VISTA	VISTA	Si (standard)	No	No	No
Available contrasts	VERSE (solo 3T)	VERSE (solo 3T)	(ScanTools Plus/Pro/Premium)	(ScanTools Plus/Pro)	T2, Dark-fluid, proton density	ND	ND	ND

^asequenze ritenute necessarie in una dotazione di base.

Tabella 8. Tipi di sequenze *gradient-echo*, *steady state free precession*, *turbo gradient spin-echo* ed *echo planar imaging* cardiache fornite con le apparecchiature di risonanza magnetica cardiovascolare. Tra parentesi il pacchetto eventualmente necessario per ottenere la funzione.

	GE Signa Excite HD 1.5T	GE Signa HDx 1.5T	Philips Achieva 1.5T	Philips Intera 1.5T	Siemens MAGNETOM Avanto	Toshiba Excelart 1.5T	Toshiba Vantage 1.5T	Toshiba Vantage Atlas 1.5T
<i>Gradient-echo (GRE)</i>								
2D/3D FLASH ^a	Si, SPGR (ScanTools)	Si, SPGR (ScanTools)	Si, T1-FFE (standard)	Si, T1-FFE (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
2D/3D FISP ^a	Si, GRASS (ScanTools)	Si, GRASS (ScanTools)	Si, FFE (standard)	Si, FFE (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
PSIF	No	No	Si, T2-FFE (standard)	Si, T2-FFE (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
2D/3D MEDIC	No	Si, MERGE (ScanTools)	No	No	Si (standard)	No	No	No
3D volumetric interpolated breath hold sequences	MERGE LAVA (ScanTools) LAVA-XV (HDx)	Si, THRIVE (ScanTools) Plus/Pro/Premium	Si, THRIVE (ScanTools) Plus/Pro/Premium	Si, THRIVE (ScanTools) Plus/Pro	Si (standard)	No	No	No
Susceptibility weighted imaging	No	No	Limited, Venous BOLD (ScanTools Pro/Premium option)	Limited, Venous BOLD (ScanTools Pro option)	Si (SWI option)	No	No	No
<i>TrueFISP</i>								
2D TrueFISP ^a	Si, FIESTA (2D FIESTA option)	Si, FIESTA (2D FIESTA option)	Si, β-FFE (standard)	Si, β-FFE (standard)	Si (standard)	Si, TrueSSFP (Cardiac 2002 option)	Si, TrueSSFP (Cardiac 2004 option)	Si, TrueSSFP (Cardiac option)
3D TrueFISP ^a	Si, FIESTA (3D FIESTA option)	Si, FIESTA (3D FIESTA option)	Si, β-FFE (standard)	Si, β-FFE (standard)	Si (standard)	No	No	No
TrueFISP with fat saturation	Si	Si	ND	ND	Si (standard)	No	No	No
<i>TurboGSE/GRASE</i>								
TurboGSE/GRASE	No	No	Si (ScanTools Pro/Premium option)	Si (ScanTools Pro option)	Si (TGSE option)	Si, Hybrid EPI	Si, Hybrid EPI	Si, Hybrid EPI
<i>EPI</i>								
Multi-shot EPI	ND	Si (standard)	Si (ScanTools)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
Single-shot EPI	Si (standard)	Si (standard)	Si (ScanTools)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
Spin-echo EPI	Si (standard)	Si (standard)	Si (ScanTools)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)	Si (standard)
GRE EPI (FID EPI)	Si (standard)	Si (standard)	Si (ScanTools)	Si (standard)	Si (standard)	Si (EPI 2002 option)	Si (EPI 2004 option)	Si (EPI option)
Automatic Bo correction	Si	No	No	No	No	No	No	No

^asequenze ritenute necessarie in una dotazione di base.

Tabella 9. Caratteristiche rilevanti delle sequenze spin-echo e turbo spin-echo cardiache fornite con le apparecchiature di risonanza magnetica cardiovascolare.

	Siemens MAGNETOM Avanto	GE Signa Excite HD 1.5T	GE Signa HDx 1.5T	Philips Achieva 1.5T	Philips Intera 1.5T	Toshiba Excelart 1.5T	Toshiba Vantage 1.5T	Toshiba Vantage Atlas 1.5T
<i>Spin-echo (SE)</i>								
Min TR (256 matrix)	Q-engine: 7.4 ms SQ-engine: 6.8 ms	SmartSpeed: 13 ms HighSpeed+: 10 ms	EchoSpeed+: 10 ms TwinSpeed Zoom mode: 7 ms	Pulsar HP: 11.61 ms Nova HP: 11.39 ms	Pulsar: 13.3 ms	ND	ND	ND
		EchoSpeed+: 10 ms	TwinSpeed Whole- Body mode: ND	Nova Dual HP: 11.39 ms				
		TwinSpeed Zoom mode: 7 ms						
		TwinSpeed Whole- Body mode: ND (Matrix not specified by GE)						
<i>Turbo spin-echo (TSE)</i>								
Max ETL/turbo factor	512	512	512	256	256	276	276	276
Min echo spacing (256 Matrix)	Q-engine: 2.8 ms SQ-engine: 2.6 ms	SmartSpeed: 3.1 ms HighSpeed+: 2.6 ms EchoSpeed+: 2.5 ms	EchoSpeed+: 2.5 ms TwinSpeed Zoom mode: 2.5 ms TwinSpeed Whole- Body mode: ND	Pulsar HP: 2.48 ms Nova HP: 2.29 ms Nova Dual HP: 2.29 ms	Pulsar: 3.51 ms	AGV: 5 ms XGV: 4 ms	AGV: 2.6 ms MGV: ND XGV: 2.6 ms	X gradients: 2.6 ms Z gradients: ND
Max number of echoes	16	TwinSpeed zoom mode: 2.5 ms TwinSpeed Whole- Body mode: ND	16	8	8	ND	ND	ND

Tabella 10. Caratteristiche rilevanti delle sequenze *gradient-echo*, *steady-state free precession*, *turbo gradient spin-echo* e *echo planar imaging* cardiache fornite con le apparecchiature di risonanza magnetica cardiovascolare.

	GE Signa Excite HD 1.5T	GE Signa HDx 1.5T	Philips Achieva 1.5T	Philips Intera 1.5T	Siemens MAGNETOM Avanto	Toshiba Excelart 1.5T	Toshiba Vantage 1.5T	Toshiba Vantage Atlas 1.5T
<i>Gradient-echo (GRE)</i>								
Min TR 2D GRE (256 matrix)	SmartSpeed: 3.3 ms HighSpeed+: 3.0 ms EchoSpeed+: 2.7 ms TwinSpeed Zoom mode: 2.6 ms TwinSpeed Whole-Body mode: ND	EchoSpeed+: 2.7 ms TwinSpeed Zoom mode: 2.6 ms TwinSpeed Whole-Body mode: ND	Pulsar HP: 1.47 ms Nova HP: 1.2 ms Nova Dual HP: 1.2 ms	Pulsar: 2.25 ms	Q-engine: 1.8 ms SQ-engine: 1.5 ms	ND	ND	ND
Min TR 3D GRE (256 Matrix)	TwinSpeed Whole-Body mode: ND SmartSpeed: 2.0 ms HighSpeed+: 1.7 ms EchoSpeed+: 1.6 ms TwinSpeed Zoom mode: 1.2 ms TwinSpeed Whole-Body mode: ND	EchoSpeed+: 2.7 ms TwinSpeed Zoom mode: 1.2 ms TwinSpeed Whole-Body mode: ND	Pulsar HP: 1.47 ms Nova HP: 1.2 ms Nova Dual HP: 1.2 ms	Pulsar: 2.25 ms	Q-engine: 1.8 ms SQ-engine: 1.5 ms	AGV: 3.5 ms XGV: 2.6 ms	ND	ND
<i>TrueFISP</i>								
Min TR (256 matrix)	ND	ND	ND	ND	Q-engine: 2.8 ms SQ-engine: 2.4 ms	ND	ND	ND
<i>TurboGSE/GRASE</i>								
Min gradient echo spacing (256 matrix)	ND	ND	Pulsar HP: 0.884 ms Nova HP: 0.796 ms Nova Dual HP: 0.796 ms	Pulsar: 1.87 ms	Q-engine: 1.2 ms SQ-engine: 1.1 ms	ND	ND	ND
<i>EPI</i>								
Max ETU/EPI factor	512	512	255	255	256	ND	ND	ND
Min Echo Spacing (64 Matrix)	SmartSpeed: 0.36 ms HighSpeed+: 0.30 ms EchoSpeed+: 0.252 ms TwinSpeed Zoom mode: 0.216 ms TwinSpeed Whole-Body mode: ND More realistic, for the true max FoV: EchoSpeed+: 0.328 ms a 48 cm TwinSpeed Zoom mode: ~ 0.34 ms a 35 cm	EchoSpeed+: 0.228 ms TwinSpeed Zoom mode: 0.208 ms TwinSpeed Whole-Body mode: ND More realistic, for the true max. FoV: EchoSpeed+: 0.328 ms a 48 cm TwinSpeed Zoom mode: ~ 0.34 ms a 35 cm	Pulsar HP: 0.345 ms Nova HP: 0.258 ms Nova Dual HP: 0.258 ms	Pulsar: 0.81 ms	Q-engine: 0.34 ms SQ-engine: 0.29 ms	AG: 1.4 ms XG: 0.6 ms	AGV: 1.2 ms MGV: ND XGV: 0.6 ms	X gradients: 0.6 ms Z gradients: ND
<i>Resolution parameters</i>								
Max imaging matrix (without interpolation)	1024	1024	1024 (ScanTool Pro) 2048 (ScanTools Premium option)	1024	1024	1024	1024	1024
Min 2D slice thickness	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm	0.1 mm	1 mm	0.5 mm	0.5 mm
Min 3D slice thickness	0.1 mm	0.1 mm	0.05 mm	0.05 mm	0.05 mm	0.2 mm	0.05 mm	0.05 mm
Min FoV	1 cm	1 cm	0.5 cm	0.5 cm	0.5 cm	0.5 cm	0.5 cm	0.5 cm
Max FoV	48 cm with echospeed gradients 48 cm (z) x 45 cm (xy) with TwinSpeed Whole-Body mode Zoom mode	48 cm with echospeed gradients 48 cm (z) x 45 cm (xy) with TwinSpeed Whole-Body mode Zoom mode	48 cm with echospeed gradients 48 cm (z) x 45 cm (xy) with TwinSpeed Whole-Body mode Zoom mode	53 cm	50 cm	50 cm	50 cm	55 x 55 x 50 cm

Angiografia

Le metodiche angiografiche rappresentano una delle più robuste applicazioni cliniche della RM. Nella Tabella 6 sono riportati i vari tipi di sequenza angiografica e la loro disponibilità con ogni singola apparecchiatura presa in considerazione in questa rassegna. Tra parentesi è riportata la necessità di acquistare un pacchetto software aggiuntivo per beneficiare della presenza della singola sequenza.

Sequenze cardiache

Negli anni sono stati sviluppati molti tipi diversi di sequenze per l'analisi cardiaca. Considerata la grande difficoltà di ottenere in tempi rapidi immagini di buona qualità del cuore (in considerazione dell'incessante movimento del muscolo cardiaco e della necessità di acquisire le immagini in apnea), l'evoluzione delle sequenze è stata condizionata dalle prestazioni massime delle apparecchiature disponibili e ne ha ricalcato fedelmente lo sviluppo nel tempo. Nelle Tabelle 7 e 8 sono riportati i vari tipi di sequenza cardiaca disponibili nelle apparecchiature RM considerate, raggruppate in famiglie, mentre nelle Tabelle 9 e 10 sono riportati i parametri massimi ottenibili per ogni sequenza.

Post-processing

L'analisi computerizzata delle immagini, in particolare quelle di RM cardiovascolare, ha assunto un ruolo preponderante sulla modalità tradizionale di stampa su lastra radiografica, in seguito alla sopraggiunta necessità di confrontare immagini diverse in sequenza al fine di valutare parametri funzionali (funzione ventricolare sinistra, perfusione miocardica) o di effettuare ricostruzioni tridimensionali dei dati acquisiti. Il *post-processing* si avvale di pacchetti software appositi, forniti con l'apparecchiatura di risonanza, precaricati sulla stazione di lavoro utilizzata per l'acquisizione delle immagini, oppure forniti su una seconda stazione di lavoro separata. In considerazione del tempo necessario alla refertazione completa di un esame RM cardiovascolare, non compatibile con la sospensione dell'acquisizione delle immagini durante il lavoro di refertazione, il Gruppo di Studio considera indispensabile l'acquisto, insieme all'apparecchiatura RM, anche di una stazione di lavoro esterna per la rielaborazione e la refertazione. Le applicazioni installate su tale apparecchiatura dovranno permettere la valutazione e la refertazione delle immagini ottenute da tutti i tipi di sequenze installate sull'apparecchiatura RM.

Le immagini sono normalmente archiviate dalle apparecchiature RM in formato DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*) ma, nonostante gli sforzi per archiviare le immagini in un formato standard, la compatibilità tra apparecchiature di un produttore ed apparecchiature di un altro non è assolutamente garantita. Inoltre, in alcune situazioni, le immagini potrebbero non essere compatibili con altri software di rielaborazione non prodotti e venduti insieme all'apparecchiatura RM. La compatibilità DICOM dell'apparecchiatura RM deve essere autocertificata dal costruttore.

Riassunto

La risonanza magnetica si sta affermando in ambito cardiovascolare come una metodica versatile, sicura e affidabile per la valutazione dei pazienti con cardiopatia nota o sospetta. Da qui nasce la necessità per molti centri ospedalieri e universitari di dotarsi di appa-

recchiature in grado di svolgere analisi cardiovascolari. Spesso tale necessità si scontra con la complessità delle apparecchiature e la numerosità di moduli hardware e software opzionali proposti dai produttori, rendendo molto difficile la scelta di un'apparecchiatura dotata delle caratteristiche e delle sequenze più idonee a eseguire studi cardiovascolari. Il documento esamina dettagliatamente le diverse parti di un sistema di risonanza magnetica, identificando le caratteristiche minime e le funzioni utili all'esecuzione di esami cardiovascolari. Scopo del lavoro è di fornire al cardiologo o al radiologo interessati all'acquisto di un sistema di risonanza magnetica per applicazioni cardiovascolari una guida ad una scelta ragionata del modello e delle funzioni.

Parole chiave: Imaging cardiovascolare; Risonanza magnetica.

Bibliografia

1. Lombardi M, Bartolozzi C. MRI of the heart and vessels. Berlin: Springer-Verlag, 2005.
2. Nagel E, van Rossum AC, Fleck E. Cardiovascular magnetic resonance. Berlin: Springer Verlag, 2004.
3. <http://www.gehealthcare.com/us/en/mr/index.html> [accessed August 26, 2008].
Home page per i sistemi di risonanza magnetica della General Electric Healthcare.
4. <http://www.medical.philips.com/main/products/mri/> [accessed August 26, 2008].
Home page per i sistemi di risonanza magnetica della Philips.
5. http://www.medical.siemens.com/webapp/wcs/stores/servlet/CategoryDisplay~q_catalogId~e_-11~a_categoryId~e_12754~a_catTree~e_100010,1007660,12754~a_langId~e_-11~a_storeId~e_10001.htm [accessed August 26, 2008].
Home page per i sistemi di risonanza magnetica della Siemens.
6. <http://medical.toshiba.com/products/mri/default.aspx> [accessed August 26, 2008].
Home page per i sistemi di risonanza magnetica della Toshiba.
7. <http://www.healthcare.philips.com/main/products/mri/systems/achievaxr/index.wpd> [accessed August 26, 2008].
Configurazioni possibili per i sistemi di risonanza magnetica della Philips.
8. <http://www.scmr.org/> [accessed March 17, 2009].
Sito web della Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR).
9. <http://www.escardio.org/communities/WorkingGroups/eurocmr/Pages/welcome.aspx> [accessed March 17, 2009].
Sito web del Working Group on Cardiovascular Magnetic Resonance della Società Europea di Cardiologia.
10. MagNET - MRI Evaluation, Quality Assurance, Specification and Safety. <http://www.magnet-mri.org/index.htm> [accessed August 26, 2008].
MagNET - Sito indipendente di valutazione dei sistemi di risonanza magnetica.
11. NHS Purchasing and Supply Agency - Report 06005 - 1.5T Comparison Report Issue 7. <http://www.magnet-mri.org/assets/pdffiles/reports/Report06005-1.5T%20comparison%20report%20issue07.pdf> [accessed March 17, 2009].
Report NHS sulle apparecchiature di risonanza magnetica da 1.5T.
12. NHS Purchasing and Supply Agency - Report 06006 - 3.0T Comparison Report Issue 4. <http://www.magnet-mri.org/assets/pdffiles/reports/Report06006-3.0T%20comparison%20report%20issue04.pdf> [accessed March 17, 2009].
Report NHS sulle apparecchiature di risonanza magnetica da 3.0T.
13. NHS Purchasing and Supply Agency - Report 06030 - 0.6T-1.0T Open MRI Systems Issue 6. <http://www.magnet-mri.org/assets/pdffiles/reports/Report%2006030%20-%200.6%20to%201.0T%20Open%20MRI%20Systems%20Issue%206.pdf> [accessed March 17, 2009].
Report NHS sulle apparecchiature di risonanza magnetica da 0.6T a 1.0T.

Appendice 1. Acronimi usati in risonanza magnetica cardiovascolare dai diversi produttori di sistemi per identificare le sequenze.

Tipo di sequenza	General Electric	Philips	Siemens	Toshiba
Spin-echo	SE	SE	SE	SE
Gradient-echo	GRE	Fast Field Echo (FFE)	GRE	Field Echo
Spoiled gradient-echo	SPGR	T1-FFE	FLASH	Field Echo
Coherent gradient-echo	GRASS	FFE	FISP	Field Echo
Steady state free precession	SSFP	T2-FFE	PSIF	-
Balanced gradient acquisition	FIESTA	Balanced FFE	TrueFISP	True SSFP
Sequence gradient-echo ultraveloci	FastGRE, FastSPGR	TFE	TurboFLASH	Fast FE
Sequenze gradient-echo ultraveloci 3D	3D FGRE, 3D Fast SPGR	3D TFE	MPRAGE	3D Fast FE
Volume interpolated gradient-echo	FAME, LAVA-XV	THRIVE	VIBE	-
Body diffusion	-	DWIBS	REVEAL	Body Vision
Susceptibility-weighted imaging	-	BOLD	SWI	-
Dynamic MRA with k-space manipulation	TRICKS-XV	Keyhole (4D-TRACK)	TWIST	-
Inversion recovery	IR, MPR, FastIR	IR-TSE	IR, Turbo IR (TIR)	IR
Short tau inversion recovery	STIR	STIR	STIR	STIR
Long tau inversion recovery	FLAIR	FLAIR	Turbo Dark Fluid	-
True inversion recovery	-	Real IR	True IR	-
Turbo spin echo/fast spin-echo	FSE (Fast Spin-Echo)	TSE (Turbo Spin-Echo)	TSE (Turbo Spin-Echo)	FSE (Fast Spin-Echo)
Single-shot TSE/FSE	Single-Shot FSE	Single-Shot TSE	HASTE	FASE
TSE/FSE with 90° flip-back pulse	Fast Recovery FSE (FRFSE)	DRIVE	RESTORE	T2 Puls FSE
3D TSE with variable spin-echo	-	VISTA	SPACE	-
Numero di echi	Echo Train Length (ETL)	Turbo Factor	Turbo factor	Echo Train Length (ETL)
Tempo tra echi	Echo Spacing	Echo Spacing	Echo Spacing	Echo Spacing
Echo planar imaging (EPI)	EPI	EPI	EPI	EPI
Numero di echi (sequenze EPI)	Echo Train Length (ETL)	EPI Factor	EPI Factor	Echo Train Length (ETL)
Turbo gradient spin-echo (GRASE)	-	GRASE	GRASE	Hybrid EPI
Sequenze T2-pesate	TRIPLE	T2-TSE	TIRM	T2-FSE

Appendice 2. Altri acronimi usati in risonanza magnetica cardiovascolare dai diversi produttori di sistemi.

Tipo di sequenza	General Electric	Philips	Siemens	Toshiba
Correzione del movimento				
Con acquisizione radiale	PROPELLER	-	BLADE	-
Dei tessuti molli	-	-	BRACE	-
Tecniche di acquisizione parallela				
Algoritmo di ricostruzione basato sull'immagine	ASSET	SENSE	mSENSE	SPEEDER
Algoritmo di ricostruzione basato sul k-spazio	GEM		GRAPPA	
Calibrazione integrata	Self-Calibration (GEM)		Auto-Calibration	
Calibrazione separata	(Calibrazione per tecnica ASSET)	(Calibrazione per tecnica SENSE)/ CLEAR	Turbo-Calibration	(Calibrazione per tecnica SPEEDER)
Parametri delle sequenze				
Tempo di ripetizione, tempo di eco (ms)	TR, TE	TR, TE	TR, TE	TR, TE
Tempo di inversione (ms)	TI	TI	TI	TI
Numero di medie	NEX	NSA	Average	NSA
Eccitazione simultanea	POMP (Phase Offset MultiPlanar)		Simultaneous Excitation	QuadScan
Impulso in radiofrequenza	Flip Angle	Flip Angle	Flip Angle	Flip Angle
Durata dell'acquisizione	Acquisition Time	Acquisition Time	Acquisition Time (TA)	Acquisition Time
Distanza tra proiezioni contigue	Gap	Gap	Distance Factor	Gap
			(% dello spessore di fetta)	
Campo di vista	FoV (Field of view)	FoV	FoV	FoV
Campo di vista rettangolare	Partial FoV (PFoV)	Rectangular FoV	Rectangular FoV	Rectangular FoV
Ampiezza di banda	Receive Bandwidth (kHz)	Fat/Water Shift (pixel)	Bandwidth (Hz/pixel)	Bandwidth
Ampiezza di banda variabile	Variable Bandwidth	Optimized Bandwidth	Optimized Bandwidth	Matched Bandwidth
Sovracampionamento in direzione di frequenza	Anti-Aliasing	Frequency	Oversampling	Frequency Wrap
		Oversampling	Oversampling	Suppression
Sovracampionamento in direzione di fase	No Phase Wrap	Fold-over Suppression	Phase Oversampling	Phase Wrap Suppression
Segmented k-space	Views per Segment	Views/Segment	Lines/Segments	Segments
Ritardo nell'acquisizione/Block k-space	Intersegment Delay	TD	Time Delay	TD
Half Fourier imaging	1/2 NEX; FractionalNEX	Half Scan	Half Fourier	AFI
Partial echo	Partial Echo	Partial Echo	Asymmetric Echo	Matched Bandwidth
Magnetization transfer contrast	MTC	MTC	MTC/MTS	SORS-STC
Fat saturation	Fat Sat/Chem Sat	SPIR	Fat Sat	MSOFT
Water excitation	-	Proset	Water Excitation	PASTA
Impulso di preparazione	SAT	REST	Presat	Pre Sat
Sincronizzazione cardiaca	Cardiac Gated/Triggering	ECG Triggered/VCG	ECG Triggered	Cardiac Gated
Ritardo dell'acquisizione dopo l'onda R	Trigger Delay (TD)	Trigger Delay (TD)	Trigger Delay (TD)	Trigger Delay (TD)
Sincronizzazione respiratoria	Respiratory Compensation	Trigger; PEAR	Respiratory Gated	Respiratory Gated
Sequenza iniziale per l'orientamento anatomico	Localizer	Plan Scan, Survey	Localizer, Scout	Locator
Contrast bolus timing/visualizzazione	Smart Prep; Fluoro Triggered MRA	BolusTrack	CARE Bolus	Visual Prep