

COMMUNICATION

Détection de la maladie coronaire par les examens non invasifs d'imagerie cardiaque chez le patient symptomatique stable : la seule performance diagnostique est-elle suffisante pour guider la stratégie ?

MOTS-CLÉS : ISCHÉMIE MYOCARDIQUE. TECHNIQUES D'IMAGERIE CARDIAQUE. DIAGNOSTIC PAR IMAGERIE. FACTEURS DE RISQUE. MAÎTRISE DES COÛTS

Non-invasive imaging tests for detecting coronary artery disease in symptomatic stable patients. Is diagnostic performance sufficient for guiding strategy?

KEY-WORDS (Index medicus): MYOCARDIAL ISCHEMIA. CARDIAC IMAGING TECHNIQUES. DIAGNOSTIC IMAGING. RISK FACTORS. COST CONTROL

Pascal GUÉRET *

L'auteur déclare ne pas avoir de liens d'intérêt en relation avec le contenu de cet article

RÉSUMÉ

De nombreuses méthodes non invasives d'imagerie cardiaque sont actuellement à notre disposition pour rapporter à une maladie coronaire les douleurs thoraciques ressenties par un patient stable: électrocardiogramme d'effort, scintigraphie myocardique, échocardiographie de stress, IRM de stress, tomographie à émission de positons et scanner coronaire. D'après les recommandations européennes récentes, la démarche diagnostique doit être guidée par l'estimation préalable du niveau de risque coronaire auquel se situe le patient. Le choix de la méthode la plus appropriée dépend ensuite des paramètres habituels que sont la disponibilité locale, l'expertise locale et le respect des contre-indications respectives de chaque examen. Bien qu'empruntant des voies physiopathologiques différentes, la performance diagnostique de ces examens pour détecter une maladie coronaire est actuellement assez comparable. À elle seule, elle n'est donc pas suffisante pour justifier la démarche diagnostique choisie. Il est devenu très important de prendre en considération les risques de

* Service de cardiologie, Hôpital Henri Mondor, 51 Avenue du Maréchal De Lattre de Tassigny, 94010 Créteil.

Tirés à part : Professeur Pascal GUÉRET, même adresse
Article reçu 14 novembre 2014, accepté le 2 février 2015

chacun de ces examens auxquels sont éventuellement exposés les patients ainsi que les données médico économiques de coût/efficacité.

SUMMARY

Several non-invasive imaging techniques are currently available for coronary artery disease detection in stable patients with chest pain: exercise electrocardiogram, myocardial scintigraphy, stress echocardiography, stress MRI, positron emission tomography and computed tomography coronary angiography. According to recent guidelines from the European Society of Cardiology, the diagnosis process shall be guided by the coronary risk of the patient. The first recommended step is to clinically assess the probability of coronary artery disease. Thereafter, the choice of technique will be driven by usual parameters such as availability, local expertise and the contraindications of each test. Although detection of coronary artery disease by non-invasive tests follows different pathophysiological pathways, diagnostic value appears comparable. Therefore, choice of a diagnostic test must also take into consideration other factors such as the risks and hazards of imaging techniques as well as cost-efficiency parameters.

Chez un patient stable présentant des douleurs thoraciques pour lesquelles est posée la question de la causalité d'une éventuelle maladie coronaire, le recours aux examens non invasifs d'imagerie cardiaque est actuellement bien codifié dans les recommandations internationales récemment actualisées [1, 2]. Leur usage est donc très largement répandu sans qu'il soit toujours très aisé de se faire une idée précise sur leur meilleure utilisation. En effet, au-delà des indications préférentielles et des contre-indications propres à chacun de ces examens, la prise en compte de leur seule performance diagnostique n'est pas suffisante pour guider la démarche diagnostique. Il faut également tenir compte de leur disponibilité, de l'expertise locale, des risques induits par ces examens et auxquels le patient peut être exposé et de plus, ne pas négliger les aspects médico-économiques devenus omniprésents. La prise en considération de tous ces éléments est désormais indispensable au praticien pour optimiser sa démarche et utiliser au mieux les ressources disponibles. En complément de l'intérêt clinique des différents examens d'imagerie cardiaque précédemment rapporté dans le *Bulletin de l'Académie* [3], ces aspects pratiques de sécurité pour le patient et d'efficacité économique sont plus particulièrement développés dans cette mise au point.

Évaluation du risque de maladie coronaire

La première étape consiste à évaluer la probabilité que les symptômes ressentis soient la traduction d'une ischémie myocardique due à une maladie coronaire, en particulier chez les patients n'ayant pas été identifiés auparavant comme coronariens. Plusieurs modèles de stratification du risque ont été proposés. Dans ses recommandations de 2013 [1], la Société Européenne de Cardiologie a retenu un modèle très simple qui prend en compte l'âge et le sexe du patient ainsi que les

caractéristiques cliniques de la douleur thoracique (typique, atypique, non angineuse) ou de son équivalent comme la blockpnée d'effort. À ce titre, l'interrogatoire est donc primordial pour faire préciser les caractères cliniques des symptômes, les circonstances de leur survenue et en particulier leur déclenchement par l'effort physique ainsi que leur sensibilité aux dérivés nitrés d'action immédiate (Trinitrine en spray). Contrairement à d'autres modèles plus anciens, les facteurs de risque vasculaire et les données de l'ECG basal ne sont donc plus pris en compte dans ces recommandations européennes.

La probabilité de maladie coronaire est ainsi classée en 3 catégories : très improbable (risque très faible <15 %), possible (risque intermédiaire 15-85 %, lui-même divisé en intermédiaire faible 16-65 % et élevé 66-85 %) et très probable (risque > 85 %). Selon l'approche Bayésienne (figure 1), l'évaluation de cette probabilité va conditionner et guider la démarche ultérieure et en particulier le recours aux examens complémentaires d'imagerie cardiaque.

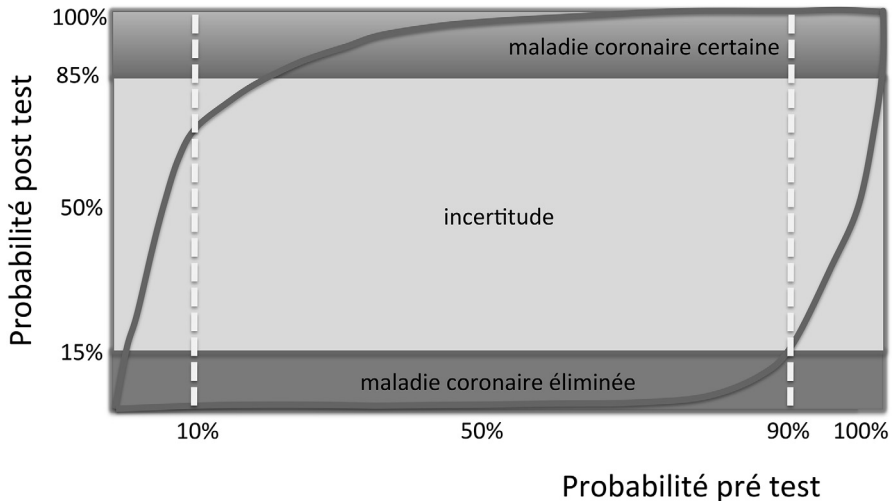


FIG. 1. — Approche Bayésienne de la probabilité de maladie coronaire avant et après le test diagnostique.

Chez les patients dont l'évaluation du risque est faible, il n'est pas justifié de recourir systématiquement aux explorations complémentaires car la maladie coronaire peut être éliminée avec une forte probabilité. À l'inverse, chez les patients à risque élevé, la probabilité de maladie coronaire est forte.

C'est essentiellement dans le groupe des patients à risque intermédiaire (large zone d'incertitude pré test) que les méthodes non invasives trouvent leurs meilleures indications. La valeur prédictive négative élevée de l'examen permet d'éliminer la présence d'une maladie coronaire significative lorsque celui-ci est normal. À l'inverse les résultats anormaux d'un examen à forte valeur prédictive positive augmentent la probabilité de la présence d'une maladie coronaire.

Chez les patients dont l'évaluation du risque est faible, il n'est pas justifié de recourir systématiquement aux explorations complémentaires. Le contrôle des éventuels facteurs de risque vasculaire est recommandé et une autre explication aux symptômes doit être recherchée.

À l'inverse, chez les patients à forte probabilité de maladie coronaire, la coronarographie diagnostique est indiquée. Si besoin, les examens d'imagerie auront pour indication l'appréciation du retentissement sur la fonction myocardique d'une sténose mise en évidence par la coronarographie.

C'est essentiellement dans le groupe des patients à risque intermédiaire (large zone d'incertitude pré test) que se situent les meilleures indications des méthodes non invasives. La valeur prédictive négative élevée de l'examen permet d'éliminer le diagnostic lorsque celui-ci est normal. À l'inverse les résultats anormaux d'un examen à forte valeur prédictive positive augmentent la probabilité de l'existence d'une maladie coronaire.

Étude fonctionnelle en imagerie cardiaque

L'ischémie est la conséquence d'un déséquilibre temporaire entre le débit coronaire et les besoins en O₂ survenant le plus souvent au cours d'un effort physique ou plus rarement spontanément, en cas de spasme coronaire par exemple. La figure 2 schématise les différentes étapes de la « cascade ischémique » et situe la place de ces techniques à chaque stade de cette cascade. En cas d'hypoperfusion myocardique, les anomalies diastoliques surviennent les premières, suivies d'une dysfonction systolique ventriculaire gauche puis de modifications de l'ECG et enfin, mais de façon inconstante de la survenue d'une douleur thoracique.

Le diagnostic peut être évoqué lorsque certaines anomalies sont présentes à l'état basal, comme l'existence de troubles de la repolarisation ventriculaire sur un ECG de repos ou d'une dysfonction ventriculaire gauche segmentaire ou diffuse et pouvant entraîner une diminution de la fraction d'éjection documentée en échocardiographie par exemple. Mais le plus souvent il faudra avoir recours aux tests dynamiques sensibilisés par un effort physique ou par un « stress » pharmacologique pour faire apparaître une anomalie qui était absente au repos.

L'électrocardiogramme (ECG) d'effort sur cyclo ergomètre ou sur tapis roulant est un examen ancien et très largement diffusé. Il a pour objet de détecter des anomalies de la repolarisation ventriculaire apparaissant au cours de l'exercice. Pour que l'examen soit interprétable, il est nécessaire que le patient effectue un effort physique suffisamment intense pour atteindre une fréquence cardiaque maximum théorique (220 battements — l'âge). Cependant, il souffre d'une faible sensibilité et d'une spécificité imparfaite [4] en particulier chez la femme. De plus, en cas de bloc de branche gauche, le tracé n'est pas interprétable. Cet examen figure encore en première intention dans les recommandations nord américaines de 2012 et européennes de 2013 [1], mais n'est plus mentionné dans le NICE britannique.

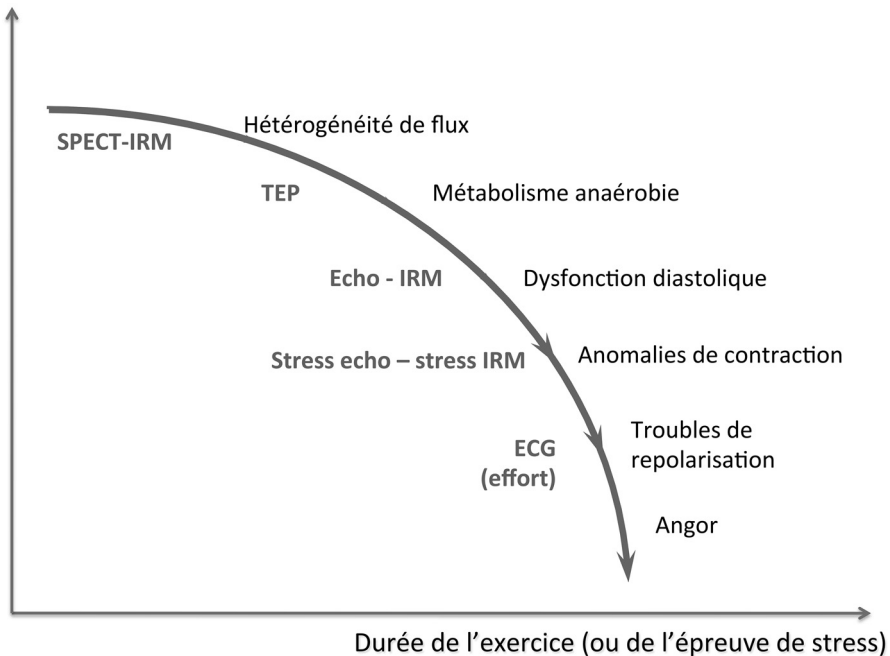


FIG. 2. — La « cascade ischémique » : les anomalies de la perfusion myocardique (détectable en scintigraphie et en IRM) et les modifications du métabolisme anaérobie (TEP) précèdent la dysfonction diastolique étudiée principalement en échocardiographie doppler (plus rarement en IRM), qui elle-même est suivie des altérations systoliques détectables en échocardiographie, en scintigraphie synchronisée sur l'ECG et en IRM. Les anomalies de la repolarisation ventriculaire enregistrées sur l'ECG sont plus tardives. La douleur thoracique survient inconstamment au terme de cette succession d'évènements.

En scintigraphie, plusieurs marqueurs sont utilisés pour étudier la perfusion myocardique mais de nos jours, on préfère les agents technetiés en raison de leur plus grande énergie, responsables de moins d'artéfacts et de la plus faible irradiation à laquelle les patients sont exposés. Les images sont recueillies au repos et immédiatement après un effort physique ou après injection d'un agent vasodilatateur (Dipyridamole ou Adénosine) dans le but d'induire une hétérogénéité de la perfusion régionale. Le caractère réversible du défaut de perfusion myocardique traduit une ischémie. Dans une méta analyse publiée en 2004 [5], regroupant les résultats de 79 études et portant sur 8964 patients, la sensibilité pour la détection de l'ischémie myocardique est de l'ordre de 86 % et la spécificité de 74 %. Les lésions portant sur un seul vaisseau sont détectées avec plus de précision que les atteintes pluri tronculaires qui induisent une hypo perfusion parfois équilibrée d'un territoire à l'autre et donc difficile à mettre en évidence. Il n'est pas encore démontré que les progrès technologiques dont a bénéficié cette technique (caméras à multi détecteurs) aient notablement modifié ces données.

L'échocardiographie de stress permet de détecter des anomalies de la contraction régionale ventriculaire gauche secondaires aux troubles de perfusion myocardique induits par le stress physique (le patient effectue un effort en étant placé sur table inclinée munie d'un cyclo ergomètre) ou pharmacologique (le plus souvent de la dobutamine qui, injectée à doses croissantes par voie intra veineuse périphérique, augmente la consommation myocardique en O₂).

L'échocardiographie de stress et la scintigraphie myocardique ont des performances diagnostiques assez proches [4]. La première est un peu moins sensible que la seconde (76 % vs 86 %) mais plus spécifique (88 % vs 77 %). En effet, les anomalies de la contraction myocardique induites par le stress sont la conséquence de l'ischémie alors que les anomalies de la perfusion et la perte de l'intégrité membranaire ne se traduisent pas toujours par un trouble de la contraction.

L'IRM est considérée actuellement comme la méthode la plus précise, reproductible et fiable pour l'étude de la perfusion myocardique mais sa disponibilité encore réduite en limite l'usage à grande échelle. L'agent de contraste approprié, le Gadolinium, modifie temporairement le temps de relaxation T1 et augmente ainsi l'intensité du signal dans le myocarde perfusé. À l'inverse, les régions ischémiques sont traduites par un signal d'intensité diminuée. Ces renseignements sont obtenus à l'état basal puis au cours d'un stress pharmacologique (dipyridamole, adénosine ou dobutamine), comme avec les autres techniques d'imagerie. Pour des raisons techniques, l'effort physique n'est pas réalisable dans l'appareillage. Le point fort de l'IRM est sa bonne résolution spatiale (environ 2 mm) qui permet de faire la différence entre les anomalies localisées dans les couches sous endocardiques et l'ischémie transmurale. Cela caractérise la supériorité de l'IRM sur la scintigraphie dont la résolution spatiale est beaucoup moins bonne. Sur une série de patients chez lesquels l'IRM de perfusion a été confrontée à la coronarographie comme méthode de référence, la sensibilité pour détecter les lésions mono, bi ou tritronculaires est de 85 %, 96 % et 100 %, respectivement, avec une spécificité de 85 % [6].

Enfin, la Tomographie à Émission de Positons utilise des traceurs radio actifs pour obtenir des images de la perfusion et du métabolisme myocardique [7]. Avant l'avènement de l'IRM, le FGD était un marqueur très utilisé pour quantifier la consommation myocardique régionale du glucose. Le parc, initialement limité, s'est considérablement agrandi dans notre pays, mais les applications actuelles sont surtout réservées à l'oncologie car en cardiologie, les autres méthodes lui font concurrence. Cet examen très spécialisé est en pratique très rarement prescrit pour la détection de l'ischémie myocardique.

Au total, avec un recul maintenant important et grâce à l'expérience de nombreuses équipes à travers le monde, et alors que les voies physiopathologiques empruntées par ces examens sont notablement différentes, on admet que les performances diagnostiques des différents tests de détection de l'ischémie myocardique sont globalement comparables, à l'exception de celles du test d'effort lorsqu'il n'est pas couplé à l'imagerie.

Le choix va donc être guidé d'une part par la disponibilité de l'appareillage et l'expertise locale et d'autre part par les limites et contre-indications de chacun de ces examens. Dans la mesure du possible, il est recommandé de privilégier l'exercice physique sur le stress pharmacologique car il est plus physiologique. Mais certains patients ne pourront pas développer un effort physique suffisant (en raison d'une artériopathie des membres inférieurs, par exemple). De même certains malades claustrophobes ne pourront pas bénéficier d'une IRM. Une mauvaise échogénicité reste la principale limite de l'échocardiographie de stress, bien que l'étude de la cinétique des parois myocardiques puisse être améliorée après injection intra veineuse d'un agent de contraste (Sonovue) qui va franchir la barrière pulmonaire et « opacifier » la cavité ventriculaire gauche.

Étude anatomique non invasive : le scanner coronaire

Le cas du scanner cardiaque est un peu à part car il fournit des renseignements sur l'anatomie des artères coronaires mais n'offre pas actuellement l'accès en routine à la perfusion myocardique. Cependant, cette situation pourrait évoluer dans les années qui viennent.

Grâce à de très rapides améliorations technologiques, les performances diagnostiques du scanner cardiaque sont devenues satisfaisantes [8]. Les méta-analyses effectuées à partir de larges études multi centriques permettent de situer la sensibilité, la spécificité, les valeurs prédictives positive et négative des appareils munis de 64 détecteurs aux environs de 86 %, 96 %, 83 % et 95 %, respectivement [9-11]. C'est surtout la forte valeur prédictive négative qui retient l'attention car elle permettrait d'affirmer que lorsque le scanner coronaire est considéré comme normal les artères coronaires sont anatomiquement normales.

Au total, la prise en compte des seules performances diagnostiques des examens d'imagerie cardiaque n'est pas suffisante pour guider la démarche clinique. Il faut aussi considérer les risques liés à ces examens et auxquels le patient est exposé et bien entendu l'aspect médico économique qui sont devenus des paramètres très importants.

Risques liés aux examens d'imagerie

En raison de l'augmentation régulière du nombre d'examens d'imagerie pratiqués, l'attention est de nouveau attirée sur l'importance des risques auxquels peuvent être exposés les patients. Il ne s'agit pas uniquement de l'exposition aux rayons X, inconvénient que partagent plusieurs méthodes d'imagerie cardiaque mais aussi de risques de gravité variable, comme ceux induits par l'usage des produits de contraste ou les complications de l'épreuve de stress elle-même lorsqu'elle est couplée à l'imagerie. Mais ces risques sont à mettre en balance avec celui de la méconnaissance chez le patient de la maladie coronaire elle-même si les tests n'étaient pas pratiqués.

Les risques à court terme incluent l'aggravation d'une insuffisance rénale et les réactions allergiques aux produits de contraste iodés utilisés pour le scanner [12],

les exceptionnelles fibroses néphrogéniques systémiques induites par le Gadolinium injecté Au cours de l'IRM [13], les troubles du rythme cardiaque parfois observés au cours de l'injection de Dobutamine [14] et les très rares complications des tests d'effort physique [15].

À long terme, les risques sont dominés par les conséquences de l'exposition aux rayons X des sujets jeunes, en particulier la survenue de cancers. L'exposition à 10 mSv se traduirait par un risque de 5 décès par cancers/10 000 patients plusieurs années plus tard [16]. Il faut cependant noter que ces probabilités ont été modélisées à partir du suivi des sujets survivants après les bombardements atomiques d'Iroshima et Nagasaki et que cette approche méthodologique est souvent critiquée.

C'est en partie pour son exposition élevée aux rayons gammas que le Thallium est de moins en moins utilisé comme traceur radio actif pour les scintigraphies myocardiques au profit des agents technéciés. Par ailleurs, des améliorations technologiques récentes considérables ont permis de réduire l'irradiation au cours du scanner, avec une dose délivrée qui a été diminuée de 10mSv à environ 1 mSv avec les appareillages les plus récents. Le tableau 1 rapporte les doses moyennes délivrées au cours des principaux examens d'imagerie.

TABLEAU 1. — Exposition du patient aux rayons X. Doses moyennes délivrées au cours des examens d'imagerie cardiaque.

Examen	Doses délivrées calculées (mSv)
Score calcique	1-2
Scanner coronaire	1-7*
Scintigraphie au Thallium-201	22
Scintigraphie au MIBI ou Tetrofosmine	10
TEP	2-3
TEP FDG (viabilité myocardique)	5
Coronarographie diagnostique	7

FDG : Fluoro Desoxy Glucose ; TEP : Tomographie à Emission de Positons.

* selon l'appareillage et le protocole d'acquisition des images utilisé.

Dans une étude très récente [16], un risque composite des accidents mortels à court et à long terme liés à ces examens non invasifs a été calculé. Lorsque les indications sont bien posées et les contre-indications respectées, il est très faible (de 1 à 10/10 000 selon que l'examen est irradiant ou non). Par comparaison, il est globalement très inférieur à celui de décès par hémorragies liées à l'aspirine (140/10 000), traitement pourtant considéré comme à très faible risque par les cardiologues et par conséquent largement préconisé dans la maladie coronaire en raison de son efficacité démontrée en prévention secondaire.

Approche médico économique

L'évaluation médico économique est devenue un paramètre important dont les médecins prennent progressivement conscience pour le choix des examens complémentaires. Les experts en santé publique et les économistes fournissent régulièrement des données aux tutelles qui les utilisent pour arbitrer les décisions concernant la prise en charge des patients, la cotation des actes, l'établissement de la carte sanitaire pour les équipements lourds, etc... Pour être utile, l'information doit être complète et prendre en compte de très nombreux facteurs : le coût initial de l'examen et son remboursement (tableau 2), le coût induit lorsque survient une complication ou que son résultat conduit à prescrire un autre test, les coûts des transports,

TABLEAU 2. — Tarifs en vigueur des examens d'imagerie cardiaque (Sécurité Sociale)

Technique	Prix (€)	Extras
ECG d'effort	76,8	
Écho Dobutamine	165,31	Sonovue : 92,47
Écho d'effort (table avec cycloergomètre)	170,66	
Scintigraphie (synchronisée ECG)	319,42 (2 ^e passage : 472,72)	
IRM de stress *	69 (+ forfait technique : 220)	Gadolinium : 80,03
Scanner *	25,27 (+ forfait technique : 220)	Agent de contraste iodé : 64,30

* Pas de cotation spécifique.

la gestion de l'appareillage (fréquence d'utilisation, charges de personnel, consommables) et son amortissement et enfin les bénéfices en termes de morbidité et de mortalité de la démarche diagnostique choisie. Le rapport coût/efficacité qui en découle doit également prendre en compte les particularités de sous-groupes (prévalence de la maladie, sexe, âge, etc...). *In fine*, la question posée est celle du montant financier qu'une société accepte de supporter pour une démarche diagnostique donnée et ce paramètre est donc très variable d'un pays à l'autre. Il s'y ajoute une notion éthique bien difficile à trancher lorsqu'il s'agit d'estimer le « prix d'une vie sauvée ». Enfin, une difficulté supplémentaire est liée au recul nécessaire pour procéder à une telle évaluation et qui se chiffre souvent en années lorsque sont intégrées des données de suivi des patients. Cela est souvent contrarié par l'aspect très évolutif de certains paramètres, en particulier les progrès technologiques qui sont une source d'amélioration des performances diagnostiques et/ou de diminution des risques liés à ces examens (« moving target » des anglo-saxons).

Cette complexité méthodologique explique le caractère assez contrasté des résultats publiés. Certaines études observationnelles mettent en évidence, pour la population à risque intermédiaire de maladie coronaire un rapport coût/efficacité favorable

pour la scintigraphie par rapport au scanner coronaire et à la TEP [17] ; d'autres démontrent au contraire l'avantage du scanner [18-20] ou de l'IRM [21] sur la scintigraphie ; d'autres enfin sont en faveur de l'échocardiographie de stress [22, 23], très répandue et peu onéreuse.

Une première étude randomisée et prospective comparant ces différents examens a été publiée en 2015 [24]. Dans cet essai monocentrique britannique, 898 patients stables, à probabilité intermédiaire de maladie coronaire et pris en charge pour le diagnostic de douleurs thoraciques ont été explorés après tirage au sort soit par scintigraphie, échocardiographie de stress ou IRM de perfusion soit directement par coronarographie diagnostique, puis ont été suivis pendant au moins 2 ans. Le résultat principal est que chacun de ces examens non invasifs de détection de la maladie coronaire peut être utilisé sans risque en terme de morbidité et de mortalité et avec un rapport coût/efficacité comparable. Dans cette population, cette approche est donc médicalement et économiquement efficiente par rapport à la prescription d'emblée d'une coronarographie.

Les résultats d'une autre étude de morbi-mortalité multicentrique randomisée nord-américaine viennent d'être rapportés [25]. Près de 10 000 patients symptomatiques à risque intermédiaire ont été explorés après randomisation soit par le scanner coronaire soit par un test non invasif d'imagerie (scintigraphie myocardique, échocardiographie de stress ou simple épreuve d'effort). Au terme d'un suivi médian de 2 ans, le recours au scanner d'emblée ne fait la preuve d'aucun bénéfice en terme de pronostic. Les données médico économiques, en cours d'analyse, ne sont pas disponibles au moment de la rédaction de cet article.

Conclusion

Le seule performance diagnostique des différentes méthodes non invasives d'imagerie cardiaque n'apparaît pas suffisante pour guider la démarche étiologique de douleurs thoraciques ressenties par un patient stable. Il est actuellement recommandé de procéder à une prise en compte plus complète des caractéristiques propres de chacune des techniques et en particulier leur disponibilité, l'expertise locale dont elles bénéficient, les risques spécifiques auxquels les patients sont exposés et aussi d'intégrer les données médico-économiques, à seule fin de faire bénéficier le patient de l'approche la plus personnalisée et d'exploiter au mieux les ressources disponibles.

RÉFÉRENCES

- [1] Montalescot G, Sechtem U, Achenbach S *et al.* 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease. *Eur Heart J.* 2013;34:2949-3003.
- [2] Fihn SD, Blankenship JC, Alexander KP *et al.* 2014 ACC/AHA/AATS/PCNA/SCAI/STS focused update of the guidelines for the diagnosis and management of patients with stable ischemic heart disease. *Circulation.* 2014;130:1749-67.

- [3] Gueret P. Apport des méthodes d'imagerie non invasives pour l'évaluation de la maladie coronaire. *Bull Acad Natle Med.* 2011;195:1069-89.
- [4] Lee TH, Boucher CA. Non invasive tests in patients with stable coronary artery disease. *N Eng J Med.* 2001;344:1840-1846.
- [5] Underwood SR, Anagnostopoulos C, Cerqueira M *et al.* Myocardial perfusion scintigraphy : the evidence. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2004;31:261-91.
- [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] Bateman TM, Heller GV, McGhie AI *et al.* Diagnostic accuracy of rest/stress ECG-gated Rb-82 myocardial perfusion PET: Comparison with ECG-gated Tc-99m sestamibi SPECT. *J Nucl Cardiol.* 2006;13:24-33.
- [8] Gueret P, Deux JF, Bonello L *et al.* Diagnostic performance of computed tomography coronary angiography (from the prospective national multicenter multivendor EVASCAN study). *Am J Cardiol.* 2013 ; 111:471-8.
- [9] Abdulla J, Abildstrom SZ, Gotzsche O *et al.* 64-Multislice detector computed tomography coronary angiography as potential alternative to conventional coronary angiography: a systematic review and meta-analysis. *Eur Heart J.* 2007;28:3042-50.
- [10] Mowatt G, Cook JA, Hillis GS *et al.* 64-slice computed tomography angiography in the diagnosis and assessment of coronary artery disease: systematic review and meta-analysis. *Heart.* 2008;94:1386-93.
- [11] Hamon M, Morello R, Riddell JW, Hamon M. Coronary arteries: diagnostic performance of 16-versus 64-section spiral CT compared with invasive angiography-meta-analysis, *Radiology.* 2007;245:720-31.
- [12] Navasimayam S, Kalra MK, Torres WE, Small WC. Adverse reactions to intravenous iodinated contrast media ; a primer for radiologists. *Emerg Radiol.* 2006;12:201-15.
- [13] Kribben A, Witzke O, Hillen U, Barkhausen J, Daul AE, Erbel R. Nephrogenic systemic fibrosis: pathogenesis, diagnosis, and therapy. *J Am Coll Cardiol.* 2009;53:1621-8.
- [14] Lattanzi F, Picano E, Adamo E, Varga A. Dobutamine stress echocardiography: safety in diagnosing coronary artery disease. *Drug Saf.* 2000;22:251-62.
- [15] Myers J, Voodi L, Umann T, Froelicher VF. A survey of exercise testing : methods, utilization, interpretation, and safety in the VAHCS. *J Cardiopulm Rehabil.* 2000;20:251-8.
- [16] Knuuti J, Bengel F, Bax J *et al.* Risks and benefits of cardiac imaging: an analysis of risks related to imaging for coronary artery disease. *Eur Heart J.* 2014;35:633-8.
- [17] Hlatky MA, Shilane D, Hachamovitch R, Dicarli MF, for the SPARC investigators. Economic outcomes in the study of myocardial perfusion and coronary anatomy imaging roles in coronary artery disease registry. The SPARC study. *J Am Coll Cardiol.* 2014;63:1002-8.
- [18] Min J, Gilmore A, Budoff MT, Berman DS, O'Day K. Cost-effectiveness of coronary CT angiography versus myocardial perfusion SPECT for evaluation of patients with chest pain and no known coronary artery disease. *Radiology.* 2010;254:801-8.
- [19] Dorenkamp M, Bonaventura K, Sohns C, Becker CR, Leber AW. Direct costs and cost-effectiveness of dual-source computed tomography and invasive coronary angiography in patients an intermediate pretest likelihood for coronary artery disease. *Heart.* 2012;98:460-7.
- [20] Darlington M, Gueret P, Laissy JP, *et al.* Cost-effectiveness of computed tomography coronary angiography versus conventional invasive coronary angiography. *Eur J Health. Econ.* 3 July 2014 [en ligne].

- [21] Greenwood JP, Maredia N, Younger JF *et al.* Cardiovascular magnetic resonance and single-photon emission computed tomography for diagnosis of coronary artery disease (CE-MARC): a prospective trial. *Lancet.* 2012;379:453-60.
- [22] Tan SS, Oppe M, Zoet-Nugteren SK *et al.* A microcosting study of diagnostic tests for the detection of coronary artery disease in the Netherlands. *Eur J Radiol.* 2009;72:98-103.
- [23] Kim C, Kwok YS, Saha S *et al.* Diagnosis of suspected coronary artery disease in women ; a cost-effectiveness analysis. *Am Heart J.* 1999;137:1019-1027.
- [24] Thom H, West NEJ, Hugues V *et al.* Cost-effectiveness of initial stress cardiovascular MR, stress SPECT or stress echocardiography as a gate-keeper test, compared with upfront invasive coronary angiography in the investigation of patients with stable chest pain: mid-term outcomes from the CECaT randomized controlled trial. *BMJ Open.* 2014;4:e003419.
- [25] Douglas PS, Hoffman U, Patel MR *et al.*, for the PROMISE investigators. Outcomes of anatomical versus functional testing for coronary artery disease. *N Engl J Med.* 2015 March 14 [en ligne].

DISCUSSION

M. Iradj GANDJBAKHCH

Faut-il avoir le même comportement pour dépister la maladie coronarienne chez les diabétiques ?

La maladie coronaire du patient diabétique est souvent cliniquement silencieuse. D'autre part, elle présente la caractéristique anatomique de siéger sur les segments distaux des vaisseaux coronaires. Du premier point découle la justification du dépistage de cette ischémie par des examens non invasifs d'imagerie cardiaque chez des patients qui ne ressentent pas de douleur thoracique. Certaines équipes préconisent la scintigraphie myocardique ou l'échocardiographie de stress. Mais il a été démontré (étude DIAD) que ce dépistage présentait un faible intérêt pronostique, ce qui justifie pour d'autres une attitude beaucoup moins systématique.

Le fait que les lésions anatomiques siègent sur les segments distaux des artères coronaires peut constituer une limite du scanner coronaire dont la résolution spatiale est moindre que celle de la coronarographie et peut être à l'origine de faux négatifs.

M. Bernard LAUNOIS

L'examen de base est l'épreuve d'effort mais on connaît des morts célèbres. N'y a-t-il pas lieu de réprover l'épreuve d'effort ?

La mortalité associée à l'épreuve d'effort sur cyclo ergomètre ou sur tapis roulant est extrêmement faible mais à la suite des accidents auxquels vous faites allusion, la réglementation est devenue très rigoureuse. Les épreuves d'effort ne peuvent être effectuées que dans un établissement hospitalier et nécessitent la disponibilité dans la salle d'examen de matériel de réanimation, en particulier des fluides médicaux et d'un défibrillateur cardiaque. Il n'y a pas lieu de réprover cet examen mais il faut souligner sa faible sensibilité diagnostique. Il figure toujours dans les recommandations de la Société Européenne de Cardiologie 2013 mais non plus dans celles du NICE britannique.

M. André VACHERON

La scintigraphie reste à mes yeux l'examen non invasif d'imagerie cardiaque le plus intéressant. Elle permet des tests de provocation hybride associant épreuve d'effort et test pharmacologique tout en surveillant cliniquement et par ECG le patient. L'irradiation est faible avec le technétium. La durée de l'examen est comprise entre 5 et 10 minutes avec les nouvelles caméras à scintillation CZT. Quel test non invasif d'imagerie préconisez-vous chez le malade porteur de pacemaker présentant un bloc complet de branche gauche sur l'électrocardiogramme ? Enfin je souligne la nécessité de répéter les tests au bout d'un ou 2 ans quand ils sont négatifs chez les patients à risque intermédiaire car la maladie coronaire est évolutive.

Je partage le bien fondé de vos commentaires. Il faut déplorer que dans notre pays, essentiellement pour des raisons financières, un tout petit nombre de centres dispose actuellement de ces nouvelles caméras multi détecteurs dont l'avantage est de raccourcir considérablement la durée de l'examen.

En cas de bloc complet de la branche gauche, la scintigraphie myocardique peut fournir des faux positifs. En échocardiographie, une analyse très attentive permettra de différencier l'asynchronisme de contraction induit par le trouble de conduction et la qualité de l'épaississement myocardique qui doit rester le critère principal d'évaluation de la fonction contractile du ventricule gauche pour détecter l'ischémie myocardique.

M. Jean-Paul BOUNHOURE

Après revascularisation myocardique quand le patient redevient symptomatique, quelle est la stratégie à recommander ?

Le sexe féminin pose toujours des problèmes dans la détection de la maladie coronaire. Quand la symptomatologie clinique est évocatrice, chez une femme ménopausée, faut-il demander un scanner ou une coronographie ?

Au scanner le score calcique a-t-il une bonne valeur prédictive ?

Un patient coronarien connu et déjà revascularisé par angioplastie ou pontage coronaire entre dans le groupe des patients à « haut risque » puisque la maladie est déjà connue. La démarche diagnostique est donc différente. Le plus souvent, le cardiologue aura recours à la coronarographie d'évaluation pour documenter une éventuelle modification de l'état anatomique coronaire soupçonnée devant la situation clinique. Cependant, les tests d'imagerie pourront être utiles pour faire correspondre l'anatomie coronaire et les modifications éventuelles de la fonction myocardique.

La détection de la maladie coronaire chez la femme est souvent difficile. Chez la femme enceinte, les examens irradiants sont contre-indiqués, en particulier la scintigraphie myocardique. La préférence sera donnée à l'échocardiographie de stress ou à l'IRM. En dehors du cas particulier de la patiente parturiente, il faut reconnaître la faible performance diagnostique de l'épreuve d'effort chez la femme. Plusieurs études ont montré l'intérêt des autres méthodes d'imagerie cardiaque fonctionnelle ou anatomique (scanner coronaire) dans cette population.

Le calcul du score calcique présente l'avantage d'une très faible exposition aux rayons X. À large échelle dans des populations importantes, sa valeur pronostique a été démontrée. Lorsque le score calculé est très faible, voire nul, la maladie coronaire est très peu

probable, mais il faut savoir que certaines plaques molles et de développement récent peuvent n'être absolument pas calcifiées (cela est observé dans environ 5 % des cas). À l'inverse, un score calcique élevé (> 400 unités Hounsfield par exemple) est habituellement la traduction d'une coronaropathie mais ces importantes calcifications vont gêner l'interprétation de la sévérité des sténoses sous-jacentes. Pour certaines équipes, un score calcique très élevé justifie de ne pas compléter l'examen par l'injection du produit de contraste iodé nécessaire à la visualisation des artères coronaires en raison des difficultés d'interprétation attendues.

M. Pierre BÉGUÉ

Vous nous avez exposé l'intérêt de la scintigraphie myocardique. Le thallium, qui risque de manquer, est-il le seul isotope utilisé ?

La préférence est actuellement donnée aux traceurs technécies, car l'exposition aux rayons gamma est moins importante qu'avec le Thallium et leur coût est moins élevé. En revanche, ils sont moins sensibles que le Thallium pour détecter les zones myocardiques viables, après infarctus du myocarde en particulier. Les difficultés d'approvisionnement ont surtout concerné les agents technécies et non le Thallium qui est produit par les cyclotrons.

M. Jean-Daniel SRAER

Faites-vous une recherche systématique de diabète ou de gammopathie monoclonale avant une angiographie ?

Les patients coronariens sont diabétiques dans environ 20 % des cas. Ce facteur de risque vasculaire est habituellement identifié avant la coronarographie et le dosage de la glycémie est effectué de façon systématique dans le bilan du patient suspect de maladie coronaire. En revanche, la recherche d'une gammopathie n'est pas systématique en raison de sa fréquence bien moindre.

M. Emmanuel-Alain CABANIS

Quelle place accordez-vous au score calcique en coronaro-scan compte tenu des variabilités individuelles (plaques molles, non calcifiées).

Une faible proportion de plaques coronaires dites « molles » peut ne pas être encore le siège du développement de calcaire. Cela doit inciter à la prudence dans l'interprétation d'un score calcique nul qui revêt une signification pronostique intéressante dans une large population mais ne permet pas d'éliminer avec une certitude absolue la présence d'une maladie coronaire chez un patient donné.