

LE DOSSIER

Evaluation de l'ischémie myocardique

Evaluation de l'ischémie myocardique : quelles sont les bonnes indications de l'IRM de stress ?

RÉSUMÉ : L'IRM de stress est une technique arrivée à maturité. Deux modalités de stress sont disponibles (imagerie de perfusion sous agent vasodilatateur avec injection de gadolinium ; ciné-IRM sous dobutamine). Ces techniques ont une très bonne valeur diagnostique par comparaison aux techniques existantes.

L'IRM de perfusion a une valeur diagnostique supérieure à celle de la scintigraphie chez les patients pluritronculaires. L'IRM de stress permet de préciser la localisation et l'étendue de l'ischémie myocardique, éléments déterminants pour porter l'indication d'une revascularisation.

L'IRM apporte de nombreuses informations complémentaires (morphologie, fonction, viabilité) en un seul examen de 30-40 mn, non irradiant, et pour un coût modeste. Elle comporte une excellente valeur pronostique et peut être réalisée dans des conditions de sécurité équivalentes à celles des autres techniques.

Les indications sont réservées en priorité aux patients symptomatiques à risque intermédiaire ou élevé qui ne peuvent fournir un effort maximal ou pour lesquels le test d'effort n'est pas contributif.



→ J. GAROT, M. MANA,
F. SANGUINETI
IRM Cardiovasculaire – ICPS,
Hôpital Jacques Cartier, MASSY.

La détection de l'ischémie myocardique est cruciale dans la prise en charge des patients coronariens ou ayant une insuffisance coronaire suspectée. Au-delà de l'étude anatomique, cette approche a l'avantage de préciser le retentissement fonctionnel des sténoses coronaires. Par la détection d'une ischémie myocardique, son extension, elle permet de mieux stratifier le pronostic et les indications de revascularisation.

L'IRM de stress, non irradiante et sans danger, permet de préciser la localisation et l'extension d'une ischémie myocardique, tout en procurant des informations complémentaires nombreuses (anatomie cardiaque, fonction VG/VD, viabilité myocardique).

Deux grandes modalités d'IRM de stress sont disponibles :

- l'imagerie de perfusion au cours d'un stress sous adénosine ou dipyridamole,
- l'IRM en mode ciné sous dobutamine.

Protocoles d'IRM de stress

1. IRM de perfusion

L'imagerie dynamique de perfusion permet l'étude du passage transmyocardique d'un agent de contraste (gadolinium) immédiatement après son injection (0,1 mmol/kg IV ; 4-5 cm³/s). La distribution tissulaire du gadolinium est proportionnelle à la perfusion myocardique. Le stress est obtenu par une injection lente de dipyridamole (0,56–0,84 mg/kg), l'imagerie de perfusion étant acquise après l'injection. Il peut également être obtenu par une injection à débit constant de 140 µg/kg/mn d'adénosine, l'imagerie étant acquise pendant l'injection. Les principaux effets secondaires de ces drogues sont transitoires. Leurs contre-indications comprennent les BAV de haut degré, l'asthme, un AVC récent < 1 mois, et la présence de sténoses carotidiennes serrées bilatérales.

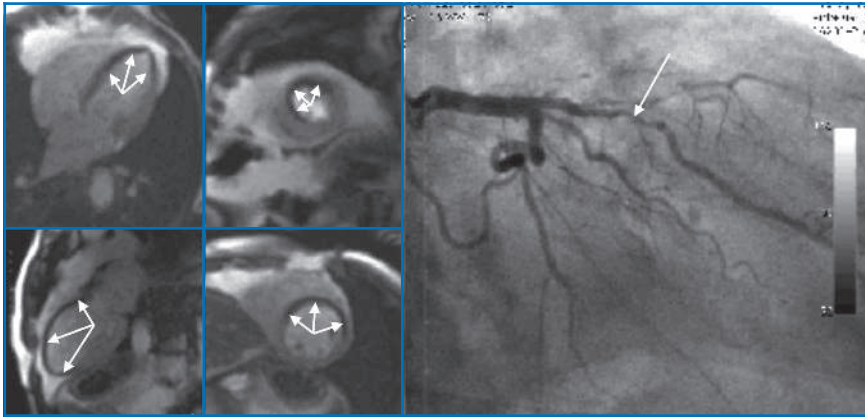


FIG. 1 : IRM de stress de perfusion lors du premier passage de gadolinium obtenue 3 mn après injection de 0,84 mg/kg de dipyridamole chez un patient symptomatique ayant une épreuve d'effort sous-maximale. Il existe une zone d'hypoperfusion sous-endocardique au niveau de la paroi antéro-septo-apicale au cours du stress (flèches), témoignant d'une anomalie de réserve de perfusion myocardique. Aucun foyer de rehaussement tardif, donc pas de séquelle de nécrose (image non montrée). Sténose de l'IVA (flèche).

La présence d'un hyposignal au sein d'un ou plusieurs segments myocardiques témoigne d'une hypoperfusion relative par rapport aux territoires sains (**fig. 1**). L'imagerie permet une couverture anatomique complète du VG avec une bonne résolution spatiale. L'imagerie de rehaussement tardif est obtenue 10 minutes après l'injection de gadolinium, afin de déterminer la présence éventuelle et l'extension de foyers d'infarctus. L'examen est réalisé en une session de 30 minutes (ciné-IRM avant et après stress, imagerie de perfusion au cours du stress, rehaussement tardif).

2. Ciné-IRM sous dobutamine

Le ciné-IRM est acquis avec une synchronisation ECG rétrospective, au cours d'apnées brèves et répétées. Les images permettent une très bonne visualisation de l'endocarde sans recours à un agent de contraste. Plusieurs niveaux de coupe (4 à 6 en général), en vues petit axe et grand axe, sont acquis de base et sous doses croissantes de dobutamine (10 à 50 µg/kg/min, ±1 mg d'atropine), perfusée à débit constant. Les mêmes vues du VG sont acquises à chaque palier de dose, toutes les 3 minutes. L'objectif est d'atteindre la fréquence maximale théorique

ou à défaut > 85 % de la FMT. Les bêta-bloquants sont arrêtés 48 heures avant. L'examen se déroule sous surveillance rapprochée (communication orale, monitoring de la PA, de l'ECG, de la SaO₂, visualisation des images ciné-IRM).

Le test est positif en cas d'apparition d'une nouvelle anomalie de cinétique segmentaire dans au moins 2 segments myocardiques contigus (**fig. 2**). Il est négatif lorsqu'aux doses maximales de dobutamine et à plus de 85 % de la FMT,

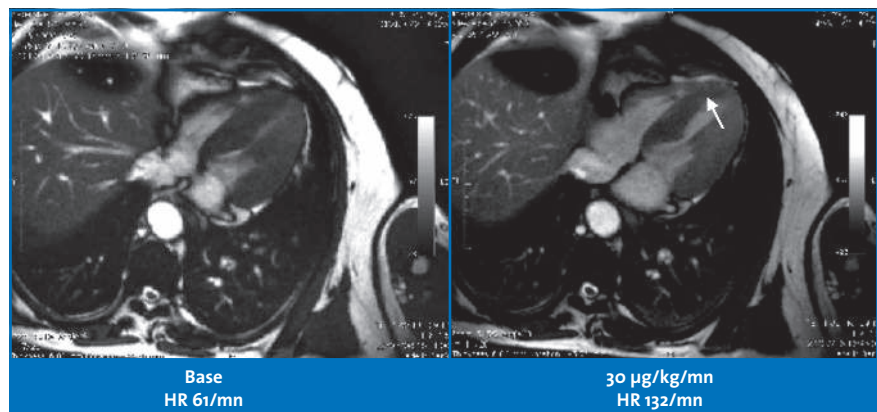


FIG. 2 : Images extraites de ciné-IRM de stress sous dobutamine en vue 4 cavités en fin de systole chez un patient ayant des douleurs thoraciques et ne pouvant effectuer un test d'effort maximal. Notez l'apparition au cours du stress sous dobutamine d'une akinésie septo-apicale (flèche) indiquant une ischémie dans le territoire de l'IVA.

on ne met en évidence aucune anomalie de cinétique segmentaire et aucune modification ischémique du segment ST. Les motifs d'arrêt sont : ischémie myocardique authentifiée, chute de pression artérielle > 30 mmHg, arythmies ventriculaires sévères, effets secondaires insupportables. Aux premiers paliers, le recrutement des segments myocardiques dysfonctionnels permet d'analyser la réserve contractile comme marqueur de viabilité myocardique. Une réponse biphasique (amélioration sous faibles doses et dégradation secondaire sous fortes doses) est prédictive de l'amélioration fonctionnelle après revascularisation.

Valeur diagnostique

1. IRM de perfusion

La mise en évidence d'un défaut de perfusion myocardique a une sensibilité et une spécificité équivalente à la tomographie par émission de positons (90 % et 85 %, respectivement) pour le diagnostic d'insuffisance coronaire, avec l'angiographie conventionnelle comme référence [1]. Dans une étude multicentrique, Giang *et al.* rapportent des données d'efficacité diagnostique de l'IRM de perfusion avec des chiffres de sensibilité, spécificité et

LE DOSSIER

Evaluation de l'ischémie myocardique

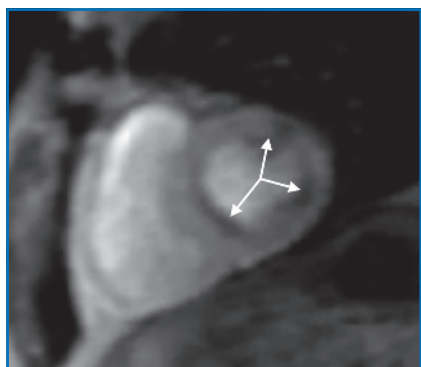


FIG. 3 : IRM de stress de perfusion en vue petit axe chez un patient ayant des douleurs thoraciques d'effort et un BBG. Il existe un défaut de perfusion au niveau de 3 secteurs myocardiques distincts (flèches). Aucun foyer de rehaussement tardif, donc pas de séquelle de nécrose (image non montrée). Le patient présentait une atteinte tritronculaire à la coronarographie.

efficacité diagnostique de 93 %, 75 %, et 85 % [2]. Une étude multicentrique internationale prospective randomisée a comparé l'IRM de perfusion et la scintigraphie monophotonique (SPECT), avec l'angiographie conventionnelle comme référence, chez 241 patients ayant une prévalence élevée d'insuffisance coronaire (77 %) [3].

L'efficacité diagnostique est globalement comparable à celle de la scintigraphie pour la détection de l'ischémie myocardique (aire sous la courbe ROC de $0,86 \pm 0,06$ pour l'IRM vs $0,75 \pm 0,09$ pour le SPECT; $p = 0,12$). Si l'on compare l'efficacité diagnostique de l'IRM chez

les patients ayant reçu $0,1 \text{ mmol/kg}$ de gadolinium par rapport à l'ensemble de la population ayant bénéficié du SPECT ($n = 241$), l'IRM a une meilleure valeur diagnostique ($0,86 \pm 0,06$ 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 $0,70 \pm 0,05$; $p = 0,006$) (**fig. 3**). Il est logique d'enregistrer une moindre prévalence de faux négatifs en cas d'ischémie diffuse équilibrée, essentiellement en raison de la meilleure résolution spatiale que celle de la scintigraphie (**fig. 4**). Chez seulement 2,2 % des patients, les images n'ont pas la qualité diagnostique requise. Outre l'absence d'irradiation, l'IRM de perfusion n'est pas limitée par les artefacts d'atténuation et l'interprétation n'est pas rendue aléatoire en cas de BBG.

Récemment, l'IRM de perfusion a été élégamment validée en prenant non plus le diamètre de la sténose comme référence, mais la FFR (*Fractional Flow Reserve*) qui représente la méthode invasive de référence pour déterminer le caractère fonctionnel ou non d'une sténose (gradient de pression trans-sténotique sous adénosine) [4, 5].

2. Ciné-IRM sous dobutamine

La première série a comporté plus de 200 patients, étudiés à la fois par échocardiographie de seconde harmonique

et par IRM [6]. Les auteurs rapportent une faisabilité de l'IRM dans quasiment 100 % des cas, avec obtention d'une imagerie robuste et de bonne qualité, alors qu'environ 10 % des patients ont une qualité d'images échocardiographiques insuffisante pour permettre un diagnostic.

Les auteurs rapportent une efficacité diagnostique supérieure de l'IRM en se référant à l'angiographie conventionnelle (sensibilité et spécificité pour l'IRM de 86 % et 86 %, 74 % et 70 % pour l'échocardiographie). Cet avantage est attribué à la robustesse de la technique, la qualité des images, l'excellent contraste entre le sang et le myocarde, et la possibilité d'obtenir une meilleure couverture anatomique du VG (**fig. 5**). L'IRM a une meilleure reproductibilité inter-observateur. Cette technique est validée au décours d'un geste de revascularisation [7]. Kuipers *et al.* ont démontré que l'utilisation du marquage myocardique (*tagging*) en mode ciné au cours du stress sous dobutamine permet d'améliorer encore l'efficacité diagnostique de la technique [8].

Contrairement à l'échocardiographie, l'IRM de stress (perfusion ou dobutamine) conserve une très bonne valeur diagnostique pour la mise en évidence d'une ischémie latérale chez les patients présentant une sténose de la circonflexe (**fig. 6**).

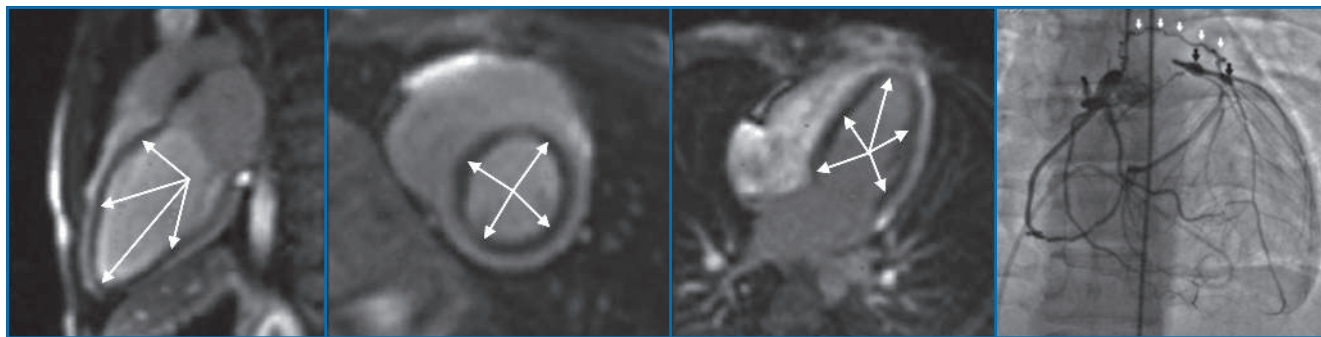


FIG. 4 : IRM de stress de perfusion chez un jeune patient de 15 ans ayant des douleurs thoraciques d'effort et une scintigraphie de stress normale. Notez l'existence d'une anomalie diffuse de la réserve de perfusion myocardique (flèches). Occlusion du tronc commun de la coronaire gauche reprise par la droite en coronarographie et anévrismes coronaires en faveur d'une maladie de Kawasaki.

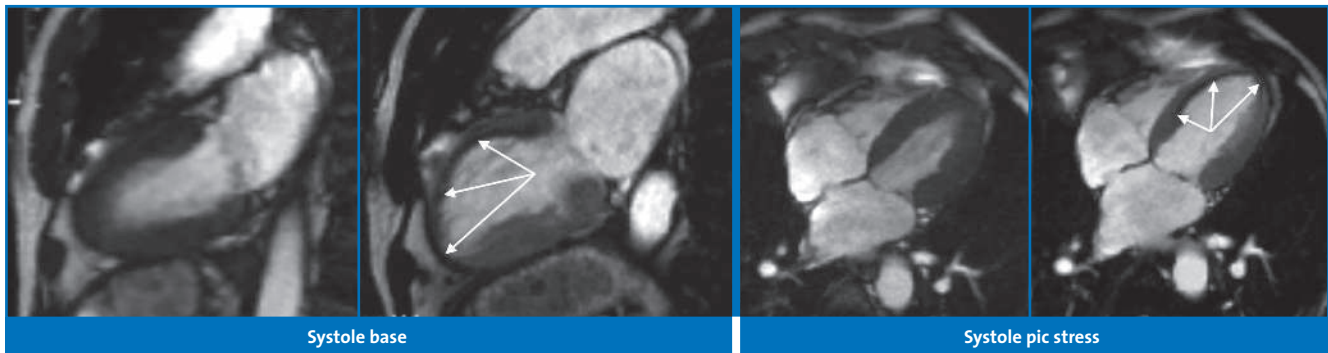


FIG. 5 : Images extraites de ciné-IRM de stress sous dobutamine en vue 2 et 4 cavités en fin de systole chez un patient présentant une BPCO, limité par une dyspnée d'effort. Notez l'apparition au cours du stress sous dobutamine d'une akinésie étendue antéro-septo-apicale (flèches) indiquant une ischémie dans le territoire de l'IVA. Le patient présentait une sténose de l'IVA proximale.

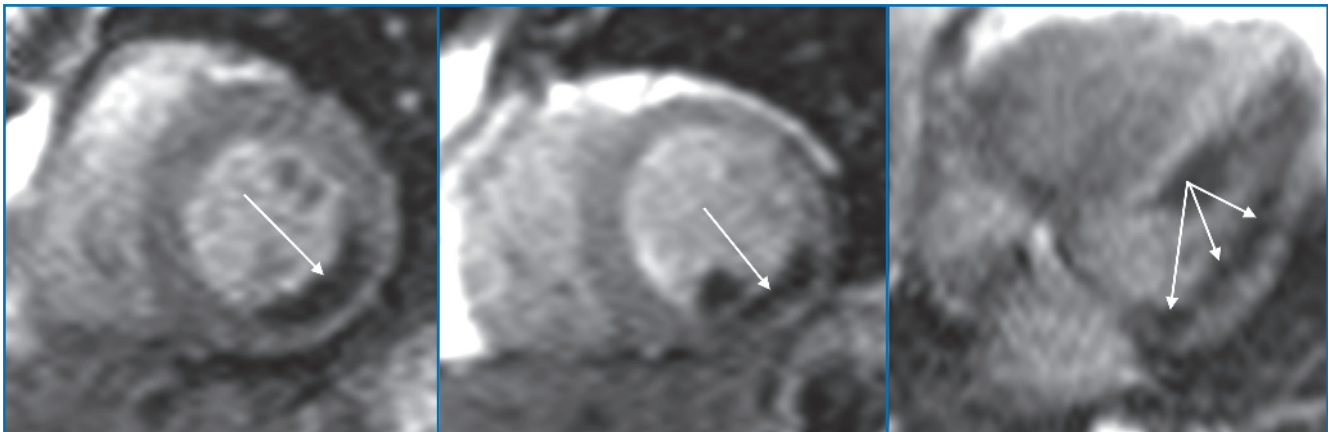


FIG. 6 : IRM de stress de perfusion, en vue petit axe et 4 cavités, chez un patient symptomatique. Notez l'anomalie de la réserve de perfusion myocardique au niveau de la paroi inféro-latérale et latérale basale et médiane. L'anomalie concerne 4 segments myocardiques/17 ; le patient a bénéficié d'une angioplastie de la CX proximale, siège d'une sténose serrée.

Faisabilité, sécurité

Wahl *et al.* rapportent une série de 1 000 patients consécutifs ayant bénéficié d'une ciné-IRM sous dobutamine, avec un taux de succès élevé de l'examen (996 cas/1 000) [9]. Seuls 4/1 000 patients n'ont pu bénéficier de l'IRM, en raison de l'impossibilité d'obtenir un tracé ECG de qualité suffisante. La fréquence maximale théorique n'a pas été atteinte dans 9,5 % des cas (effets secondaires 7,4 %, dose maximale de dobutamine-atropine atteinte 2,1 %). Il n'y a eu aucun décès. Un patient a présenté une TV soutenue, 4 une TV non soutenue, 16 une fibrillation auriculaire, et 2 un BAV du

second degré. Ainsi, cet examen peut être réalisé dans les mêmes conditions de sécurité que l'échocardiographie de stress (environ 1 événement grave sur 1 000 examens).

L'IRM de perfusion au cours du stress est rapide, bien tolérée (1 événement cardiaque sévère tous les 5 000 examens), et permet en une seule séance de 30 minutes l'imagerie morphologique et de la fonction cardiaque, l'imagerie de perfusion au cours du stress et la détection de la viabilité myocardique. La faisabilité est excellente, potentiellement limitée par les rares impossibilités d'obtenir un ECG de qualité suffisante

(moins de 1 % des cas), et les réactions anxieuses claustrophobiques (seulement 1 % des cas dans les aimants larges). Les effets secondaires sont transitoires et peuvent être amendés rapidement par l'aminophylline.

Valeur pronostique

Parmi 112 patients ayant une ciné-IRM sous dobutamine négative, 98,2 % ont un excellent pronostic, sans événement majeur à 18 mois [8]. Bodi *et al.* ont étudié la valeur pronostique de l'IRM de perfusion sous dipyridamole chez 420 patients [10]. La survenue d'évé-

LE DOSSIER

Evaluation de l'ischémie myocardique

nements cardiaques majeurs à 18 mois (décès d'origine cardiaque, infarctus non fatal, hospitalisation pour syndrome coronaire aigu) 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 présence de rehaussement tardif (20 vs 6 % ; $p < 0,0001$). Chez 513 patients, Jahnke *C et al.* ont confirmé la valeur pronostique de l'IRM de perfusion sous adénosine et du ciné-IRM sous dobutamine, avec une survie sans événement de 99,2 % à 3 ans chez les patients ayant une IRM de stress négative [11]. En analyse multivariée, la présence d'une ischémie au cours du stress est un facteur prédictif indépendant de survenue d'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 ($p < 0,001$). La valeur pronostique de l'IRM de perfusion sous adénosine est également démontrée chez des patients admis aux urgences pour syndrome douloureux thoracique, un électrocardiogramme non diagnostique, et sans élévation de troponine [12].

Dans la démarche diagnostique et pronostique, l'IRM de stress ne peut être dissociée de l'imagerie de rehaussement tardif à la recherche d'un ou plusieurs infarctus du myocarde parfois méconnus. Cette imagerie haute résolution de l'infarctus, très sensible, permet la détection de petits infarctus non transmuraux [13], avec une supériorité par rapport aux méthodes scintigraphiques pour la détection des nécroses sous-endocardiques [14]. Ces infarctus ne sont souvent pas détectables sur l'ECG, ni par l'analyse de la fonction segmentaire. Chez des patients ayant une suspicion d'insuffisance coronaire, sans antécédent documenté d'infarctus, la présence d'une cicatrice de nécrose en IRM de

contraste confère un pronostic défavorable [15]. La présence d'un rehaussement tardif, même d'étendue limitée, procure des informations pronostiques sur la survenue d'événements cliniques majeurs et sur la mortalité cardiaque, au-delà des facteurs prédictifs usuels cliniques, angiographiques, et de fonction VG. Par la détermination précise de la taille de la nécrose, l'IRM permet de stratifier le risque et de déterminer le pronostic en post-infarctus. La technique est également validée pour mettre en évidence une viabilité myocardique en cas de dysfonction VG chronique d'origine ischémique.

Quelles sont les bonnes indications de l'IRM de stress ?

>>> Comme toute technique d'imagerie couplée à une épreuve de stress, l'IRM de stress est une méthode de deuxième ligne, chez des patients symptomatiques, à risque intermédiaire ou élevé, lorsque l'épreuve d'effort ne permet pas de conclure (sous-maximale, litigieuse) ou est irréalisable. Les situations pour lesquelles l'épreuve d'effort est non contributive sont nombreuses : impossibilité d'atteindre la fréquence cardiaque cible, les contre-indications à l'épreuve d'effort, l'artéritique ou les problèmes orthopédiques, les cas de lecture difficile ou impossible du segment ST de l'ECG. L'IRM est réalisable en une session de 30-40 mn avec une efficacité diagnostique au moins équivalente, voire supérieure, aux autres techniques. Elle apporte un complément d'informations uniques sur l'anatomie cardiaque, la fonction VG/VD et la viabilité myocardique.

>>> L'IRM de stress peut être recommandée pour le suivi des patients coronariens symptomatiques ayant un antécédent d'angioplastie et/ou de pontages aorto-coronaires, la valeur diagnostique de l'épreuve d'effort étant moindre chez ces patients. Les stents endocoronaires et les valves cardiaques ne gênent pas

la réalisation ni l'interprétation de cette technique

>>> Bien évidemment, l'IRM est également recommandée **lorsque les résultats d'une autre technique d'imagerie sont litigieux.**

>>> L'IRM de stress présente un intérêt diagnostique et pronostique **chez les patients présentant un diagnostic compatible de syndrome coronaire aigu, sans modification du ST et sans élévation de troponine.** De manière unique, elle permet le diagnostic différentiel parfois difficile avec la myocardite. Elle permet de stratifier le risque préopératoire avant les chirurgies non cardiaques chez des patients à risque, et parfois d'authentifier l'ischémie myocardique dans certaines situations pour lesquelles les techniques scintigraphiques peuvent être prises en défaut.

>>> En 2003-2004, un consensus d'experts européens précise la place de l'IRM de stress dans l'arsenal diagnostique non invasif pour la détection de l'ischémie myocardique [16]. Il est indiqué que l'IRM est utilisable en routine clinique, dans les centres entraînés et avec un plateau technique disponible, comme alternative à l'échocardiographie ou à la scintigraphie myocardique. Les données scientifiques récentes renforcent encore la place de l'IRM [17].

Limites

Les limites de l'IRM de stress sont essentiellement liées à sa faible disponibilité et aux réactions claustrophobiques qui peuvent survenir chez environ 2-3 % des patients. Les contre-indications strictes à l'IRM sont : éclat métallique intra-oculaire, clip chirurgical d'anévrisme intracérébral, système électronique implanté, défibrillateur. La présence d'un pacemaker représente une contre-indication relative et implique la mise en œuvre de précautions particulières.

L'IRM de stress est une technique performante pour la détection de l'ischémie myocardique. Sans irradiation et sans agent de contraste iodé, la méthode permet l'analyse concomitante de la morphologie, la fonction et la viabilité myocardique. Elle précise la localisation et l'étendue de l'ischémie, avec un impact considérable sur la décision de revascularisation (recommandations de l'ESC sur la revascularisation myocardique) et d'évidentes implications pronostiques.

Bibliographie

1. 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: 2230-2235.
2. GIANG TH, NANZ D, COULDEN R *et al.* Detection of coronary artery disease by magnetic resonance myocardial perfusion imaging with various contrast medium doses: first European multi-centre experience. *Eur Heart J*, 2004; 25: 1657-1665.
3. 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: 480-489.
4. WATKINS S, MCGEOCH R, LYNE J *et al.* Validation of magnetic resonance myocardial perfusion imaging with fractional flow reserve for the detection of significant coronary heart disease. *Circulation*, 2009; 120: 2207-2213.
5. LOCKIE T, ISHIDA M, PERERA D *et al.* High-resolution magnetic resonance myocardial perfusion imaging at 3.0-Tesla to detect hemodynamically significant coronary stenoses as determined by fractional flow reserve. *J Am Coll Cardiol*, 2010; 57: 70-75.
6. NAGEL E, LEHMKUHL HB, BOCKSCH W *et al.* Noninvasive diagnosis of ischemia-induced wall motion abnormalities with the use of high-dose dobutamine stress magnetic resonance imaging: comparison with dobutamine stress echocardiography. *Circulation*, 1999; 99: 763-770.
7. WAHL A, PAETSCH I, ROETHEMEYER S *et al.* High-dose dobutamine-atropine stress cardiovascular MR imaging after coronary revascularization in patients with wall motion abnormalities at rest. *Radiology*, 2004; 23: 210-216.
8. KUIJPERS D, HO KY, VAN DIJKMAN PR *et al.* Dobutamine cardiovascular MR for the detection of myocardial ischemia with the use of myocardial tagging. *Circulation*, 2003; 107: 1592-1597.
9. WAHL A, PAETSCH I, GOLLESCH A *et al.* Safety and feasibility of high-dose dobutamine-atropine stress cardiovascular magnetic resonance for diagnosis of myocardial ischaemia: experience in 1000 consecutive cases. *Eur Heart J*, 2004; 25: 1230-1236.
10. 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: 1174-1179.
11. 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: 1769-1776.
12. 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: 1427-1432.
13. RICCIARDI MJ, WU E, DAVIDSON CJ *et al.* Visualization of discrete microinfarction after percutaneous coronary intervention associated with mild creatine kinase-MB elevation. *Circulation*, 2001; 103: 2780-2783.
14. WAGNER A, MAHRHOLDT H, HOLLY TA *et al.* 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: 374-379.
15. 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: 2733-2743.
16. PENNELL DJ *et al.* Clinical indications for cardiovascular magnetic resonance: consensus panel report. *Eur Heart J*, 2004; 25: 1940-1965.
17. HUNDLEY WG, BLUEMKE DA, FINN JP *et al.* for the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents, ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 expert consensus document on cardiovascular magnetic resonance: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *Circulation*, 2010; 121: 2462-2508.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.