

IRM cardiaque. Mythes et réalités

Cardiac magnetic resonance. Myth and reality

S. Baldassarre^{1,2}, O. Cappeliez², A. Leone¹ et L. Divano²

¹Service de Cardiologie, C.H.U. Ambroise Paré, Mons ; ²Unité d'IRM régionale CHAMBOR, Mons

RESUME

Les auteurs rapportent leur expérience et une revue de la littérature dans le domaine des applications cardiaques de l'IRM. Ces examens ont bénéficié d'évolutions technologiques récentes qui permettent une imagerie fonctionnelle de la plupart des cardiopathies courantes. Les indications classiques telles que les tumeurs cardiaques, les pathologies péricardiques, les cardiopathies congénitales opérées, certaines valvulopathies, la dysplasie arythmogène du ventricule droit, les cardiomyopathies et la pathologie des gros vaisseaux thoraciques sont revues et adaptées aux nouvelles technologies. Les applications plus récentes sont décrites, notamment l'étude de la perfusion et de la viabilité myocardique post-infarctus. De plus, des indications telles que la recherche d'un syndrome X ou l'évaluation des myocardites en IRM sont également évoquées.

D'autre part, les contre-indications absolues et celles d'ordre technique sont redétaillées.

Enfin, les auteurs tiennent à rappeler l'intérêt d'une collaboration étroite entre radiologues et cardiologues pour ce type de procédure.

Rev Med Brux 2004 ; 25 : 80-6

ABSTRACT

The authors report their own experience and a review of the current literature in the field of cardiac MR (CMR). Latest technical improvements now allow obtaining both anatomical and functional imaging of the beating heart and great vessels in most pathological conditions. Established CMR indications such as cardiac tumors, pericardial diseases, operated congenital heart diseases, valvular diseases, arrhythmogenic right ventricular dysplasia, specific cardiomyopathies and great vessels of the thorax are reviewed and updated. Current applications in post myocardial infarction such as perfusion and viability imaging sequences are described. Moreover, CMR applications in syndrome X and myocarditis are evoked. Medical contra-indications and technical limitations of CMR are also discussed. Finally, the authors insist on the interest of a real partnership between radiologists and cardiologists for these procedures.

Rev Med Brux 2004 ; 25 : 80-6

Key words : MRI, heart, aorta

INTRODUCTION

L'IRM cardiaque n'est pas une technique récente ; elle fut introduite au début des années 80. Néanmoins, les évolutions récentes des imageurs, le développement de séquences d'impulsions adaptées et l'évolution des connaissances dans le domaine élargissent les perspectives d'utilisation de cette modalité d'imagerie à la pratique clinique quotidienne.

Les problèmes rencontrés dans la mise au point des séquences d'IRM cardiaque étaient les mouvements cardiaques et les mouvements du diaphragme. L'évolution récente de la technologie, caractérisée par l'augmentation de la puissance des aimants (1,5 Tesla

ou 1,5 T), le développement d'antennes en réseau phasé et la mise au point de séquences d'imagerie ultrarapide permettent de réaliser les acquisitions en apnée. Par ailleurs, une synchronisation des séquences d'impulsions sur l'ECG permet de "geler" le cœur dans une certaine phase du cycle cardiaque. Actuellement, selon le rythme cardiaque, on peut réaliser 15 à 20 images du même plan de coupe à différentes phases du cycle cardiaque, les visionner en boucle et obtenir ainsi une imagerie dynamique de grande qualité. De ce fait, nous évoluons d'une imagerie essentiellement anatomique (aux débuts de l'IRM cardiaque) vers une imagerie dynamique de plus en plus représentative de la fonction cardiaque¹.

Pour être effective dans le domaine cardiologique, une nouvelle technique se doit d'être non invasive, peu coûteuse et doit pouvoir donner un grand nombre d'informations en pathologie courante, en particulier dans le domaine des cardiopathies ischémiques. L'IRM rencontre ces contingences à de nombreux égards à l'exception de son coût moyennement élevé et d'une faible disponibilité dans certaines institutions.

CONTRE-INDICATIONS ET PRECAUTIONS

Les contre-indications absolues de toute IRM devront être scrupuleusement respectées^{2,3}, telles que :

- les pacemakers, défibrillateurs et neurostimulateurs implantables ;
- les clips vasculaires intracrâniens ;
- les implants au niveau de l'oreille ;
- les corps étrangers ferreux intra-oculaires ;
- les stents coronaires et autres endoprothèses vasculaires dans les 6 premières semaines suivant l'implantation.

Enfin, les valves cardiaques ne constituent pas une contre-indication, pour la plupart à l'exception de très anciennes valves de Starr ou Bjork. Toutefois, il convient de vérifier systématiquement leur compatibilité magnétique dans des tables normatives. Néanmoins, elles peuvent être source d'artefacts dans leur voisinage immédiat².

D'autres précautions, inhérentes à la procédure d'IRM cardiaque, doivent être prises. En effet, le patient sera placé 30 à 45 minutes dans l'aimant en décubitus dorsal strict et devra effectuer de multiples apnées lors de la réalisation des différentes séquences. De la sorte, les patients insuffisants respiratoires chroniques sévères ou insuffisants cardiaques non stabilisés par le traitement médical ne pourront supporter l'examen. Les patients non collaborants (déments ou confus), sourds, claustrophobes ou angoissés sévères réaliseront difficilement la procédure. Auparavant, les troubles du rythme rendaient difficile l'obtention d'une imagerie de bonne qualité ; l'évolution technologique actuelle permet généralement de lever cet obstacle.

D'autre part, s'il est aisé de réaliser des mesures standardisées systématiques permettant un examen complet en un temps bref lors d'une échocardiographie, la réalisation de toutes les séquences disponibles n'est pas souvent concevable en une seule séance d'IRM. De la sorte, la conduite de l'examen IRM dépendra de la question posée par le clinicien et, de ce fait, certaines anomalies annexes peuvent être "négligées" par un examen. Il conviendra donc de poser les questions adéquates afin d'optimiser le rendement diagnostique et donc l'intérêt de l'examen. Si l'examen a pour but de répondre à plusieurs questions, il est possible que 2 séances soient nécessaires chez un même patient car la tolérance de l'examen est souvent moins bonne au-delà de 30 minutes.

INDICATIONS CLASSIQUES

La Société Européenne de Cardiologie a publié en 1998 les *guidelines* pour l'utilisation de l'IRM en pathologie cardiaque⁴.

L'étude des masses cardiaques

L'utilisation combinée de différentes séquences (pondérées T1, T2 ou en densité de proton) et éventuellement l'injection d'un bolus de Gadolinium (Gd) permet généralement de caractériser la nature des tissus et de mettre en évidence les signes d'une invasion locorégionale dans les cas de tumeurs malignes⁵. De la sorte, par exemple, il est possible de différencier un myxome d'un lipome, de par leurs caractéristiques de signal sur les différentes séquences⁶.

L'étude du péricarde

Il apparaît comme une ligne mince, soulignée par de la graisse et très bien visible autour des cavités cardiaques. De ce fait, on évalue avec précision les pathologies péricardiques courantes⁷ telles que :

- la caractérisation des épanchements ;
- la mesure de l'épaississement du péricarde et de son extension dans les péricardites constrictives en particulier autour des gros vaisseaux de la base ;
- la mise en évidence et la caractérisation des masses péricardiques ;
- la confirmation et la détermination de l'étendue d'une absence congénitale du péricarde suspectée en échographie.

L'imagerie cinétique permet de plus une étude des répercussions hémodynamiques de ces pathologies sur les cavités. Un écueil toutefois réside dans la difficulté de mettre en évidence les calcifications du péricarde. En effet, l'IRM étant une imagerie basée sur les protons, le calcium apparaîtra comme totalement dénué de signal.

L'étude des cardiopathies congénitales complexes opérées

En particulier, la tétralogie de Fallot opérée où l'on peut étudier la fonction du ventricule droit (VD), la présence et l'importance d'un shunt résiduel, caractériser une sténose pulmonaire sous-valvulaire ou valvulaire, ainsi que préciser et quantifier l'importance d'une fuite pulmonaire⁸.

L'étude des valvulopathies

En imagerie cinétique, les sténoses hémodynamiquement significatives génèrent un vide de signal dû aux turbulences dans la cavité d'aval, en l'occurrence l'aorte pour la sténose valvulaire aortique et le ventricule gauche (VG) pour la sténose mitrale. *A contrario*, le vide de signal lié à une fuite valvulaire apparaîtra dans la cavité d'amont, soit le VG pour l'insuffisance aortique et l'oreillette gauche (OG) pour l'insuffisance mitrale (Figure 1).

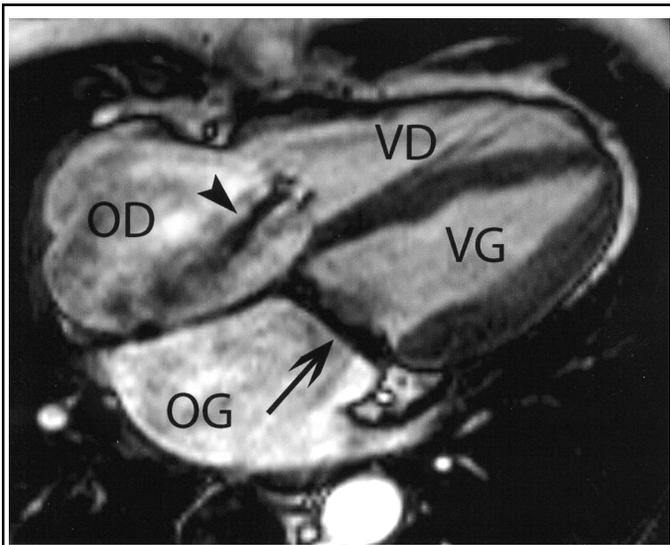


Figure 1 : Coupe quatre cavités passant par les oreillettes droite (OD) et gauche (OG), ainsi que par les ventricules droit (VD) et gauche (VG). Ce patient présente une insuffisance tricuspide apparaissant comme un jet hypo-signal régurgité dans l'oreillette droite (tête de flèche). Par ailleurs, ce patient a des antécédents de remplacement valvulaire mitral par une valve de type St-Jude, visualisé par une zone vide de signal dans le plan de la valve mitrale (flèche).

L'imagerie en contraste de phase avec encodage des vitesses (VENC ou *Velocity Encoding*) permet actuellement de mesurer les flux transvalvulaires et les flux régurgités de manière directe et quantitative (en mL/min). De la sorte, on peut calculer de façon très précise et reproductible la fraction de régurgitation qui joue un rôle important dans la prise de décision opératoire pour les fuites valvulaires⁹. Cette technique présente l'avantage d'être quantitative par rapport aux mesures parfois plus qualitatives de l'échographie ; notamment dans l'insuffisance aortique.

La recherche de la dysplasie arythmogène du VD (DAVD)

Cette pathologie à haut risque de mort subite est caractérisée par une dégénérescence de l'apex du ventricule droit. Histologiquement, une fibrose et une infiltration graisseuse sont retrouvées à ce niveau. L'IRM en visualisant très bien cette région est une technique de choix par rapport à l'échocardiographie dont la qualité de l'image est suboptimale pour cette portion du VD. Longtemps, on a cru qu'il fallait essayer de mettre en évidence le tissu lipidique. En réalité, ce signe n'est ni sensible, ni spécifique. Il convient donc surtout actuellement de mettre en évidence les anomalies morphologiques classiques de cette pathologie telles que la dilatation du VD, l'amincissement de la paroi latérale du VD en particulier à l'apex où la découverte d'un anévrisme est pathognomonique (*bulging*)¹⁰.

Les pathologies de l'aorte et des gros vaisseaux thoraciques

L'angiographie par IRM de l'aorte thoracique, le plus souvent réalisée avec injection intraveineuse d'un bolus de Gadolinium, consiste à acquérir les données

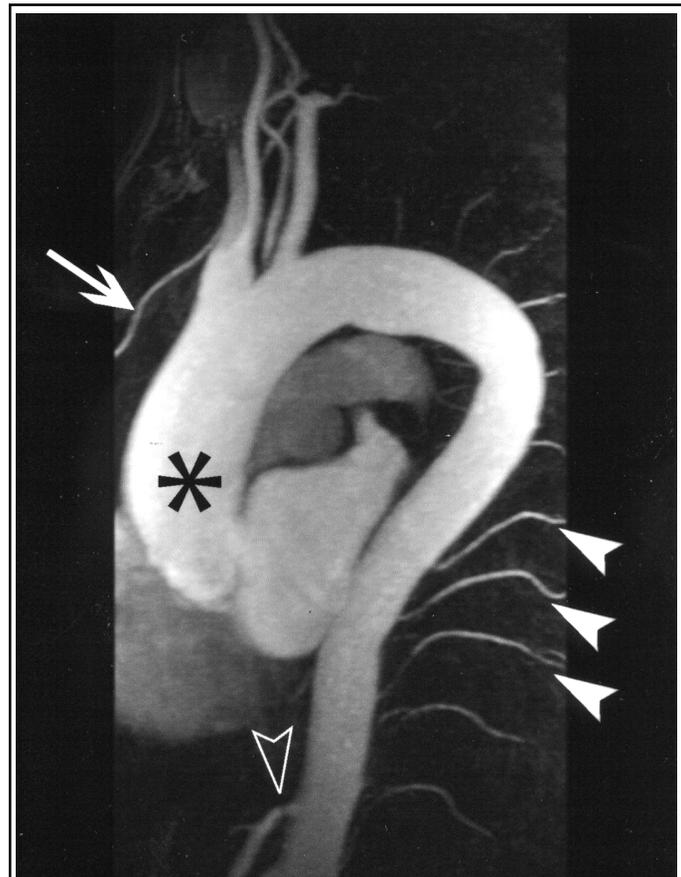


Figure 2 : Angio-IRM de l'aorte thoracique avec injection de Gadolinium reconstruite sous la forme d'une projection d'intensité maximale (MIP) en oblique antérieure gauche. Ce patient est porteur d'un petit anévrisme fusiforme de l'aorte thoracique ascendante (*). La résolution spatiale permet une bonne visualisation des troncs supra-aortiques, des artères intercostales (têtes de flèches), d'une artère mammaire interne (flèche). Elle permet aussi de visualiser une petite sténose courte à hauteur du tronc cœliaque (tête de flèche ouverte).

à la phase artérielle du rehaussement et, après soustraction des données sans contraste, d'en extraire un angiogramme reconstruit en 3D selon de multiples projections d'intensité maximale (MIP) et en 2D sur un mode multiplanaire (MPR) (Figure 2).

Cette séquence permet de visualiser l'aorte thoracique et toutes ses branches de division. Si cela s'avère nécessaire, il est actuellement également possible de réaliser un examen de l'aorte abdominale et des artères des membres inférieurs jusqu'aux troncs jambiers¹¹. Les avantages d'une angiographie par IRM en 3D avec injection de Gadolinium sont multiples. Sa haute résolution spatiale, son caractère non invasif, sa nature non irradiante et l'absence d'utilisation de produit de contraste iodé en font une technique de premier choix pour réaliser des angiographies diagnostiques. Ses inconvénients sont les contre-indications absolues de l'IRM, le fait de ne pas visualiser les calcifications (à la différence de l'angio-CT) et certains détails dynamiques, en particulier les thrombi mobiles (à la différence de l'échographie cardiaque transœsophagienne). Les indications en pathologie cardi thoracique sont le diagnostic et la caractérisation des pathologies congénitales (malformation des arcs aortiques, coarctation) et

acquises (anévrismes, dissections, ulcérations) de l'aorte thoracique ainsi que le suivi postopératoire des ces affections^{12,13}. L'application à la pathologie aortique des séquences de quantification du flux et des séquences cinétiques destinées initialement au cœur (*cine MR angiography*) permet de caractériser et de quantifier les régurgitations valvulaires liées aux anévrismes de l'aorte ascendante, ainsi que de visualiser les points d'entrée des dissections et les turbulences à l'intérieur des prothèses en dacron^{14,15}.

La répétition de l'acquisition des données angiographiques à une phase plus tardive (phase mixte, artérielle et veineuse) permet, après soustraction de la phase artérielle, de reconstruire un veinogramme thoracique qui peut être utile pour mettre en évidence les retours veineux aberrants (par exemple : veine cave supérieure gauche) ou les pathologies acquises liées aux cathéters (thrombose).

De même, le diagnostic d'embolie pulmonaire est possible par cette technique¹⁶, mais elle n'est pas un premier choix, compte tenu d'une résolution spatiale inférieure à celle de l'angio-CT hélicoïdal.

Cardiomyopathies (CM) spécifiques

L'IRM peut contribuer au diagnostic des CM notamment restrictives en caractérisant le tissu myocardique. A cet égard, il s'agit d'un examen de choix pour l'hémochromatose cardiaque (séquence T2* avec comparaison des modifications du signal du myocarde par rapport à un référentiel constitué par exemple par le muscle strié)¹⁷. Dans la sarcoïdose, on observe des anomalies du signal comparables à celles d'une myocardite et s'améliorant sous corticothérapie¹⁸. Dans les syndromes d'hyperéosinophilie, la fibrose endomyocardique de Löffler sera également bien imagée au niveau des apex où des thrombi peuvent apparaître¹⁹. L'amyloïdose restera un diagnostic d'exclusion en l'absence des signes spécifiques des autres cardiomyopathies²⁰. Dans les cardiomyopathies hypertrophiques, l'étude de la masse et de la cinétique cardiaque, ainsi que la mise en évidence de signes de nécrose sont possibles²¹. Enfin, les CM dilatées bénéficieront de l'injection de Gd pour préciser si l'origine est ischémique post-infarctus (nécrose segmentaire), post-myocardite (nécrose multifocale) ou d'une origine non ischémique comme la cardiomyopathie éthylique, pour lesquelles la prise de contraste se fait au sein du septum interventriculaire en excluant les zones sous-épicaudiques et sous-endocardiques²².

EVOLUTIONS RECENTES

L'ensemble des séquences d'impulsions actuellement validées et disponibles en IRM cardiaque permet de nos jours d'évaluer la cardiopathie ischémique "classique" selon de multiples aspects permettant un bilan très complet en un seul examen. De plus, d'autres formes d'ischémie telles que celles rencontrées dans le syndrome X ou la cardiomyopathie hypertrophique et d'autres causes de nécrose peuvent également être

mises en évidence par les mêmes séquences. Enfin, la masse myocardique et les flux valvulaires peuvent à ce jour être quantifiés de manière précise et reproductible.

Cardiomyopathies ischémiques classiques

Il s'agit des patients présentant des lésions coronaires sténosantes ou ayant encouru un infarctus myocardique. Les études suivantes peuvent être réalisées en une seule séance.

Cinétique du VG

L'utilisation de séquences ciné en écho de gradient ou plus récemment des séquences ciné de type " *steady state free precession* " permet d'imager les anomalies segmentaires de la contractilité du VG avec une précision comparable à celle de l'échocardiographie. L'avantage par rapport à l'échographie est son indépendance par rapport à la paroi thoracique ou à l'interposition pulmonaire ; elle permet donc de visualiser tous les segments avec une qualité d'image équivalente²³. L'application de lignes ou de grilles de pré-saturation sur le myocarde (" *tagging* ") en début d'acquisition du ciné permet en outre de visualiser de façon plus objective la déformation régionale des parois du VG lors de la progression de la contrainte systolique²⁴ (Figure 3).

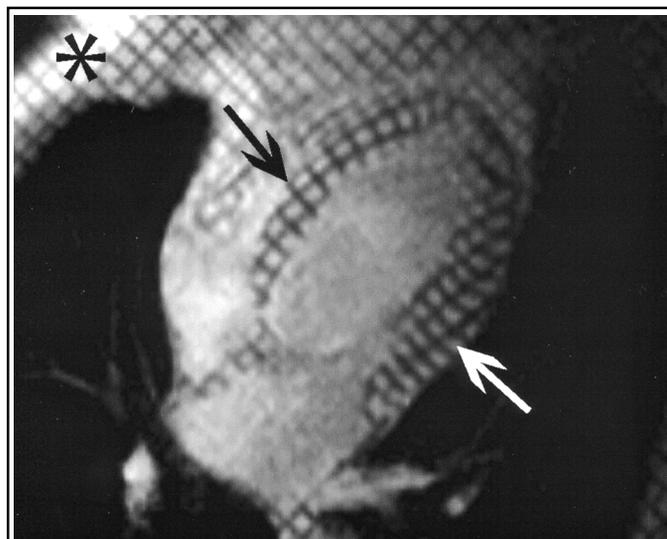


Figure 3 : Illustration de l'application d'une grille de pré-saturation sur le myocarde (" *tagging* "). Chez ce patient souffrant d'un asynchronisme du VG lié à un bloc de branche gauche, on démontre de façon objective une asymétrie de déformation régionale du myocarde entre d'une part le septum (flèche noire) mince, bombant anormalement vers le ventricule droit et dont la grille de pré-saturation apparaît peu modifiée par rapport au référentiel que constitue la paroi thoracique (*) et d'autre part la paroi latérale du ventricule gauche (flèche blanche) présentant un épaississement normal et un aspect plus resserré des mailles de la grille de pré-saturation.

Perfusion myocardique : étude du premier passage du Gadolinium (ou " *first pass* ")

Cette étude est actuellement basée sur l'injection d'un bolus de Gadolinium, produit de contraste à diffu-

sion essentiellement tissulaire, mais dont le premier passage rehausse les cavités cardiaques et les artères coronaires et donc les artérioles du myocarde. Cette séquence va répéter l'acquisition d'une série de coupes à intervalle de temps régulier (à chaque battement cardiaque) pour obtenir la cinétique du rehaussement immédiat du myocarde. De la sorte, une zone hypoperfusée apparaîtra comme hypo-intense par rapport au myocarde voisin présentant un rehaussement normal. Cette technique est comparable à une scintigraphie myocardique de repos, avec comme avantage une meilleure définition spatiale en particulier pour la détection d'une hypoperfusion sous-endocardique²⁵ (Figure 4).

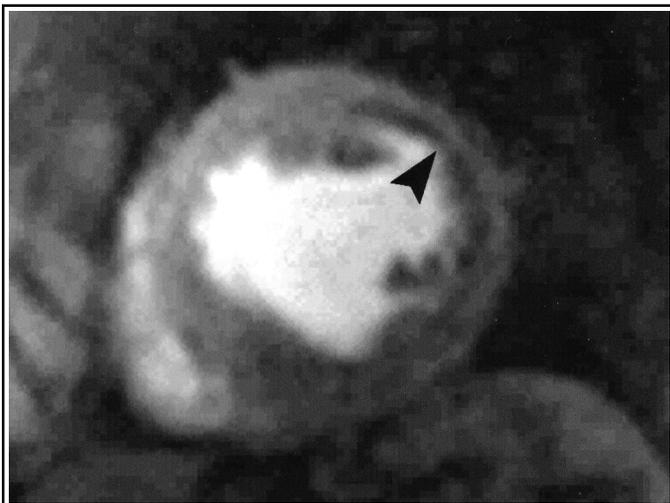


Figure 4 : Etude du premier passage du produit de contraste. Coupe dans le petit axe du ventricule gauche démontrant une hypoperfusion sous-endocardique (tête de flèche) sous la forme d'une bande hypo-intense, de rehaussement moindre que le reste du myocarde.

Viabilité : étude du rehaussement tardif (ou "late enhancement")

Le principe est basé sur la rétention tissulaire du Gd au sein de la fibrose. On réalise l'acquisition des images environ 20 à 30 minutes après l'injection de Gd (celui qui avait été utilisé par l'épreuve du premier passage). A ce moment, le signal du myocarde normal est fortement hypo-intense. Par contre, les zones de myonécrose présentent une prise de contraste tardive persistante hyper-intense (Figure 5). Cette séquence permet de montrer avec précision les segments nécrosés mais également de préciser si l'extension de la nécrose est sous endocardique ou transmurale²⁶. L'inconvénient est de visualiser la fibrose de manière non spécifique par rapport à son étiologie, mais elle apparaît liée aux territoires vasculaires dans les cardiopathies ischémiques et de manière aléatoire dans les autres cas (myocardite, cardiopathie obstructive, etc.). Lorsqu'elle est utilisée pour étudier la viabilité du myocarde après infarctus, cette séquence constitue une technique simple, précise, visualisant directement le myocarde nécrosé, peu coûteuse et peu consommatrice de temps. Par rapport à l'écho de stress qui ap-



Figure 5 : Etude du rehaussement tardif. Coupe dans le petit axe du ventricule gauche. Le myocarde viable apparaît quasiment noir (tête de flèche). Par contre, il existe une prise de contraste hyper-intense (flèche) de toute l'épaisseur de la paroi inférieure du VG, délimitant précisément une zone non viable de nécrose transmurale.

proche indirectement la viabilité par une étude de la réserve contractile, elle a l'avantage d'être directe et peu consommatrice de temps. L'étude de la réserve contractile est également possible en IRM, comme en échographie, après injection de faibles doses de dobutamine (10 µg/kg/min). Quand on la compare aux scintigraphies qui étudient indirectement la viabilité par l'absence de perfusion au repos et au stress, elle a également cet avantage d'être directe, non irradiante et moins coûteuse. Par rapport au PET-Scan, il n'y a pas d'irradiation, la résolution spatiale est meilleure et son coût est nettement moindre. L'IRM est actuellement le standard de référence pour l'évaluation de la viabilité myocardique puisqu'elle apporte les trois informations principales en un seul examen (cinétique, perfusion et visualisation du segment nécrosé).

Imagerie de stress

Les trois modalités les plus couramment employées par les techniques écho et scintigraphiques sont également utilisées en IRM. L'emploi de dobutamine à forte dose (40 µg/kg/min) est possible²⁷. En pratique, elle est souvent mal tolérée par les patients pour lesquels les effets secondaires du produit (palpitations, nausées, céphalées, malaises, hypertension artérielle) s'ajoutent au stress de la présence dans l'univers confiné du tunnel de l'aimant. De la sorte, il conviendra plutôt de s'orienter vers l'injection de dipyridamole ou l'infusion continue d'adénosine. Les contre-indications liées à ces produits devront être scrupuleusement respectées à savoir pour le dipyridamole, les patients préalablement intolérants et les bronchiteux chroniques. Pour l'adénosine, il s'agit de l'asthme, la prise thérapeutique de dipyridamole pour son effet anti-agrégant, les bradycardies excessives et les troubles de la conduction AV. Pour ce type d'épreuves pharmacodynamiques, la présence d'un cardiologue et du matériel adéquat de réanimation est indispensable^{28,29}.

La coronarographie non invasive en IRM

Le rêve d'une imagerie non invasive des artères coronaires n'est pas sur le point d'aboutir dans l'immédiat en IRM, contrairement aux nouveaux CT-scanners multicoupes. Les problèmes rencontrés sont liés à la complexité des mouvements cardiaques dans les trois dimensions de l'espace et à l'interférence avec les mouvements respiratoires. Les séquences actuelles utilisent une angio-IRM en 2D ou 3D avec suppression du signal de la graisse péricoronaire, une synchronisation sur l'ECG et sur les mouvements respiratoires (écho navigateur). Malgré tous ces artifices, seuls les segments des proximaux des artères coronaires peuvent être actuellement imagés souvent d'une façon incomplète dans les centres les plus expérimentés³⁰.

Syndrome X cardiologique

Cette micro-angiopathie coronaire se présente classiquement chez des femmes en préménopause, porteuses de facteurs de risque cardiovasculaire, sous la forme d'un angor d'effort typique avec une épreuve d'effort positive et des coronaires angiographiquement normales. Récemment, l'infusion d'adénosine couplée aux séquences de perfusion a permis de mettre en évidence une couronne sous-endocardique hypoperfusée. Son utilisation en routine doit encore être validée²⁹.

Myocardite

L'inflammation myocardique génère souvent un hypersignal visible sur les séquences "semi-tardives" ("*relative enhancement*"), sous la forme de multiples petits foyers qui prennent le Gd indépendamment des territoires vasculaires³¹.

Mesure de la masse myocardique

En pratique quotidienne, le cardiologue approche aisément le diagnostic d'hypertrophie du VG (HVG) par l'échographie. Cependant, les mesures de la masse VG, des volumes cavitaires et de la fraction d'éjection sont plus précises, plus objectives et plus reproductibles en IRM par la méthode de Simpson. Ainsi, elle peut être utile dans les cas douteux ou ceux ayant une importance médicolegale. Mais l'indication principale est représentée par les études pharmacologiques de régression de l'HVG³².

La quantification de flux

L'encodage de phase des vitesses (VENC) est une forme d'imagerie permettant de quantifier les vitesses dans un plan de section défini au travers d'une structure vasculaire ou d'une cavité cardiaque. Il est ainsi possible d'apprécier le sens et la direction du flux et de le quantifier. Les renseignements obtenus sont proches de ceux calculables en Doppler. Toutefois, l'IRM permet de quantifier directement les débits (D, en mL/min) et permet de mesurer avec précision les fractions régurgitées (FR = D régurgité / D transvalvulaire)⁹.

CONCLUSIONS

L'IRM est un outil devenu multifonctionnel pour l'étude de la pathologie du cœur et des gros vaisseaux thoraciques. Son champ d'application s'est actuellement élargi à quasi l'ensemble de la pathologie cardiaque et notamment la cardiopathie ischémique. A ce stade, elle permet de donner des renseignements supplémentaires par rapport à un bilan standard initial. Cependant, les indications doivent être sélectionnées afin de répondre de manière adéquate à une question posée par le clinicien. A ce jour, la coronarographie non invasive par IRM n'est pas encore d'actualité contrairement aux CT multidétecteurs. De grands progrès sont attendus avec la technologie à 3T. Enfin, la réalisation fructueuse d'IRM cardiaques n'est possible que par la collaboration étroite entre radiologues, qui apportent leur savoir technologique concernant l'IRM, et cardiologues qui apportent leur expérience en imagerie cardiaque et une surveillance adéquate des risques potentiels liés à ces procédures.

BIBLIOGRAPHIE

1. Kastler B : Comprendre l'IRM. Paris, Masson, 2001
2. Shellock FG, Kanal E : Guidelines and recommendations for MR imaging and patients management III. Questionnaire for screening patients before MR procedures. The SMRI Safety Committee. J Magn Reson Imaging 1994 ; 4 : 213-5
3. Duru F, Luechinger R, Scheidegger MB, Lüscher TF, Boesiger P, Candinas R : Pacing in magnetic resonance environment. Clinical and technical considerations on compatibility. Eur Heart J 2001 ; 22 : 113-24
4. Task force of European Society of Cardiology with Association of European Pediatric Cardiologists : The clinical role of magnetic resonance in cardiovascular disease. Eur Heart J 1998 ; 19 : 19-39
5. Barakos JA, Brown JJ, Higgins CB : MR imaging of secondary and paracardiac lesions. AJR Am J Roentgenol 1989 ; 153 : 47-50
6. de Roos A, Weijers E, van Duinen S, Van Der Wall EE : Calcified right atrial myxoma demonstrated by magnetic resonance imaging. Chest 1989 ; 95 : 478-9
7. Sechtem U, Tscholakoff D, Higgins CB : MRI of the abnormal pericardium. AJR Am J Roentgenol 1986 ; 147 : 245-52
8. Helbing WA, Niezen RA et al : Right ventricular diastolic function in children with pulmonary regurgitation after repair of Tetralogy of Fallot : volumetric evaluation by magnetic resonance velocity mapping. J Am Coll Cardiol 1996 ; 28 : 1827-35
9. Bogren HG, Klipstein RH, Firmin DN et al : Quantification of anterograde and retrograde blood flow in the human aorta by magnetic resonance velocity mapping. Am Heart J 1989 ; 117 : 1214-22
10. Blake LM, Scheinman MM, Higgins CB : MR features of arrhythmogenic right ventricular dysplasia. AJR Am J Roentgenol 1994 ; 162 : 809-12
11. Rofsky NM, Adelman MA : MR angiography in the evaluation of atherosclerotic peripheral vascular disease. Radiology 2000 ; 214 : 325-38
12. Prince MR : Gadolinium-enhanced MR aortography. Radiology 1994 ; 191 : 155-64

13. Leung DA, Debatin JF : Three-dimensional contrast-enhanced magnetic resonance angiography of the thoracic vasculature. *Eur Radiol* 1997 ; 7 : 981-9
14. Pereles FS, Mc Carty RM, Baskaran V et al : Thoracic aorta dissection and aneurysm : evaluation with non enhanced true FISP MR angiography in less than 4 minutes. *Radiology* 2002 ; 223 : 270-4
15. Cappeliez O, Baldassarre S, Gosset J, Van Espen J, Divano L : Value of true FISP cine MR angiography in the evaluation of thoracic aorta abnormalities. *J Cardiovasc Magn Reson* 2003 ; 5 : 136 (Abstract)
16. Meaney JF, Weg JG, Chenevert TL, Stafford-Johnson D, Hamilton BH, Prince MR : Diagnosis of pulmonary embolism with magnetic resonance angiography. *N Engl J Med* 1997 ; 336 : 1422-7
17. Anderson LJ, Holden S, Davis B et al : Cardiovascular T2-star (T2*) magnetic resonance for early detection of iron overload. *Eur Heart J* 2001 ; 22 : 2171-9
18. Chandra M, Silverman ME, Oshinski J, Pettigrew R : Diagnosis of cardiac sarcoidosis aided by MRI. *Chest* 1996 ; 110 : 562-5
19. De Cock C, Lemaitre J, Deuvaert FE : Loeffler endomyocarditis : A clinical presentation as a right ventricular tumor. *J Heart Valve Dis* 1998 ; 7 : 668-71
20. von Kemp K, Beckers R, Vandeweghe J, Taeymans Y, Osteaux M, Block P : Echocardiography and magnetic resonance imaging in cardiac amyloidosis. *Acta Cardiol* 1989 ; 44 : 29-36
21. Bogaert J, Goldstein M, Tannouri F, Golzarian J, Dymarkowski S : Late myocardial enhancement in hypertrophic cardiomyopathy with Contrast-Enhanced MR Imaging. *AJR Am J Roentgenol* 2003 ; 180 : 981-5
22. Mc Crohon JA, Moon JC, Prasad SK et al : Differentiation of heart failure related to dilated cardiomyopathy and coronary artery disease using Gadolinium enhanced cardiovascular magnetic resonance. *Circulation* 2003 ; 108 : 54-9
23. Carr JC, Simonetti O, Bundy J, Li D, Pereles FS, Finn JP : Cine MR angiography of the heart with segmented true fast imaging with steady-state precession. *Radiology* 2001 ; 219 : 828-34
24. Zerhouni EA, Parish DM, Rogers WJ, Yang A, Shapiro EP : Human heart : tagging with MR imaging - a new method for non invasive assessment of myocardial motion. *Radiology* 1988 ; 169 : 59-63
25. Schwitter J, Debatin JF, von Schulthess GK, Mc Kinnon GC : Normal myocardial perfusion assessed with multishot echo-planar imaging. *Magn Reson Med* 1997 ; 37 : 140-7
26. Kim RJ, Wu E, Rafael A et al : The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med* 2000 ; 343 : 1445-53
27. Nagel E, Lehmkuhl HB, Bocksch W et al : Non-invasive diagnosis of ischaemia-induced wall motion abnormalities with the use of high dose dobutamine stress MRI : comparison with dobutamine stress echocardiography. *Circulation* 1999 ; 99 : 763-70
28. Baer FM, Smolarz R, Jungehulsing M : Feasibility of high-dose dipyridamole MRI for the detection of coronary artery disease and comparison with coronary angiography. *Am J Cardiol* 1992 ; 69 : 51-6
29. Panting JR, Gatehouse PD, Yang GZ et al : Abnormal subendocardial perfusion in cardiac syndrom X detected by cardiovascular magnetic resonance imaging. *N Engl J Med* 2002 ; 346 : 1948-53
30. Achenbach S, Ropers D, Regenfus M et al : Non invasive coronary angiography by magnetic resonance imaging, electron beam computed tomography and multislice computed tomography. *Am J Cardiol* 2001 ; 88 : 70-3E
31. Friedrich MG, Strohm O, Schulz-Menger J, Marchiak H, Luft FC, Dietz R : Contrast media-enhanced magnetic resonance imaging visualizes myocardial changes in the course of viral myocarditis. *Circulation* 1998 ; 97 : 1802-7
32. Bogaert JG, Bosmans H, Rademakers F et al : Left ventricular quantification with breath-hold MR imaging comparison with echocardiography. *MAGMA* 1995 ; 3 : 5-12

Correspondance et tirés à part :

S. BALDASSARRE
 C.H.U. Ambroise Paré
 Service de Cardiologie
 Boulevard Kennedy 2
 7000 Mons

Travail reçu le 17 juin 2003 ; accepté dans sa version définitive le 13 novembre 2003.