



J. GAROT  
Institut Hospitalier J. Cartier,  
Pôle Cardiovasculaire, MASSY.

## Imagerie cardiaque : quoi de neuf ?

### IMAGERIE PAR RESONANCE MAGNETIQUE

#### 1. – Les nouveautés en IRM cardiaque de stress

##### ● *Efficacité diagnostique*

L'imagerie dynamique de la perfusion myocardique par résonance magnétique permet d'enregistrer 6 à 8 niveaux de coupes tous les deux battements cardiaques, dans la minute suivant l'injection de gadolinium. L'imagerie est de bonne qualité avec une couverture anatomique complète du VG et une bonne résolution spatiale. **La mise en évidence d'un défaut de perfusion myocardique (hyposignal) par IRM au cours d'un stress pharmacologique (adénosine ou dipyridamole) a une sensibilité et une spécificité équivalente à la TEP pour le diagnostic d'insuffisance coronaire**, en prenant l'angiographie conventionnelle comme référence [1, 2].

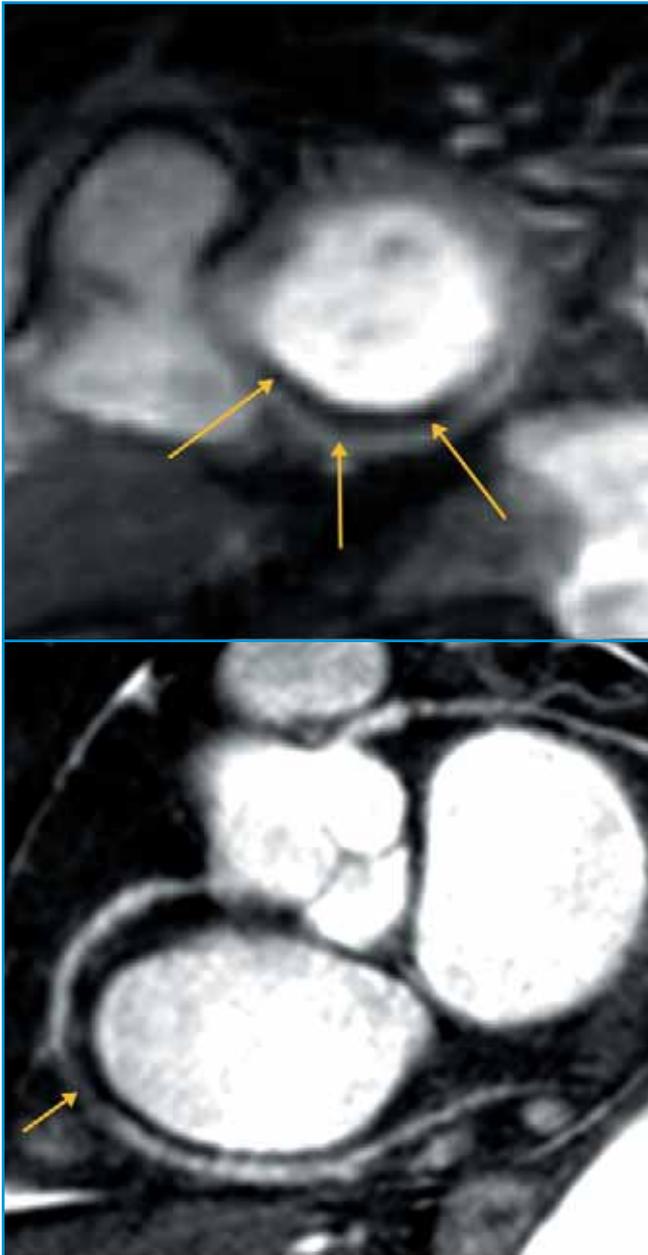
L'IRM de stress est réalisée en 30 mn, avec une bonne tolérance, dans des conditions réglementaires de sécurité (infirmier et médecin qualifiés, matériel de réanimation, monitoring de la pression artérielle, appareil ECG). Cependant, l'efficacité diagnostique de l'IRM de perfusion au cours du stress pharmacologique (adénosine ou persantine) a été démontrée par comparaison à la tomoscintigraphie monophotonique (SPECT) ou la tomographie par émission de positons (TEP) dans des séries prospectives essentiellement monocentriques [1, 2]. La valeur diagnostique de l'IRM n'a pas été comparée à d'autres techniques établies d'imagerie au cours de larges essais multicentriques internationaux.

Dans une étude récente (MR-IMPACT), Schwitter *et al.* [3] rapportent une étude multicentrique internationale prospective et randomisée (18 centres en Europe et aux Etats-Unis), qui compare l'IRM de perfusion au cours du stress pharmacologique (adénosine 0,14 mg/kg/mn) avec la scintigraphie

monophotonique (SPECT) de stress, en prenant l'angiographie coronaire conventionnelle comme méthode de référence (sténose coronaire > 50 %, artère coronaire > 2 mm). 241 patients ont été inclus sur une période d'un an. Au cours de cette étude multicentrique, les IRM ont été réalisées sur 3 types de machines différentes, avec des protocoles standardisés. Les images d'IRM ont été analysées dans un laboratoire central par 3 lecteurs experts indépendants. La prévalence de la maladie coronaire est élevée dans la population étudiée (77 %). Les données ont été interprétées par des courbes ROC et il apparaît que la meilleure performance diagnostique pour l'IRM est obtenue avec la dose de 0,1 mmol/kg de gadolinium. **A cette dose, l'efficacité diagnostique est comparable à celle de la scintigraphie pour la détection de l'ischémie myocardique** (aire sous la courbe de  $0,86 \pm 0,06$  pour l'IRM vs  $0,75 \pm 0,09$  pour le SPECT,  $p = 0,12$ ) ( $n = 42$  patients ont reçu cette dose de 0,1 mmol/kg de Gd). A titre d'exemple, pour une sensibilité de détection (d'au moins une sténose coronaire > 50 %) de 85 %, la spécificité de l'IRM est de 67 %. Si l'on compare l'efficacité diagnostique de l'IRM chez les patients ayant reçu 0,1 mmol/kg de Gd par rapport à l'ensemble de la population ayant bénéficié du SPECT ( $n = 241$ ), l'IRM a une meilleure valeur diagnostique (aire sous la courbe  $0,86 \pm 0,06$  vs  $0,67 \pm 0,05$ ;  $p = 0,013$ ).

**La performance de l'IRM est également supérieure chez les patients bi- ou tritronculaires** ( $0,89 \pm 0,06$  vs  $0,70 \pm 0,05$ ,  $p = 0,006$ ). Chez seulement 2,2 % des patients, les images d'IRM n'ont pas la qualité diagnostique requise. La concordance des interprétations des 3 experts est bonne avec des coefficients kappa entre 0,3 et 0,4, ce qui est comparable à la concordance de l'interprétation des scintigraphies. Aucun décès ou événement grave n'a été déploré dans cette série.

MR-IMPACT représente la plus grande étude multicentrique comparant l'IRM de perfusion et la scintigraphie au cours du stress, et utilise 3 types de machines d'IRM différentes. A ce titre, elle procure une vision probablement plus exacte de la réelle performance diagnostique de l'IRM de stress en pratique clinique, par rapport à celle publiée au cours des essais monocentriques sur une seule machine. Toutefois, dans ces conditions, la performance diagnostique de l'IRM de perfusion de stress reste élevée à la dose optimale de 0,1 mmol/kg



**Fig. 1 :** Image en petit axe du VG extraite d'une séquence d'imagerie dynamique de perfusion par RM, montrant un hyposignal (noir) sous-endocardique inféro-basal au cours du stress (flèches). Le patient présentait une sténose serrée du segment 2 de la CD (angiographie coronaire par RM, flèche).

de Gd. Cette étude souligne la bonne valeur diagnostique de l'IRM de stress par rapport à la scintigraphie et renforce le rôle de cette technique dans les centres expérimentés pour la détection de l'ischémie myocardique (fig. 1). Cet examen intégré de 30 mn, non irradiant, permet dans le même temps une étude précise de la fonction VG/VD et de la viabilité myocardique.

● **Valeur pronostique**

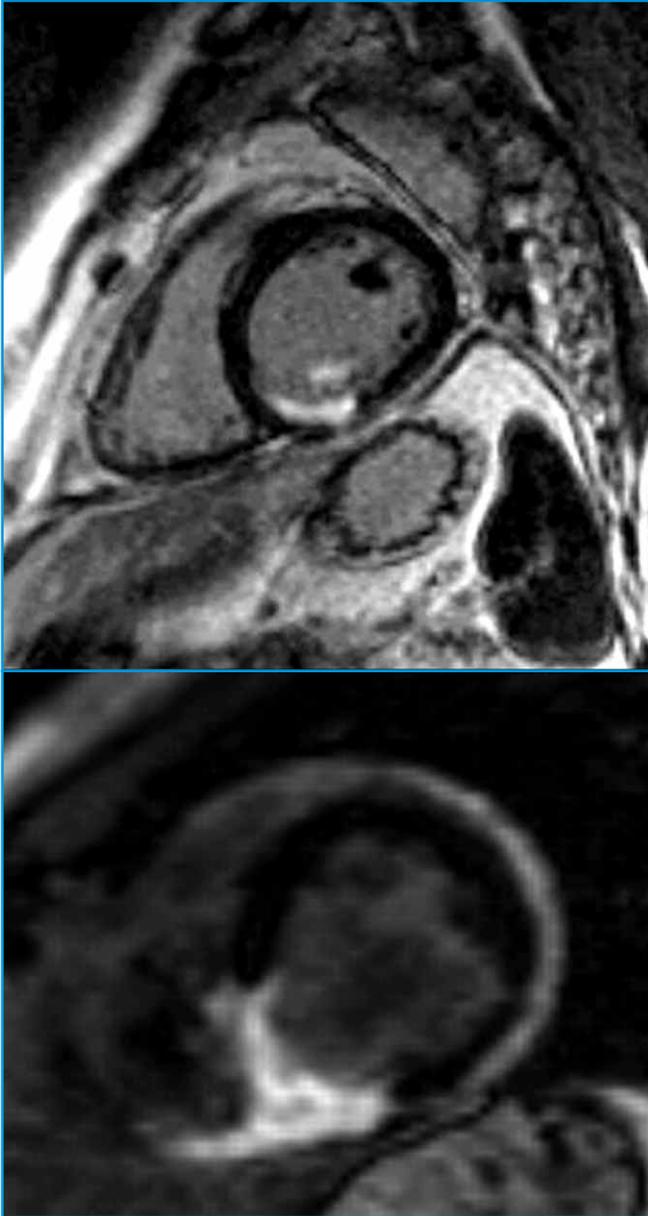
Récemment, Bodi *et al.* ont étudié la valeur pronostique de l'IRM de perfusion au cours du stress au dipyridamole chez 420 patients ayant présenté une douleur thoracique ou ayant une suspicion d'insuffisance coronaire [4]. L'analyse a porté au niveau des 17 segments myocardiques sur l'étude de la perfusion, de la fonction VG segmentaire, et également de la présence ou non d'un rehaussement tardif (séquelle d'infarctus du myocarde). La survenue d'événements cardiaques majeurs (décès d'origine cardiaque, infarctus non fatal, hospitalisation pour syndrome coronaire aigu) sur un suivi de 18 mois est plus fréquente en cas d'anomalies de la fonction VG au repos (22 vs 5 %), d'apparition de nouvelles anomalies fonctionnelles au cours du stress (21 vs 4 %), de déficit de perfusion au cours du stress (17 vs 5 %) et de rehaussement tardif (20 vs 6 %,  $p < 0,0001$ ). En analyse multivariée, **l'étendue de l'anomalie de fonction VG segmentaire au cours du stress est un facteur prédictif indépendant de la survenue d'un événement cardiovasculaire majeur** (RR : 1,15 ;  $p = 0,0006$ ).

Jahnke *et al.* ont étudié, chez 513 patients ayant une coronaropathie suspectée ou connue, la valeur pronostique de l'IRM de stress de perfusion sous adénosine et de l'IRM sous forte dose de dobutamine [5]. Ces deux examens étaient réalisés au cours d'une même session et le suivi moyen a été de 2,3 ans. La survie sans événement est de 99,2 % à 3 ans chez les patients ayant une IRM de stress négative. En analyse multivariée, la présence d'une ischémie identifiée au cours du stress est un facteur prédictif indépendant de la survenue d'un événement cardiovasculaire majeur (décès d'origine cardiaque et infarctus non fatal). La détection d'une ischémie en IRM de stress comporte une valeur pronostique ajoutée par rapport aux facteurs de risque et à la présence d'une anomalie de fonction VG au repos ( $p < 0,001$ ).

**2. – Rehaussement tardif : valeur diagnostique et pronostique**

● **Cardiopathies ischémiques**

Durant les 10 à 15 mn suivant son injection, le gadolinium s'accumule dans la zone de l'infarctus (espace interstitiel augmenté, lavage ralenti) qui apparaît en hypersignal (blanc) (fig. 2). Cette imagerie directe en haute résolution de l'infarctus du myocarde est très sensible et permet la détection de petits infarctus non transmuraux [6]. **La supériorité de l'IRM par rapport aux méthodes scintigraphiques est**



**Fig. 2 :** Imagerie petit axe du VG en inversion-récupération montrant une séquelle non transmurale, d'infarctus inférieur chez un patient A (en haut, hypersignal) et une séquelle transmurale chez un patient B (en bas). Notez l'atteinte du muscle papillaire chez A et l'extension au VD chez B.

démontrée et réaffirmée en 2007 pour l'imagerie des nécroses sous-endocardiques notamment [7-9]. 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 infarci au sein de segments myocardiques dysfonctionnels.** La technique du rehaussement tardif après gadolinium est validée pour mettre en évidence une viabilité myocardique en cas de dysfonction VG chronique d'origine ischémique [8, 10]. 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 bêta-bloquant [11].

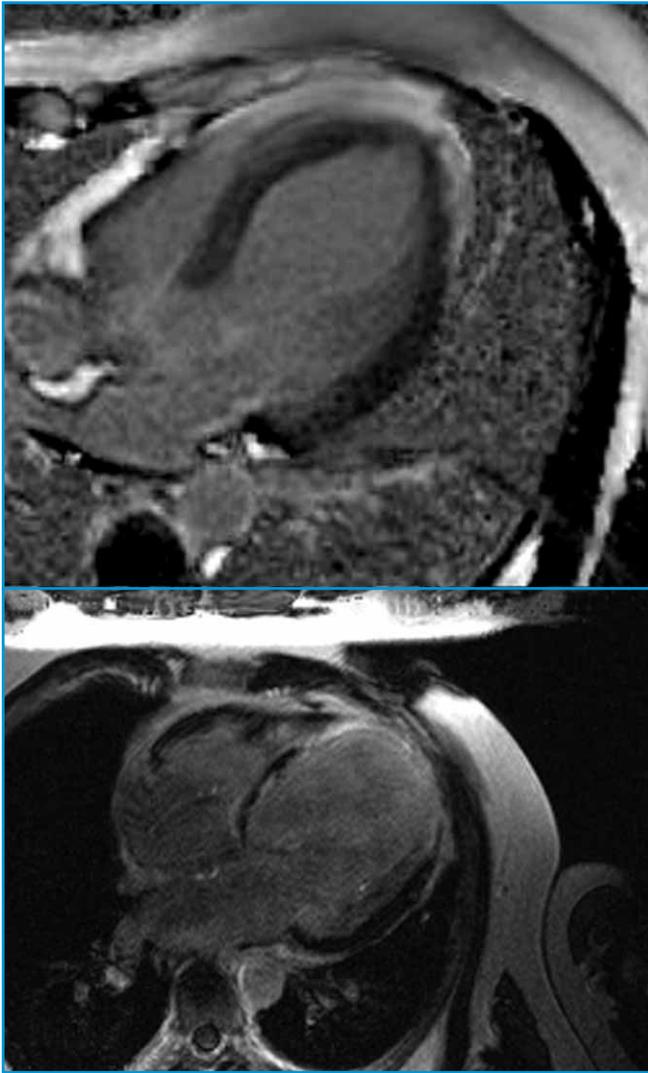
L'IRM revêt un rôle pronostique important chez le coronarien stable. Ainsi, **le volume de l'infarctus en IRM de contraste est un facteur prédictif plus puissant que la fraction d'éjection pour prédire l'inductibilité d'une tachycardie ventriculaire monomorphe au cours d'une stimulation ventriculaire 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 télé-systolique 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 télé-systolique, fraction d'éjection).

#### ● Autres cardiomyopathies

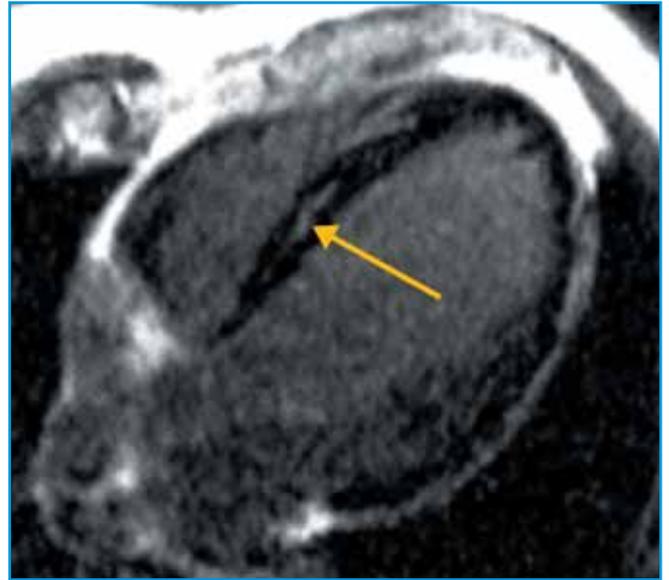
➤➤➤ L'IRM de contraste (rehaussement tardif) peut être très utile pour permettre la distinction entre cardiomyopathie dilatée primitive et cardiomyopathie dilatée d'origine ischémique [15] (**fig. 3**). Assomull *et al.* ont étudié la valeur pronostique de la présence de fibrose médiopariétale (rehaussement tardif) au cours des cardiomyopathies dilatées [16] (**fig. 4**). 101 patients présentant une cardiomyopathie dilatée primitive ont été suivis 2 ans de manière longitudinale. La fibrose médiopariétale en rehaussement tardif est présente dans 35 % des cas. Elle est associée à un taux plus élevé d'événements incluant décès de



**Fig. 3 :** Patient présentant une cardiomyopathie dilatée primitive à coronaires saines et sans séquelle d'infarctus en rehaussement tardif (en haut). Patient présentant une cardiomyopathie dilatée d'origine ischémique avec une large séquelle transmurale d'infarctus antéro-septo-apical (hypersignal, en bas).

toute cause et hospitalisation pour un 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.**

>>> Chalil *et al.* ont rapporté une étude intéressante en proposant **un index d'asynchronisme intraventriculaire** sur les



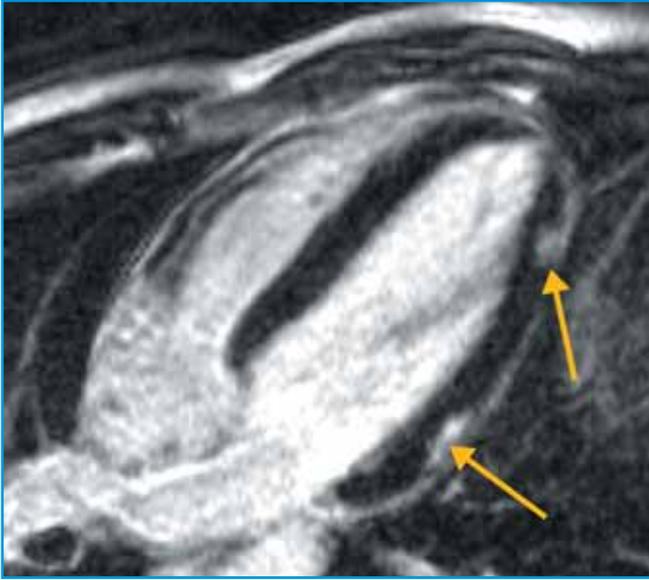
**Fig. 4 :** Imagerie de rehaussement tardif après injection de gadolinium en vue apicale 4C, présence d'une bande linéaire médiopariétale de fibrose (flèche) dont la prévalence est de 35 % au cours des cardiomyopathies dilatées primitives.

images ciné-IRM en petit axe chez des patients présentant une insuffisance cardiaque. Bien que cet index soit peu ou pas validé par rapport à d'autres techniques, les auteurs montrent un impact pronostique fort de l'amélioration de cet index après une resynchronisation par stimulation multisite chez ces patients [17].

### 3. – Douleur thoracique, élévation de troponine et absence de lésion coronaire : une aide précieuse apportée par l'IRM

>>> En cas de douleur thoracique compatible avec un syndrome coronaire aigu, le dosage des troponines permet une évaluation diagnostique ainsi qu'une stratification du risque. Cependant, une proportion substantielle de patients ayant une élévation des troponines n'ont pas de lésion coronaire à la coronarographie. Assomull *et al.* rapportent une étude chez 60 patients consécutifs (âge moyen 44 ans, 72 % d'hommes) admis pour douleur thoracique aiguë (> 30 mn) avec élévation de troponine, et une coronarographie ne montrant pas de lésion significative [18]. L'ECG était pathologique à l'admission chez 92 % des patients avec une prévalence forte (40 %) de sus-décalage du segment ST.

Tous les patients ont bénéficié au décours de la phase aiguë d'une IRM avec évaluation de la fonction ventriculaire (ciné-IRM), une imagerie sang noir pondérée T2 à la recherche de foyers inflammatoires (myocardite), et une imagerie de rehaussement tardif permettant de caractériser la



**Fig. 5 :** Imagerie de rehaussement tardif après injection de gadolinium en vue apicale 4C, présence de 2 prises de contraste nodulaires, sous-épicaudiques, au niveau de la paroi latérale (flèches), typiques de myocardite.

nécrose/fibrose. L'IRM permet de mettre en évidence une cause expliquant l'élévation de troponine dans 65 % des cas : la cause la plus fréquente est la myocardite (50 %) (**fig. 5**), puis l'infarctus du myocarde dans 11,6 %, et une cardiomyopathie dans 3,4 % (Tako-Tsubo: 1,7 %). Parmi les 35 % de patients n'ayant pas de lésion retrouvée en IRM, cet examen permet d'éliminer la présence d'un infarctus ou de fibrose. **Ainsi, ce travail confirme que l'IRM est une technique d'aide très précieuse au diagnostic dans ces situations difficiles et que cet examen a un impact fort sur la sanction thérapeutique chez ces patients.** Par exemple, l'infarctus secondaire à une rupture de plaque suivie d'une recanalisation nécessite un traitement classique de prévention secondaire, ce qui n'est pas le cas pour les myocardites ou le Tako-Tsubo. La valeur pronostique de l'IRM dans ce contexte n'est pas connue.

**>>> La valeur pronostique de l'IRM de stress sous adénosine est démontrée chez des patients admis aux urgences pour syndrome douloureux thoracique compatible avec un syndrome coronarien, un électrocardiogramme non diagnostique, et sans élévation de troponine.** 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. 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 [19].

## SCANNER MULTICOUPE

### 1. – Il est admis que la valeur prédictive négative du scanner est excellente chez des patients à risque faible ou modéré de présenter une insuffisance coronaire

Chez ces patients, un scanner coronaire ne mettant pas en évidence de lésions coronaires permet d'exclure la présence de la maladie avec une exactitude de 98-99 %. Cette exclusion revêt un impact pronostique favorable [20]. Par contre, les chiffres de valeur prédictive positive sont plus décevants et dépendent de la prévalence de la maladie dans la population étudiée. Chez les patients plus difficiles à étudier en imagerie (calcifications, rythme cardiaque plus rapide, arythmie, prévalence plus élevée, moins bonne qualité d'apnée...), la valeur prédictive négative est moins bien précisée, mais surtout la valeur du scanner pour prédire la présence et l'étendue des lésions n'est pas connue.

En 2007, une étude a été présentée, visant à mieux préciser le rôle et la place du scanner coronaire dans une population de patients à prévalence assez élevée de présenter une insuffisance coronaire. Cette étude – **CORE-64** – est un essai prospectif multicentrique international évaluant l'efficacité diagnostique du scanner 64 coupes comparée à l'angiographie conventionnelle. Neuf centres ont participé dans 7 pays. Outre son caractère multicentrique international, l'étude est présentée comme s'adressant, de manière non ou peu sélectionnée, à des patients à risque moyen ou élevé de présenter une insuffisance coronaire ou ayant une coronaropathie connue. Les critères d'inclusion étaient les suivants : patients de plus de 40 ans avec une coronaropathie suspectée ou connue, pour lesquels une coronarographie est demandée. Le scanner est alors réalisé avant la coronarographie et les deux examens sont analysés en aveugle dans des centres indépendants de relecture. La coronarographie est réalisée au maximum 30 j après le scanner et les patients sont suivis à J30 et 6 mois pour évaluer la réalisation éventuelle d'un geste de revascularisation.

Les auteurs ont comparé les segments coronaires de plus de 1,5 mm, exclu les stents coronaires, et exclu a posteriori les patients ayant un score calcique > 600. Au total, 405 patients ont signé le consentement, 89 ayant un score calcique > 600 ont été exclus. Par ailleurs, 25 patients supplémentaires n'ont

pas été analysés en raison de déviations au protocole. Au total, 291 patients ont été analysés, représentant 868 artères et 3 782 segments coronaires.

La population étudiée est constituée de 74 % d'hommes, d'âge médian 59 ans (52-66), avec un BMI moyen à 27. La fraction d'éjection est normale (63 %) et le score calcique médian est faible à 80 (1-244). L'ensemble des segments coronaires a pu être évalué chez 97 % des patients (282/291), 98 % des vaisseaux ont pu être analysés (854/868), et 95 % des segments coronaires (3 763/3 782). Pour le critère primaire d'évaluation, l'analyse quantitative au scanner a permis de mettre en évidence une courbe ROC avec une surface sous la courbe à 0,93, une sensibilité à 85 %, une spécificité à 90 %, une valeur prédictive positive à 0,91 et une valeur prédictive négative à 0,83 par rapport à la coronarographie quantitative (QCA, sténose > 50 %). La prévalence de l'insuffisance coronaire dans la population étudiée est de 56 %. Pour l'analyse par vaisseaux, la surface sous la courbe est à 0,91, avec une sensibilité à 76 %, une spécificité à 93 %, une valeur prédictive positive à 82 % et une valeur prédictive négative à 89 %. En analyse par patient, la surface sous la courbe ROC est de 0,84 au scanner pour prédire une revascularisation et de 0,82 pour la coronarographie.

Les auteurs concluent que la valeur diagnostique du scanner coronaire est bonne par rapport à la coronarographie conventionnelle dans cette population de patients à prévalence élevée de maladie coronaire (56 %). L'efficacité diagnostique du scanner est plus marquée en analyse par patient. Enfin, ils affirment que le scanner 64 coupes peut être utilisé chez des patients ayant une coronaropathie suspectée et un score calcique < 600 pour déterminer la présence d'une insuffisance coronaire et prédire la nécessité d'une revascularisation coronaire.

Certaines limites importantes doivent être mises en avant :

- la présentation de l'étude (prospective multicentrique internationale) et les conclusions font penser à tort que ces résultats s'appliquent à une population large de patients, ayant une probabilité moyenne/élevée de présenter une insuffisance coronaire ou coronariens connus. Or il faut remarquer que les patients ont été très sélectionnés dans cet essai. En effet, sur 405 patients ayant signé un consentement, seulement 291 entrent dans l'analyse finale. Les patients étudiés ont un score calcique faible (médian 80, max 244). Les segments coronaires stentés sont exclus. La période d'inclusion d'un an dans 7 centres à haut volume n'a permis de retenir que 291 patients, soit environ 45 patients/centre en un an, ce qui apparaît faible par rapport aux critères assez larges d'inclusion.

Ces données indiquent que les patients n'ont pas été inclus de manière consécutive, et qu'il existe vraisemblablement un biais de sélection,

- le critère de jugement "nécessité de revascularisation" est des plus critiquables. Il est éminemment subjectif, la décision thérapeutique appartenant au cardiologue du patient, sur des bases qui sont elles-mêmes incertaines.

Ainsi, **les conclusions de CORE-64 devraient être pondérées** et indiquer que sur une population de patients ayant une prévalence assez élevée de maladie coronaire, mais à faible score calcique et en excluant les stents coronaires, l'efficacité diagnostique du scanner coronaire est acceptable pour mettre en évidence les sténoses coronaires significatives, avec toutefois une efficacité diagnostique moindre que celle admise pour l'exclusion de la maladie coronaire chez des patients à risque faible ou modéré.

## 2. – En cas de syndrome coronaire aigu suspecté

Le scanner 64 coupes a été testé pour éliminer un syndrome coronaire aigu chez 58 patients admis aux urgences pour une douleur thoracique aiguë prolongée, possiblement d'origine coronaire, mais sans modifications ECG ni élévation de troponine [21]. Par comparaison à la scintigraphie et/ou la coronarographie, le scanner a une sensibilité, spécificité, valeur prédictive positive, et négative, de 100 %, 92 %, 87 %, et 100 %, respectivement. **Un scanner coronaire normal revêt un impact pronostique avec un taux très faible d'événements cardiovasculaires majeurs sur un suivi de 15 mois.**

## 3. – Progrès technologiques

A. Einstein *et al.* attirent l'attention sur les risques carcinologiques non négligeables inhérents à l'irradiation du scanner coronaire [22]. Ce risque est plus important chez les femmes, les sujets jeunes, en cas de scanner cardiaque et aortique combiné et en l'absence de technique de modulation de dose.

En 2007, de nouvelles techniques d'acquisition se développent dans l'optique de réduire la dose d'irradiation. A titre d'exemple, apparaissent les acquisitions segmentaires avec synchronisation prospective ("step and shoot...") qui n'enregistrent les données qu'à une phase prédéfinie du cycle cardiaque [23]. Elles permettent une réduction significative de la dose (jusqu'à 2-3 mSv), mais le rythme cardiaque doit être particulièrement bas et régulier (< 65/mn), et les reconstructions rétrospectives de l'ensemble des phases au cours du cycle ne sont plus possibles (pas d'étude de la fonction VG). De même,

le choix des différentes phases de reconstruction des artères coronaires n'est plus permis. Cet élément pose un problème réel lorsque l'on sait que les phases optimales peuvent être différentes entre la coronaire gauche et la coronaire droite.

D'autres méthodes sont développées, comme la synchronisation rétrospective avec modulation de dose, la dose étant en général réduite durant la systole, et plus forte en diastole lors de la phase d'immobilité coronaire optimale. La dose peut être réduite de plus de 50 %, mais cette technique nécessite une fréquence cardiaque basse et régulière.

Par ailleurs, le scanner à double faisceau d'énergie (bi-tube) permet de réduire la résolution temporelle d'un facteur 2 par rapport au scanner 64 coupes (83 ms vs 165 ms). Une étude récente montre l'efficacité diagnostique du scanner à double faisceau d'énergie chez 100 patients symptomatiques (douleurs thoraciques atypiques 18 %, angor 55 %, syndrome coronaire aigu 27 %) par comparaison à la coronarographie [24]. L'augmentation du nombre de détecteurs (256 puis 320 coupes) permet d'envisager d'acquérir l'ensemble du volume cardiaque (16 mm sur l'axe des z) en une rotation du tube. Ces scanners offrent une acquisition plus rapide et permettent des examens souvent de qualité diagnostique pour des fréquences cardiaques plus élevées qu'avec les scanners 64 coupes. Par contre, la variabilité de fréquence cardiaque et le calcium restent sources d'artefacts. □

## BIBLIOGRAPHIE

- PANTING JR, GATEHOUSE PD, YANG GZ *et al.* Echo-planar magnetic resonance myocardial perfusion imaging: parametric map analysis and comparison with thallium SPECT. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2001; 13: 192-200.
- 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.
- SCHWITTER J, WACKER CM, VAN ROSSUM AC *et al.* MR-IMPACT: comparison of perfusion cardiac magnetic resonance with single-photon emission computed tomography for the detection of coronary artery disease in a multicentre, multivendor, randomized trial. *Eur Heart J*, 2008; 29: 480-9.
- BODI V, SANCHIS J, LOPEZ-LEREU MP *et al.* Prognostic value of dipyridamole stress cardiovascular magnetic resonance imaging in patients with known or suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*, 2007; 50: 1174-9.
- JAHNKE C, NAGEL E, GEBKER R *et al.* Prognostic value of cardiac magnetic resonance stress tests. Adenosine stress perfusion and dobutamine stress wall motion imaging. *Circulation*, 2007; 115: 1769-76.
- RICCIARDI MJ, WU E, DAVIDSON CJ, CHOI KM, KLOCKE FJ, BONOW RO, JUDD RM, KIM RJ. Visualization of discrete microinfarction after percutaneous coronary intervention associated with mild creatine kinase-MB elevation. *Circulation*, 2001; 103: 2780-3.
- WAGNER A, MAHRHOLDT H, HOLLY TA, ELLIOTT MD, REGENFUS M, PARKER M, KLOCKE FJ, BONOW RO, KIM RJ, JUDD RM. Contrast-enhanced MRI and routine single photon emission computed tomography (SPECT) perfusion imaging for detection of subendocardial myocardial infarcts: an imaging study. *Lancet*, 2003; 361: 374-9.
- KUHL HP, BEEK AM, VAN DER WEERDT AP, HOFMAN MB, VISSER CA, LAMMERTSMA AA, HEUSSEN N, VISSER FC, VAN ROSSUM AC. Myocardial viability in chronic ischemic heart disease: comparison of contrast-enhanced magnetic resonance imaging with (18) F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol*, 2003; 41: 1341-8.
- IBRAHIM T, BULOW HP, HACKL T *et al.* Diagnostic value of contrast-enhanced magnetic resonance imaging and single-photon emission computed tomography for detection of myocardial necrosis early after acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol*, 2007; 49: 208-16.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- CHALIL S, STEGEMANN B, MUHYALDEEN S *et al.* Intraventricular dyssynchrony predicts mortality and morbidity after cardiac resynchronization therapy. A study using cardiovascular magnetic resonance tissue synchronization imaging. *J Am Coll Cardiol*, 2007; 50: 243-52.
- ASSOMULL RG, LYNE JC, KEENAN N *et al.* The role of cardiovascular magnetic resonance in patients presenting with chest pain, raised troponin, and unobstructed coronary arteries. *Eur Heart J*, 2007; 28: 1242-9.
- INGKANISORN 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.
- GILARD M, LE GAL G, CORNILY JC *et al.* Midterm prognosis of patients with suspected coronary artery disease and normal multislice computed tomographic findings: a prospective management outcome study. *Arch Intern Med*, 2007; 167: 1686-9.
- RUBINSSTEIN R, HALON DA, GASPAR T *et al.* Usefulness of 64-slice cardiac computed tomographic angiography for diagnosing acute coronary syndromes and predicting clinical outcome in emergency department patients with chest pain of uncertain origin. *Circulation*, 2007; 115: 1762-8.
- EINSTEIN AJ, HENZLOVA MJ, RAJAGOPALAN S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA*, 2007; 298: 317-23.
- HUSMANN L, VALENTA I, GAEMPERLI O *et al.* Feasibility of low-dose coronary CT angiography: first experience with prospective ECG gating. *Eur Heart J*, 2008; 29: 191-7.
- WEUSTINK AC, MEIJBOOM WB, MOLLET NR *et al.* Reliable high-speed coronary computed tomography in symptomatic patients. *J Am Coll Cardiol*, 2007; 50: 786-94.