



J. GAROT

Imagerie cardiaque : quoi de neuf ?

L'imagerie cardiaque par résonance magnétique est désormais utilisée en routine pour l'imagerie morphologique et fonctionnelle du cœur, avec un large champ d'applications, notamment dans la pathologie coronaire [1]. Les applications validées de l'IRM cardiaque sont représentées par l'analyse des volumes ventriculaires, de la fraction d'éjection ventriculaire, de la masse myocardique, et de la cinétique segmentaire ventriculaire. Plus récemment, l'imagerie dynamique de la perfusion myocardique au repos ou sous stimulation pharmacologique, et l'imagerie de la viabilité myocardique par IRM de contraste au Gadolinium, fournissent des renseignements uniques pour l'évaluation des patients présentant une pathologie cardiaque ischémique ou non ischémique.

L'année 2006 est marquante par la parution de grandes études qui soulignent le rôle pronostique de l'IRM de contraste chez les patients souffrant d'insuffisance coronaire ou de cardiomyopathie dilatée. Les avancées technologiques de l'IRM concernent essentiellement l'imagerie angiographique non invasive des coronaires avec l'imagerie dite "cœur entier", intéressant un grand volume incluant les 3 artères coronaires épicaudales et leurs branches en une seule acquisition et en respiration libre.

Le scanner multicoups s'impose en 2006 comme la technique non invasive de choix pour l'imagerie angiographique des coronaires. Les progrès technologiques sont rapides et les équipes évaluent déjà la valeur diagnostique des scanners 256 barrettes et des scanners à double foyer de rayons X. Toutefois, cette année 2006 fera référence pour la caractérisation tissulaire du myocarde et l'imagerie haute résolution de l'infarctus par le scanner à rayons X.

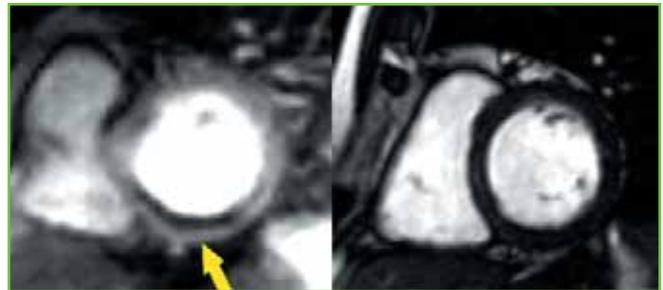


Fig. 1 : IRM de perfusion au premier passage sous dipyridamole montrant un hyposignal de la paroi inférieure et inféro-latérale (à gauche, flèche). Absence de séquelle de nécrose du myocarde sur l'imagerie tardive (à droite).

DETECTION DE L'ISCHEMIE MYOCARDIQUE PAR IRM : VALEUR PRONOSTIQUE ?

L'IRM de stress permet de mettre en évidence une ischémie myocardique réversible au cours d'un test de provocation. Il s'agit soit de l'imagerie de la perfusion myocardique au cours d'une stimulation pharmacologique (adénosine ou dipyridamole) à la recherche d'un défaut segmentaire, soit de l'analyse de la fonction ventriculaire gauche segmentaire en ciné-IRM au cours d'une perfusion de doses croissantes de dobutamine (**fig. 1**).

Les séquences dynamiques d'imagerie de la perfusion myocardique permettent d'acquérir 6-8 niveaux de coupes VG tous les 2 battements cardiaques, de manière continue au cours de la minute suivant l'injection de Gadolinium [2, 3]. La résolution temporelle permet de visualiser et d'étudier la cinétique de distribution myocardique du Gadolinium au cours du premier passage myocardique et jusqu'à l'équilibre, directement reliée à la perfusion myocardique.

La présence d'une ischémie myocardique provoquée est identifiée par un hyposignal au cours du stress associé à une absence de rehaussement tardif au sein du segment myocardique. L'efficacité diagnostique de l'IRM de perfusion lors

Auteurs	Année	Patients (N)	Sensibilité (%)	Spécificité (%)	Comparaison
Schwitzer	2001	66	91/87	94/85	PET/QCA (≥ 50 %)
Ibrahim	2002	59	69/86	89/84	QCA (> 75 %)/PET
Nagel	2003	84	88	90	QCA (≥ 75 %)
Ishida	2003	104	90	85	QCA (≥ 70 %)/PET
Plein	2004	68	88	83	Angiographie (≥ 70 %)
Paetsch	2004	79	91	62	QCA (> 50 %)
Takase	2004	102	93	85	Angiographie (> 50 %)
Giang	2004	80	91	78	QCA (≥ 50 %)
Plein	2005	102	88	82	Angiographie (> 70 %)

TEP : tomographie par émission de positons, QCA : angiographie coronaire quantitative, SPECT : scintigraphie myocardique monophotonique.

Tableau 1 : Efficacité diagnostique de l'IRM de perfusion au cours du stress pharmacologique.

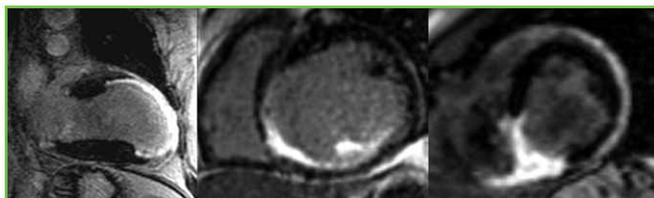


Fig. 2 : Exemples de séquelle de nécrose du myocarde en rehaussement tardif 10 minutes après injection de Gadolinium.

d'un stress pharmacologique pour la mise en évidence d'une insuffisance coronaire est résumée dans le **tableau 1**. Les études cliniques récentes montrent la très bonne valeur diagnostique de cette technique par comparaison à l'angiographie coronaire conventionnelle, la tomographie par émission de positons, et la scintigraphie monophotonique [2-5].

La mise en évidence d'un défaut de perfusion myocardique (hyposignal) au cours d'un stress pharmacologique (adénosine 140 µg/kg/mm ou dipyridamole 0,56-0,84 mg/kg) a une sensibilité et une spécificité équivalentes à la tomographie par émission de positons pour le diagnostic d'insuffisance coronaire, en retenant l'angiographie conventionnelle comme méthode de référence [2]. La valeur diagnostique de l'IRM de stress pour la mise en évidence d'une insuffisance coronaire est encore améliorée si l'examen comporte une étude systématique complémentaire du rehaussement tardif 10-15 minutes après l'injection de Gadolinium [6] (**fig. 2**).

La valeur pronostique de l'IRM de stress sous adénosine est démontrée chez des patients admis aux urgences pour syn-

drome douloureux thoracique compatible avec un syndrome coronarien, mais sans élévation de troponine, et avec un électrocardiogramme non diagnostique. L'étude la plus marquante de cette année 2006 est indéniablement celle d'Ingkanisorn *et al.* qui ont étudié la valeur pronostique de l'IRM de stress chez les patients se présentant aux urgences pour une douleur thoracique compatible mais avec un dosage de troponine négatif [7]. Chez 135 patients et sur un suivi d'un an, Ingkanisorn *et al.* ont rapporté que des anomalies de perfusion mises en évidence au cours du stress ajoutent une valeur pronostique supplémentaire pour prédire la survenue d'un événement (infarctus, décès, diagnostic positif d'insuffisance coronaire) par rapport aux seuls facteurs de risque classiques.

La présence d'une anomalie de perfusion au cours de l'IRM de stress sous adénosine a une sensibilité de 100 % et une spécificité de 93 % pour prédire la présence d'une insuffisance coronaire diagnostiquée dans les 12 mois de suivi. Aucun patient présentant un test négatif n'a eu d'événement clinique coronarien au cours du suivi, indiquant une excellente valeur prédictive négative même si le suivi est relativement court. A la fois la présence de facteurs de risque cardiovasculaire et l'IRM de stress sont des facteurs prédictifs en analyse multivariée. Cependant, la présence d'anomalies de perfusion sur l'IRM de stress ajoute une valeur pronostique péjorative significative par rapport aux facteurs de risque pour prédire le diagnostic d'insuffisance coronaire, la survenue d'un infarctus du myocarde ou un décès.

CARACTERISATION TISSULAIRE DU MYOCARDE PAR LE REHAUSSEMENT TARDIF : VALEUR PRONOSTIQUE ?

1. – Imagerie de l'infarctus du myocarde. Viabilité myocardique

L'IRM permet l'imagerie en haute résolution de l'infarctus du myocarde, qu'il soit récent ou ancien. Elle permet la détermination précise de la taille de l'infarctus, de sa localisation et de son extension transmurale. Parce que la taille de l'infarctus du myocarde est un facteur pronostique déterminant, l'IRM est une technique qui revêt un intérêt potentiel majeur pour stratifier le risque et déterminer le pronostic en post-infarctus. La possibilité nouvelle de visualiser directement le myocarde nécrosé procure des informations directes essentielles sur l'extension du tissu infarcté au sein de segments myocardiques dysfonctionnels.

Ainsi, l'IRM de contraste est utilisée pour détecter la viabilité myocardique. La technique du rehaussement tardif après Gadolinium est validée pour mettre en évidence une viabilité myocardique en cas de dysfonction ventriculaire gauche chronique d'origine ischémique [1, 8]. Elle permet d'identifier, parmi les patients présentant une insuffisance cardiaque, ceux qui vont bénéficier d'une amélioration de la fraction d'éjection et du remodelage ventriculaire après initiation d'un traitement bêtabloquant [9].

Si l'imagerie de l'infarctus du myocarde est classiquement l'apanage de l'IRM, l'année écoulée est marquée par la publication de deux études importantes qui démontrent le potentiel du scanner pour mettre en évidence l'infarctus du myocarde sous la forme d'un rehaussement tardif 5-10 minutes après l'injection d'agent de contraste iodé. Al Lardo *et al.* ont eu le mérite de démontrer le potentiel du scanner pour l'imagerie de l'infarctus du myocarde chez 10 chiens et 7 porcs dans un modèle d'occlusion-reperfusion de l'artère coronaire (ballon d'angioplastie) [10]. L'imagerie a été réalisée à 90 mn ou 8 semaines après la reperfusion. Les infarctus aigus ou plus anciens (2 mois) sont caractérisés expérimentalement par une hyperdensité 5 minutes après injection de l'agent de contraste iodé (150 mL). Les régions d'obstruction microvasculaire sont caractérisées par une hypodensité précoce. Le volume de l'infarctus par le scanner correspond parfaitement à son volume par la coloration au TTC (infarctus aigus $21,1 \pm 7,2\%$ vs $20,4 \pm 7,4\%$; infarctus chroniques $4,2 \pm 1,9\%$ vs $4,9 \pm 2,1\%$, NS).

Le scanner reproduit, en outre, la morphologie et l'extension transmurale de l'infarctus chez tous les animaux. Le pic de

rehaussement du signal et du contraste se situe 5 minutes après l'injection. Les régions d'hypodensité précoce en scanner correspondent aux territoires de perfusion réduite par les microsphères, indiquant une obstruction microvasculaire. Ainsi, le scanner peut préciser la morphologie et l'extension d'un infarctus aigu ou chronique. Cet élément, en association avec l'imagerie coronaire, fait du scanner une technique ayant le potentiel pour une évaluation intégrée et complète de l'insuffisance coronaire. Il faut toutefois remarquer que cette étude est réalisée dans des conditions expérimentales contrôlées et que la dose d'iode injectée n'est pas réaliste en pratique (150 mL pour des animaux de 25-30 kg). Gerber *et al.* ont confirmé la faisabilité de l'imagerie de l'infarctus par scanner chez le porc et ont comparé chez l'Homme le scanner et l'IRM après infarctus aigu ($n = 16$) et en situation d'infarctus chronique ($n = 21$) [11].

Les auteurs montrent une bonne concordance entre scanner et IRM pour détecter l'hyposignal précoce (obstruction microvasculaire) en cas d'infarctus aigu (92 %, $\kappa = 0,54$, $p < 0,001$), ainsi que l'hypersignal tardif en cas d'infarctus aigu ou chronique (82 %, $\kappa = 0,61$, $p < 0,001$). L'extension des zones d'hyposignal précoce sont similaires (6 ± 16 vs 7 ± 16 g, NS), ainsi que celle des zones d'hypersignal tardif (36 ± 34 vs 31 ± 40 g, NS) entre scanner et IRM, avec une corrélation forte ($r = 0,93$ et $r = 0,89$, respectivement, $p < 0,001$). Les auteurs ont également démontré, sur 8 cœurs de lapins présentant un infarctus et perfusés de manière rétrograde, que les cinétiques de wash-in et de wash-out du iomeprol et du chélate de Gadolinium sont comparables dans les régions centrales et périphériques de l'infarctus. Ainsi, cette étude confirme le potentiel du scanner chez l'Homme pour l'imagerie de l'infarctus du myocarde et de la viabilité myocardique, en association avec l'imagerie coronaire non invasive.

2. – Valeur pronostique chez le coronarien stable

L'IRM revêt un rôle pronostique important chez le coronarien stable. Ainsi, le volume de l'infarctus en IRM de contraste est un facteur prédictif plus puissant que la fraction d'éjection pour prédire l'inductibilité d'une tachycardie ventriculaire monomorphe au cours d'une stimulation ventriculaire programmée [12]. Chez des patients coronariens ayant un antécédent d'infarctus du myocarde, la présence et l'étendue d'une zone bordante de moindre contraste (grey zone) en rehaussement tardif à la périphérie de l'infarctus est un facteur pronostique péjoratif majeur sur la mortalité, au-delà même du volume télésystolique et de la fraction d'éjection [13]. Ces données corroborent l'hypothèse que la zone bordante en périphérie de l'infarctus peut constituer un substrat arythmogène important.

Chez des patients ayant une suspicion clinique d'insuffisance coronaire, mais sans antécédent documenté connu d'infarctus du myocarde, la présence d'une cicatrice de nécrose en IRM de contraste (rehaussement tardif) revêt un impact pronostique défavorable [14]. Chez ces patients, la présence d'un rehaussement tardif, même d'étendue limitée, procure des informations pronostiques sur la survenue des événements cliniques majeurs et de la mortalité cardiaque au-delà des facteurs prédictifs usuels cliniques, angiographiques, et de fonction cardiaque (volume télésystolique, fraction d'éjection).

3. – Diagnostic étiologique d'une cardiomyopathie dilatée et valeur pronostique

L'IRM de contraste (rehaussement tardif) peut être très utile pour permettre la distinction entre cardiomyopathie dilatée primitive et cardiomyopathie dilatée d'origine ischémique. Mc Crohon *et al.* ont étudié 90 patients présentant une insuffisance cardiaque et une dysfonction VG systolique (fraction d'éjection moyenne 35 %) [15]. Tous les patients ont bénéficié d'une coronarographie, permettant d'en identifier 63 sans sténose et 27 avec une sténose coronaire. 15 sujets contrôles n'ont pas de rehaussement tardif en IRM. Il est remarquable de constater que tous les patients présentant une insuffisance coronaire présentent des aspects typiques de rehaussement à prédominance sous-endocardique ou transmural, dans un ou plusieurs territoires coronaires systématisés. Parmi les patients ne présentant pas de pathologie coronaire, 59 % n'ont aucun rehaussement tardif, 28 % ont un aspect de rehaussement très distinct, à type de stries linéaires médio-pariétales ou de lésions multinodulaires en patch, de distribution non coronaire. Seulement 13 % de ces patients présentent un rehaussement difficile à distinguer de l'aspect rencontré dans l'insuffisance coronaire. Les auteurs spéculent que ces lésions pourraient correspondre à de réels infarctus myocardiques dont l'évolution est marquée par une recanalisation coronaire spontanée. Ainsi, l'IRM de contraste (rehaussement tardif) s'affirme comme une technique capable de distinguer avec une très bonne fiabilité une cardiomyopathie dilatée primitive d'une cardiomyopathie d'origine ischémique.

Au cours de l'année écoulée, Assomull *et al.* ont étudié la valeur pronostique de la présence de fibrose médiopariétale (rehaussement tardif) au cours des cardiomyopathies dilatées [16]. 101 patients présentant une cardiomyopathie dilatée primitive ont été suivis 2 ans de manière longitudinale. La présence de fibrose médiopariétale en rehaussement tardif est présente dans 35 % des cas. Elle est associée à un taux plus élevé d'événements incluant décès de toute cause et hospitalisation pour un



Fig. 3 : Imagerie angiographique des coronaires par résonance magnétique "cœur entier". Visualisation d'une sténose ulcérée de la CD au segment 2 et d'une sténose serrée au segment 3.

événement cardiovasculaire (RR: 3,4, $p < 0,001$). En analyse multivariée, la présence de fibrose médiopariétale est le seul facteur prédictif indépendant de survenue d'un décès ou d'une hospitalisation. Elle est également un facteur prédictif de survenue de mort subite ou de tachycardie ventriculaire (RR: 5,2, $p < 0,001$). Ces données indiquent que l'IRM devrait avoir une place importante pour la stratification du risque chez les patients porteurs de cardiomyopathie dilatée, et peut-être pour l'aide à la décision d'implantation de stimulateur et/ou de défibrillateur.

IMAGERIE CORONAIRE

L'imagerie coronaire fait la part belle au scanner. Les nouvelles générations sont équipées de 256 barrettes ou d'une nouvelle technologie avec un double faisceau d'énergie. Ce type de machines permet de raccourcir les acquisitions, l'ensemble des données pouvant être obtenues en 2 battements cardiaques pour une irradiation comparable. La dose d'iode injectée peut être réduite. Il est trop tôt pour évaluer précisément leur apport diagnostique réel. L'IRM coronaire permet dorénavant l'imagerie de l'ensemble de l'arbre coronaire en une seule acquisition tridimensionnelle dite "cœur entier" (**fig. 3**). Elle est réalisée en respiration libre, grâce à la technique de l'écho-navigateur permettant une synchronisation des acquisitions sur la position du diaphragme, et sans agent de contraste.

L'imagerie est de très belle qualité et l'efficacité diagnostique est bonne [17]. Sur 131 patients étudiés, 113 (86 %) ont bénéficié d'un examen de qualité suffisante pour permettre le diagnostic. Le temps moyen d'acquisition est de $12,9 \pm 4,3$ mn. Les artères de plus de 2 mm ont été étudiées. En analyse par patient, la sensibilité, spécificité, valeurs prédictives positive et négative, et efficacité diagnostique sont de 82 %, 90 %, 88 %, 86 %, et 87 %, respectivement. En analyse par segment coronaire, ces chiffres sont de 78 %, 96 %, 69 %, 98 %, et 94 %, respectivement.

POINTS FORTS

- Rôle pronostique de l'IRM de contraste chez le coronarien stable avec ou sans antécédent d'infarctus.
- Rôle pronostique de l'IRM de perfusion de stress sous adénosine ou dipyridamole.
- Rôle pronostique de l'IRM de contraste au cours des cardiomyopathies dilatées.
- Imagerie de l'infarctus du myocarde par scanner multicoupes 5-10' après injection.
- Imagerie angiographique des coronaires par résonance magnétique "cœur entier".

CONCLUSION

Au-delà de la valeur diagnostique de l'IRM dans l'exploration de l'insuffisance coronaire, l'année 2006 révèle le potentiel pronostique de cette technique chez des patients coronariens stables, ayant ou non un antécédent d'infarctus.

Chez des patients ayant une suspicion clinique d'insuffisance coronaire sans antécédent documenté d'infarctus du myocarde, la présence d'une cicatrice de nécrose en IRM de contraste (rehaussement tardif) revêt un impact pronostique défavorable.

Chez des patients coronariens ayant un antécédent d'infarctus du myocarde, la présence et l'étendue d'une zone bordante de moindre contraste (zone grise) en périphérie de l'infarctus sur les images de rehaussement tardif constituent un facteur pronostique péjoratif majeur. Une IRM de stress négative est prédictive d'un excellent pronostic à 2 ans.

De manière analogue, la présence d'un rehaussement tardif sous la forme de stries linéaires médiopariétales est un facteur pronostique défavorable puissant au cours de l'évaluation des cardiomyopathies dilatées.

Le scanner ajoute une corde à son arc en permettant l'imagerie en haute résolution, chez l'Homme, de l'infarctus du myocarde. Les nouvelles technologies (256 barrettes, scanner bitubes) sont intéressantes, mais leur apport diagnostique concret doit être évalué. L'IRM des coronaires dite "cœur entier" est une étape fondamentale vers l'objectif peut-être réaliste de disposer à terme d'une technique fiable, robuste et non irradiante pour l'imagerie coronaire non invasive. ■

BIBLIOGRAPHIE

1. PENNELL DJ, SECHTEM UP, HIGGINS CB *et al.* Clinical indications for cardiovascular magnetic resonance: consensus panel report. *Eur Heart J*, 2004; 25: 1940-65.
2. SCHWITTER J, NANZ D, KNEIFEL S *et al.* Assessment of myocardial perfusion in coronary artery disease by magnetic resonance: a comparison with positron emission tomography and coronary angiography. *Circulation*, 2001; 103: 2230-5.
3. WOLFF SD, SCHWITTER J, COULDEN R *et al.* Myocardial first-pass perfusion magnetic resonance imaging. A multicenter dose-ranging study. *Circulation*, 2004; 110: 732-7.
4. NAGEL E, KLEIN C, PAETSCH I *et al.* Magnetic resonance perfusion measurements for the noninvasive detection of coronary artery disease. *Circulation*, 2003; 108: 432-7.
5. WATKINS S, OLDROYD KG, FROHWEIN S. Magnetic resonance myocardial perfusion imaging: a new era in the detection of reversible myocardial ischaemia. *Heart*, 2007; 93: 7-10.
6. KLEM I, HEITNER JF, SHAH DJ *et al.* Improved detection of coronary artery disease by stress perfusion cardiovascular magnetic resonance with the use of delayed enhancement infarction imaging. *J Am Coll Cardiol*, 2006; 47: 1630-8.
7. INKANISORN WP, KWONG RY, BOHME NS *et al.* Prognosis of negative adenosine stress magnetic resonance in patients presenting to an emergency department with chest pain. *J Am Coll Cardiol*, 2006; 47: 1427-32.
8. RAMANI K, JUDD RM, HOLLY TA *et al.* Contrast magnetic resonance imaging in the assessment of myocardial viability in patients with stable coronary artery disease and left ventricular dysfunction. *Circulation*, 1998; 98: 2687-94.
9. BELLO D, SHAH DJ, FARAH GM *et al.* Gadolinium cardiovascular magnetic resonance predicts reversible myocardial dysfunction and remodeling in patients with heart failure undergoing beta-blocker therapy. *Circulation*, 2003; 108: 1945-53.
10. LARDO AC, CORDEIRO MAS, SILVA C *et al.* Contrast-enhanced multidetector computed tomography viability imaging after myocardial infarction: characterization of myocyte death, microvascular obstruction, end chronic scar. *Circulation*, 2006; 113: 394-404.
11. GERBER BL, BELGE B, LEGROS GJ *et al.* Characterization of acute and chronic myocardial infarcts by multidetector computed tomography. *Circulation*, 2006; 113: 823-33.
12. BELLO D, FIENO DS, KIM RJ *et al.* Infarct morphology identifies patients with substrate for sustained ventricular tachycardia. *J Am Coll Cardiol*, 2005; 45: 1104-8.
13. YAN AT, SHAYNE AJ, BROWN KA *et al.* Characterization of the peri-infarct zone by contrast-enhanced magnetic resonance imaging is a powerful predictor of post-myocardial infarction mortality. *Circulation*, 2006; 114: 32-9.
14. KWONG RY, CHAN AK, BROWN KA *et al.* Impact of unrecognized myocardial scar detected by cardiac magnetic resonance imaging on event-free survival in patients presenting with signs or symptoms of coronary artery disease. *Circulation*, 2006; 113: 2733-43.
15. MCCROHON JA, MOON JCC, 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.
16. ASSOMULL RG, PRASAD SK, LYNE J *et al.* Cardiovascular magnetic resonance, fibrosis, and prognosis in dilated cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol*, 2006; 48: 1977-85.
17. SAKUMA H, ICHIKAWA Y, CHINO S *et al.* Detection of coronary artery stenosis with whole heart coronary magnetic resonance angiography. *J Am Coll Cardiol*, 2006; 48: 1946-50.