L'ANNÉE CARDIOLOGIQUE

Imagerie par IRM et scanner : quoi de neuf ?

→ J. GAROT, E. BOUVIER, F. SANGUINETI, M. MANA, T. HOVASSE
Institut Cardiovasculaire Paris Sud, Hôpital Privé Jacques Cartier, MASSY.

Quelles nouveautés en IRM en 2011 ?

1. IRM de perfusion au cours du stress versus scintigraphie

L'IRM de perfusion au cours du stress a été validée par comparaison avec les techniques scintigraphiques (TEP, SPECT) en prenant l'angiographie conventionnelle, et donc le pourcentage de sténose coronaire, comme méthode de référence. La validation de l'IRM s'est renforcée en démontrant sa valeur pronostique au cours de diverses situations cliniques. Plus récemment, l'IRM de perfusion au cours du stress a été validée par comparaison à la FFR [1].

La mesure de la FFR s'est imposée comme méthode de référence pour déterminer le caractère fonctionnel d'une lésion coronaire. La FFR peut se simplifier en déterminant de manière simple, mais invasive, le gradient de pression trans-sténotique sous adénosine. Une sténose est fonctionnelle si la FFR (pression distale/pression d'amont) est < 0,75. A l'inverse de la réserve coronaire mesurée par un guide Doppler invasif, la FFR constitue un paramètre reproductible, non influencé par la pression artérielle, la fréquence cardiaque, le type d'artère coronaire ou la contractilité myocardique. A cet aspect fonctionnel du retentissement de la sténose, l'IRM de stress permet d'ajouter la localisation et l'extension de l'ischémie qui a un impact majeur sur la décision thérapeutique (> 10 % de la masse myocardique pour décider d'une revascularisation) (recommandations de l'ESC sur la revascularisation myocardique) (***fig. 1***). Récemment, Schwitter *et al.* ont démontré, au cours d'une étude prospective multicentrique européenne (MR-IMPACT), la supériorité diagnostique de l'IRM de stress sur la scintigraphie [2].

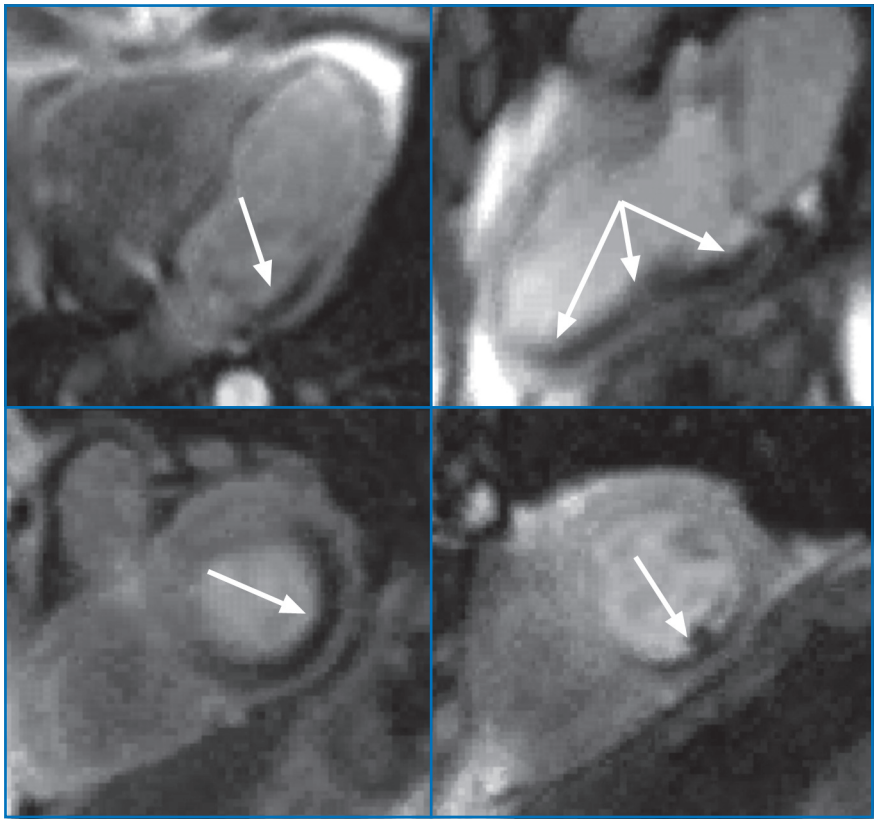

FIG. 1 : Patient de 72 ans, ayant des facteurs de risque et des douleurs compatibles avec un angor. IRM de perfusion au cours du stress mettant en évidence une anomalie de la réserve de perfusion myocardique sous dipyridamole dans le territoire inféro-latéral (flèches). Sténose serrée de la CX proximale (non montrée).

L'ANNÉE CARDIOLOGIQUE

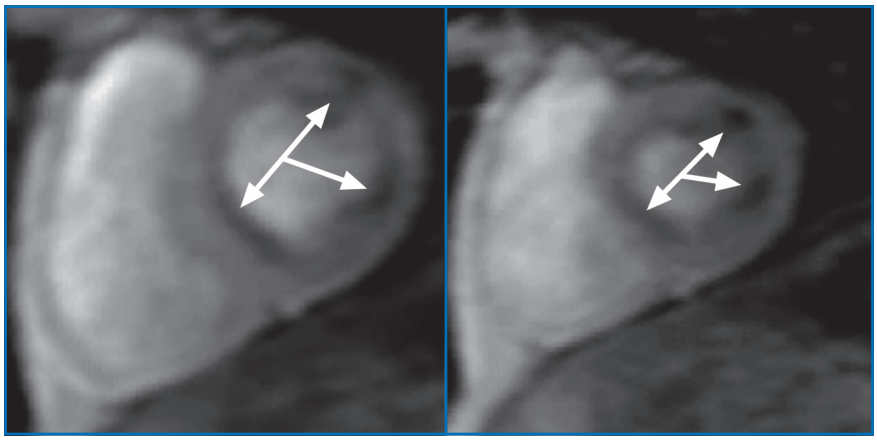

FIG. 2 : IRM de perfusion au cours du stress montrant un déficit de perfusion dans 3 territoires coronaires distincts au niveau basal et médian du VG (flèches) (FE VG 62 %, pas de séquelle d'infarctus en rehaussement tardif). Patient tritronculaire en coronarographie.

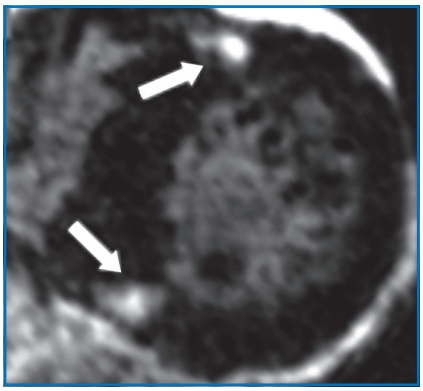

FIG. 3 : Patient de 81 ans porteur d'un RAO calcifié avec une hypertrophie modérée du VG et une fibrose médio-pariétale en rehaussement tardif (flèches). Le sous-endocarde est respecté, permettant le diagnostic différentiel avec l'infarctus.

L'année 2011-2012 est marquée par la publication de l'étude prospective CE-MARC. Ce travail a comparé l'IRM de stress (perfusion sous adénosine) à la scintigraphie SPECT chez 752 patients ayant une insuffisance coronaire suspectée, avec l'angiographie coronaire conventionnelle comme méthode de référence [3]. La prévalence de l'insuffisance coronaire définie par l'angiographie est de 39 %. La sensibilité de l'IRM est de 86,5 % (IC 95 % : 81,8-90,1), la spécificité de 83,4 % (79,5-86,7), la valeur prédictive positive de 77,2 % (72,1-81,6) et la valeur prédictive négative de 90,5 % (87,1-93,0). Ces valeurs sont pour la scintigraphie respectivement de 66,5 % (60,4-72,1), de 82,6 % (78,5-86,1), de 71,4 % (65,3-76,9) et de 79,1 % (74,8-82,8). La sensibilité et la valeur prédictive négative sont meilleures pour l'IRM ($p < 0,0001$). L'analyse des courbes ROC met en évidence également une supériorité de l'IRM de stress (aire sous la courbe : 0,89 ; 0,86-0,91 vs 0,74 ; 0,70-0,78 ; $p < 0,0001$). L'aire sous la courbe pour les patients monotronculaires est de 0,87 (0,83-0,90) pour l'IRM de stress vs 0,71 (0,66-0,76) pour la scintigraphie ($p < 0,0001$). Pour les patients pluritronculaires, elle est de 0,91 (0,87-0,95) pour l'IRM et de 0,77 (0,72-0,83) pour le SPECT ($p < 0,0001$) (***fig. 2***).

Les auteurs concluent à l'efficacité diagnostique élevée de l'IRM pour la détection de la maladie coronaire et sa supériorité sur la scintigraphie. Ces données sont importantes car, couplées aux données connues de sécurité de l'examen et de valeur pronostique, elles assoient définitivement l'IRM comme une technique de grande valeur pour le diagnostic d'insuffisance coronaire. En outre, les informations complémentaires apportées par cet examen sont cruciales : morphologie et fonction VG/VD, petite(s) séquelle(s) d'infarctus passée(s) inaperçue(s), viabilité myocardique.

2. Fibrose médio-pariétale en IRM : facteur indépendant de mortalité dans le rétrécissement aortique

Dweck *et al.* rapportent une étude intéressante sur la valeur pronostique de la fibrose médio-pariétale dans le rétrécissement aortique (***fig. 3***) [4]. Ils ont étudié 143 patients (68 ± 14 ans ; 97 hommes) suivis pendant 2,0 ± 1,4 ans. Au cours de l'étude, les auteurs ont déploré 24 décès de cause cardiaque et 3 morts subites. 72 patients ont bénéficié d'un remplacement valvulaire aortique. En analyse univariée, les patients ayant de la fibrose médio-pariétale en rehaussement tardif (n = 54) ont un risque multiplié par 8 de mortalité toute cause par rapport aux patients sans fibrose (n = 49), malgré une sévérité identique de la sténose aortique et de l'atteinte coronaire associée. Les patients présentant un infarctus en rehaussement tardif (n = 40) ont un risque multiplié par 6. En analyse multivariée, la présence de fibrose médio-pariétale en IRM (risque relatif : 5,35 ; IC 95 % : 1,16-24,56 ; $p = 0,03$) et la FEVG (risque relatif : 0,96 ; IC 95 % : 0,94-0,99 ; $p = 0,01$) représentent les facteurs prédictifs indépendants de mortalité toute cause. La présence d'une fibrose médio-pariétale en IRM constitue un facteur prédictif indépendant de mortalité à 2 ans chez les patients présentant une sténose aortique, avec une valeur pronostique ajoutée par rapport à la FEVG. Une autre étude de Hermann *et al.* montre que, chez les patients porteurs d'une sténose aortique sévère, un faible gradient est associé à la présence d'une fibrose plus importante en rehaussement tardif, à une altération de la fonction systolique longitudinale, et à un pronostic plus sombre malgré la préservation de la FEVG [5].

3. Bilan étiologique d'une cardiopathie dilatée : l'IRM est suffisante

Assomull *et al.* rapportent une étude qui précise la place potentielle de l'IRM dans le diagnostic étiologique d'une insuffisance cardiaque de découverte récente [6]. Ils ont étudié 120 patients consécutifs se présen-

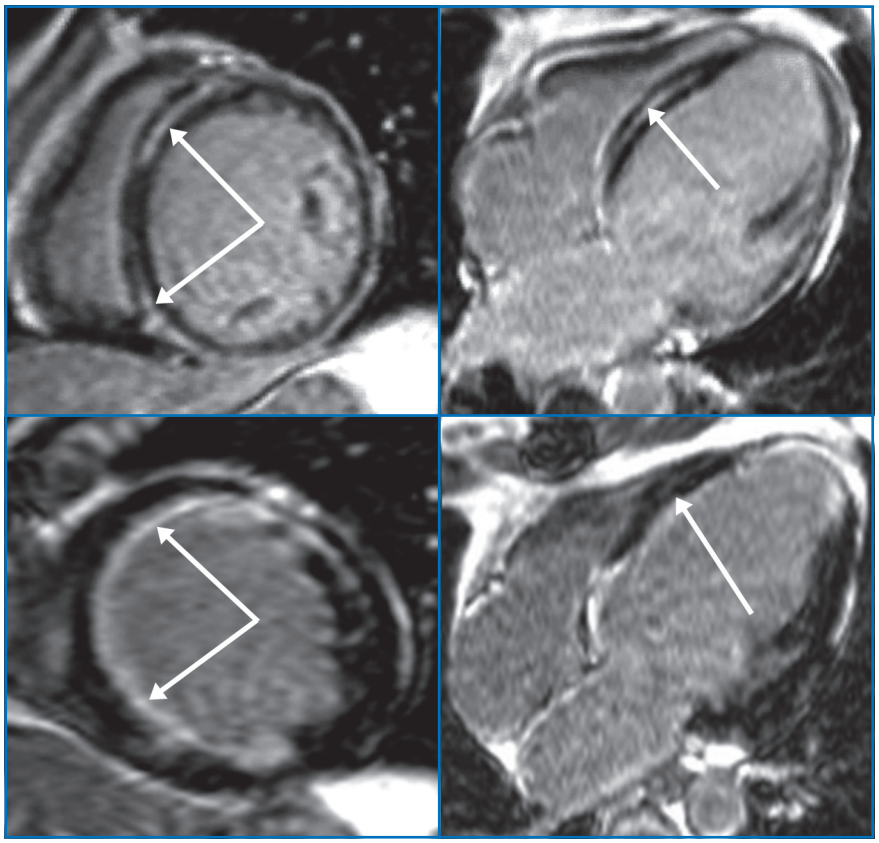

FIG. 4 : Imagerie de rehaussement tardif chez 2 patients présentant une dysfonction VG systolique et une insuffisance cardiaque de découverte récente. En haut, présence d'une fibrose médio-pariétale signant une cardiopathie non ischémique (respect du sous-endocarde, flèches). En bas, rehaussement tardif antéro-septo-apical sous-endocardique (flèches) signant un infarctus ASA étendu et une cardiopathie ischémique.

tant pour un premier épisode d'insuffisance cardiaque et ayant une dysfonction systolique VG. Tous les patients ont bénéficié d'une IRM de contraste en rehaussement tardif et d'une coronarographie. La méthodologie est originale : l'étiologie est définie par un panel d'experts d'après les résultats de l'IRM, puis par un autre panel d'angiographistes. Finalement, le diagnostic final est retenu par un 3e panel d'experts qui font la synthèse des donnés cliniques et paracliniques.

La technique du rehaussement tardif en IRM a une sensibilité de 100 %, une spécificité de 96 %, une efficacité diagnostique de 97 % pour déterminer l'étiologie ischémique ou non de la dysfonction VG, équivalentes à celles de la coronarographie (93 %, 96 %, et 95 %, respectivement). Ainsi, l'IRM peut être utilisée en lieu et place de la coronarographie pour déterminer de manière non invasive, sécurisée et efficace, l'étiologie d'une insuffisance cardiaque (ischémique ou non) (***fig. 4***). L'impact économique et médical de ce type de stratégie n'est pas formellement établi en France, mais semble largement en faveur d'une stratégie non invasive par IRM.

Quelles nouveautés en scanner en 2011 ?

1. Une confirmation de la valeur pronostique du scanner

Le rôle pronostique du scanner est mis en avant et réaffirmé en 2011 (***fig. 5***) [7].

FIG. 5 : A : scanner coronaire aux urgences pour douleur thoracique suspecte mais brève avec ECG post-critique et troponine négatifs : mise en évidence d'une sténose critique de l'IVA ostiale. **B** et **C :** lésions coronaires non significatives de découverte fortuite, non ischémiantes, mais ayant une valeur pronostique.

Small *et al.* montrent chez 657 patients issus d'un registre ayant bénéficié de pontages coronaires que l'évaluation anatomique des pontages par le scanner comporte une valeur pronostique ajoutée par rapport au risque clinique

L'Année cardiologique

Euroscore [8]. Sur un suivi de 20 mois, 44 décès sont survenus. En analyse multivariée incluant l'Euroscore, le scanner a une valeur prédictive forte et supplémentaire de survenue d'événements cardiovasculaires.

Min *et al.* rapportent les résultats d'un registre international muticentrique sur la valeur pronostique du scanner coronaire [9]. Ils ont étudié une cohorte de 24 475 patients, sans coronaropathie préalable connue, ayant bénéficié d'un scanner ≥ 64 détecteurs entre 2005 et 2009. La maladie coronaire est catégorisée ainsi : pas d'insuffisance coronaire (pas de sténose), modérée (sténose 1-49 %), moyenne (sténose 50-69 %), sévère (sténose 70-100 %). Sur un suivi moyen de 2,3 ± 1,1 an, 404 décès sont survenus. La présence d'une insuffisance coronaire même modérée et non obstructive confère un pronostic défavorable par rapport aux sujets sans lésion coronaire (RR : 1,60 ; IC 95 % : 1,18-2,16 ; p = 0,002). Le risque relatif de mortalité est de 2,60 (IC 95 % : 1,94-3,49 ; p < 0,0001) en cas de lésions obstructives par rapport aux sujets indemnes de lésions coronaires. Le risque de décès augmente avec le nombre de coronaires lésées. L'absence de lésion coronaire confère un taux faible de mortalité à un an (0,28 %).

Blaha *et al.* montrent, chez 950 patients issus de MESA (*Multi-Ethnic Study on Atherosclerosis*) et ayant les critères d'inclusion de l'étude JUPITER, que la présence de calcifications coronaires au scanner confèrent une meilleure stratification du risque coronaire que la CRP us [10]. Cette stratification plus fine du risque pourrait permettre de ne réserver le traitement par statine qu'à la seule population de patients ayant des lésions coronaires calcifiées. Ces données sont bien corroborées par une autre étude qui montre que la prédiction du risque coronaire et de mortalité est médiée essentiellement par la présence d'un athérome coronaire (calcifications coronaires au scanner) et d'une inflammation systémique (CRP us), et que le score calcique permet une amélioration de la prédiction du risque par rapport à la CRP seule [11].

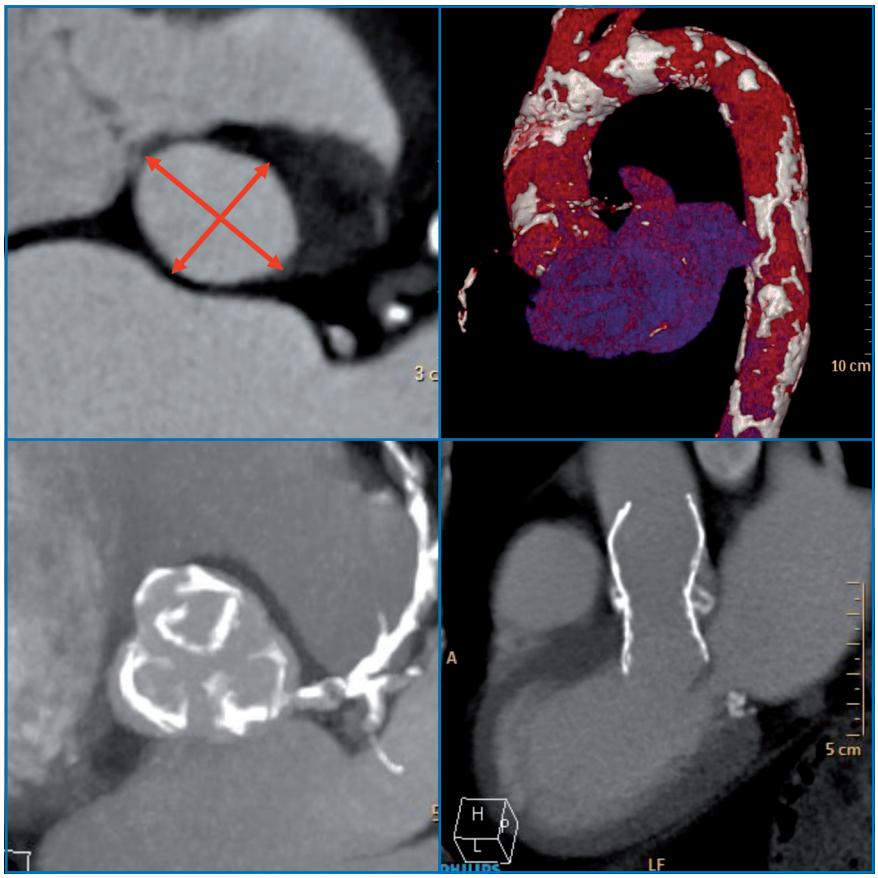

Fig. 6 : TAVI : mesure de l'anneau aortique ovalaire 20 x 25 mm ; aorte thoracique porteuse d'un athérome calcifié très sévère ; calcification des cusps aortiques et de l'anneau ; contrôle du positionnement de la prothèse CoreValve.

2. Valeur du scanner pour la morphologie de l'anneau aortique avant TAVI

Le scanner s'affirme dans ce domaine comme une technique de premier plan, permettant de déterminer avec précision l'anatomie et les diamètres de l'anneau aortique avant implantation d'une valve prothétique. L'anneau n'est pas circulaire, très souvent elliptique, avec 2 diamètres orthogonaux qui diffèrent souvent de plusieurs mm (***fig. 6***). Il permet également de définir la présence, l'importance, la localisation et l'épaisseur des calcifications valvulaires et annulaires. Tous ces paramètres ont un impact sur le choix de la prothèse, sa taille, et permettent de tenter de prédire la bonne application et l'expansion de la prothèse sur des anneaux aortiques aux anatomies complexes et diverses. La valeur ajoutée du scanner par rapport à l'échocardiographie est désormais acquise dans ce domaine.

Wilson *et al.* ont utilisé les informations anatomiques tridimensionnelles procurées par le scanner afin de tenter de prédire la survenue et la sévérité d'une insuffisance aortique après TAVI [12]. Il est démontré que les fuites aortiques moyennes et sévères après TAVI sont

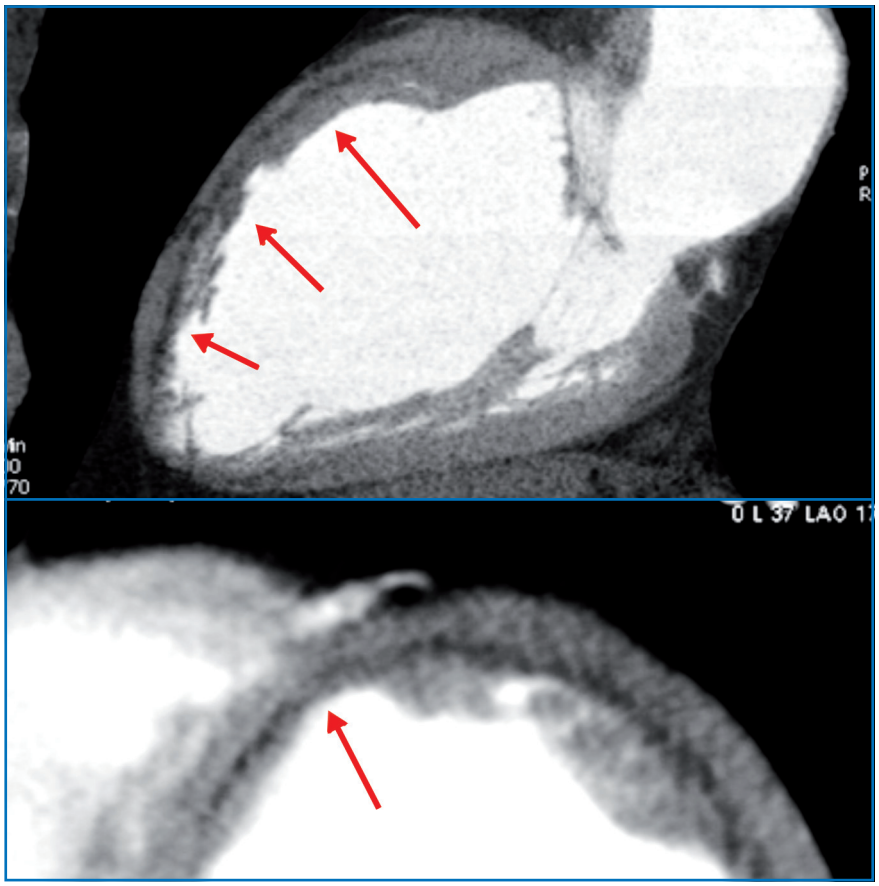

FIG. 7 : Etude de la perfusion myocardique en scanner injecté : hypodensité sous-endocardique ASA traduisant un défaut de perfusion dans le territoire de l'IVA.

associées à une morbi-mortalité plus élevée. Les mesures de l'anneau par scanner ont été effectuées chez 109 patients avant TAVI. L'existence d'une fuite aortique moyenne à sévère après TAVI est associée à l'utilisation d'une valve trop petite (diamètre valve-diamètre moyen anneau = -0,7 ± 1,4 mm vs 0,9 ± 1,8 mm pour les fuites aortiques faibles et modérées). La différence entre la taille de la valve et le diamètre annulaire moyen au scanner est un facteur prédictif de survenue d'une IA après l'implantation. L'excentricité de l'anneau n'est pas associée à la survenue d'une IA. Chez plus d'un patient sur trois, la valve implantée est trop petite par rapport au diamètre annulaire moyen mesuré au scanner. Les auteurs concluent que l'utilisation d'une valve de taille un peu plus élevée pourrait réduire le risque de survenue d'IA significative après TAVI.

3. Imagerie de perfusion myocardique sous stress par scanner

Ko *et al.* ont étudié la valeur diagnostique de l'imagerie myocardique de perfusion en scanner sous adénosine, associée ou non à l'angiographie coronaire par scanner, pour déterminer l'existence d'une ischémie myocardique, en prenant la FFR comme méthode de référence (***fig. 7***) [13]. Les auteurs ont étudié 42 patients, porteurs d'au moins une sténose ≥ 50 % en coronarographie sur 126 segments coronaires, tous candidats à une angioplastie. Ces patients ont bénéficié de la détermination de la FFR, d'une imagerie de perfusion myocardique par scanner sous adénosine, d'une acquisition en rehaussement tardif, ainsi que d'une angiographie coronaire par scanner (320 détecteurs, synchronisation ECG prospective). Une FFR < 0,8 est la référence pour définir la présence d'une lésion fonctionnellement significative ("ischémiante"). L'imagerie de perfusion myocardique au cours du stress a permis d'identifier 31/41 (76 %) territoires ischémiques et 38/45 (84 %) territoires non ischémiques. En analyse par segment coronaire, la sensibilité, spécificité, valeur prédictive positive et négative de l'imagerie de perfusion myocardique par scanner est de 76 %, 84 %, 82 % et 79 %, respectivement. L'existence d'un défaut de perfusion en imagerie de perfusion avec la présence d'une sténose ≥ 50 % au scanner coronaire est spécifique à 98 % pour la mise en évidence d'une ischémie myocardique. La présence d'une lésion coronaire < 50 % au scanner et une imagerie de perfusion normale sous adénosine permettent d'éliminer une ischémie myocardique dans 100 % des cas. La dose moyenne délivrée pour l'imagerie de perfusion myocardique seule est de 5,3 mSv et 11,3 mSv avec le scanner coronaire associé. Ainsi, les auteurs concluent à une efficacité diagnostique modérée de l'imagerie de perfusion par scanner au cours du stress pour détecter l'ischémie myocardique.

A contrario, dans les territoires pour lesquels l'imagerie de perfusion et l'angiographie coronaire sont concordants, ces deux examens ont une efficacité diagnostique élevée pour la mise en évidence ou l'exclusion d'une ischémie myocardique. Il faut cependant remarquer que les segments pour lesquels ces deux techniques ne sont pas concordantes sont nombreux, et que dans ces circonstances, l'examen ne permet pas de conclure avec fiabilité malgré une irradiation non négligeable. Cette étude fonctionnelle et anatomique n'est possible que sur des scanners de dernière

L'ANNÉE CARDIOLOGIQUE

génération à double tube et ceux ayant plus de 256 détecteurs.

4. La poussée de l'imagerie hybride SPECT/CT

Une équipe suisse a étudié 335 patients consécutifs, bénéficiant le même jour d'une scintigraphie au Tc de stress/redistribution et d'un scanner coronaire, sur la même machine, permettant une fusion des 2 acquisitions [14]. Ainsi, 324 patients (97 %) ont été suivis avec une médiane de 2,8 ans. Lors du suivi, 69 événements cardiaques majeurs sont survenus chez 47 patients, incluant 20 infarctus/ou décès. Une image hybride associant un défaut de perfusion myocardique avec une lésion coronaire serrée est liée à une incidence supérieure de décès/infarctus. Le taux annuel de décès/infarctus est de 6,0 %, 2,8 % et 1,3 % chez les patients avec une image hybride concordante (*matched*), discordante (*unmatched*), et chez les patients ayant un examen normal, respectivement. Les auteurs concluent que cette modalité hybride permet une stratification du risque coronaire et qu'un test hybride positif et concordant constitue un fort prédicteur de survenue d'événements.

Conclusion

A la lumière de l'année écoulée, ces techniques d'imagerie sont désormais très clairement orientées vers le diagnostic fonctionnel de l'ischémie myocardique, les objectifs sacrés à atteindre étant toujours la valeur diagnostique et la valeur pronostique de ces examens.

La référence en matière d'ischémie significative est la FFR. Les tests d'imagerie ne se comparent plus désormais au pourcentage de sténose coronaire. Ces données montrent la forte réactivité des équipes qui suivent la voie tracée par les sociétés savantes, notamment la Société européenne.

Enfin, ces études situent les techniques d'imagerie dans le contexte impératif de l'évaluation pronostique, en y associant souvent l'environnement médico-économique. Le reproche classique consistant à dire que ces techniques se cantonnent à procurer de "belles images" devient caduque et ces méthodes ont aujourd'hui une place concrète dans la prise en charge des patients.

Bibliographie

1. 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*, 2011 ; 57 : 70-75.
2. 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.
3. GREENWOOD JP, MAREDIA N, YOUNGER JF *et al.* Cardiovascular magnetic resonance and single-photon emission computed tomography for diagnosis of coronary heart disease (CE-MARC) : a prospective trial. *Lancet,* 2012 ; 379 : 453-460.
4. DWECK MR, JOSHI S, MURIGU T *et al.* Midwall fibrosis is an independent predictor of mortality in patients with aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol,* 2011 ; 58 : 1271-1279.
5. HERRMANN S, STORK S, NIEMANN M *et al.* Low-gradient aortic valve stenosis myocardial fibrosis and its influence on function and outcome. *J Am Coll Cardiol*, 2011 ; 58 : 402-412.
6. ASSOMULL RG, SHAKESPEARE C, KALRA PR *et al.* Role of cardiovascular magnetic resonance as a gatekeeper to invasive coronary angiography in patients presenting with heart failure of unknown etiology. *Circulation,* 2011 ; 124 : 1351-1360.
7. HULTEN EA, CARBONARO S, PETRILLO SP *et al.* Prognostic value of cardiac computed tomography angiography : a systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Cardiol,* 2011 ; 57 : 1237-1247.
8. SMALL GR, YAM Y, CHEN L *et al.* Prognostic assessment of coronary artery bypass patients with 64-slice computed tomography angiography : anatomical information is incremental to clinical risk prediction. *J Am Coll Cardiol,* 2011 ; 58 : 2389-2395.
9. MIN JK, DUNNING A, LIN FY *et al.* Age- and sex-related differences in all-cause mortality risk based on coronary computed tomography angiography findings results from the International Multicenter CONFIRM (Coronary CT Angiography Evaluation for Clinical Outcomes : An International Multicenter Registry) of 23,854 patients without known coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*, 2011 ; 58 : 849-860.
10. BLAHA MJ, BUDOFF MJ, DEFILIPPIS AP *et al.* Associations between C-reactive protein, coronary artery calcium, and cardiovascular events : implications for the JUPITER population from MESA, a population-based cohort study. *Lancet*, 2011 ; 378 : 684-692.
11. MOHLENKAMP S, LEHMANN N, MOEBUS S *et al.* Quantification of coronary atherosclerosis and inflammation to predict coronary events and all-cause mortality. *J Am Coll Cardiol*, 2011 ; 57 : 1455-1464.
12. WILLSON AB, WEBB JG, LABOUNTY TM *et al.* 3-Dimensional aortic annular assessment by multidetector computed tomography predicts moderate or severe paravalvular regurgitation after transcatheter aortic valve replacement : a multicenter retrospective analysis. *J Am Coll Cardiol*, 2012 Feb. [Epub ahead of print].
13. KO BS, CAMERON JD, MEREDITH IT *et al.* Computed tomography stress myocardial perfusion imaging in patients considered for revascularization : a comparison with fractional flow reserve. *Eur Heart J,* 2012 ; 33 : 67-77.
14. PAZHENKOTTIL AP, NKOULOU RN, GHADRI JR *et al.* Prognostic value of cardiac hybrid imaging integrating single-photon emission computed tomography with coronary computed tomography angiography. *Eur Heart J*, 2011 ; 32 : 1465-1471.

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