




ELSEVIER
MASSON

Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

www.em-consulte.com

**Médecine
Nucléaire**
Imagerie Fonctionnelle et Métabolique

Médecine Nucléaire 34 (2010) 637–646

Article original

L'analyse combinée de la tomoscintigraphie myocardique de stress et de l'angioscanner coronaire pour identifier les artères responsables de l'ischémie

Combined analysis of stress myocardial perfusion SPECT and coronary CT angiography in the identification of the ischemia-related coronary artery

N. Didot^{a,*}, N. Daragon^a, W. Djaballah^a, D. Mandry^b, N. Gillet^a, G. Koehl^a,
B. Ménéroux^a, F. Netter^a, S. Grandpierre^a, D. Régent^b, G. Karcher^a, P.-Y. Marie^a

^a Service de médecine nucléaire, CHU Brabois, rue du Morvan, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

^b Service de radiologie, CHU Brabois, rue du Morvan, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

Reçu le 19 octobre 2009 ; accepté le 15 septembre 2010

Disponible sur Internet le 19 novembre 2010

Résumé

L'identification en tomoscintigraphie myocardique (TSM) de stress des territoires artériels ischémiés est difficile mais pourrait être facilitée par des images de fusion à un angioscanner coronaire (ASC).

Objectif. – Évaluer l'apport d'une analyse par fusion des images de TSM de stress et d'ASC dans l'identification des troncs coronaires responsables de l'ischémie.

Méthodes. – Les TSM de stress et l'ASC, réalisés dans un délai inférieur ou égal à trois mois, ont été réanalysés en aveugle pour identifier les troncs artériels : (1) ischémiés en TSM et (2) avec sténose coronaire serrée en ASC (> 70 %). En cas de discordance, une analyse avec fusion des images de TSM et d'ASC était réalisée.

Résultats. – La population comprenait 38 patients, dont 22 (58 %) avaient une ischémie en TSM. Un ou plusieurs troncs artériels identifiés comme ischémiés étaient initialement discordants entre TSM et ASC chez 17 patients (45 %). Après fusion, neuf de ces 17 patients (53 %) étaient devenus totalement concordants (modifications de l'analyse de l'ASC chez six patients et de celle de la TSM chez seulement trois patients). Une faible sévérité de l'ischémie était le principal paramètre corrélé à la persistance d'une discordance entre les deux examens : 58 % (7/12) de ces ischémies peu sévères étaient observées dans les territoires discordants après fusion, contre 24 % (5/27) dans les territoires concordants ($p = 0,02$).

Conclusion. – L'identification en TSM du tronc artériel ischémié est rarement modifiée par une analyse combinée avec l'ASC. Des discordances entre les deux examens restent fréquentes, même après fusion, mais surtout pour des ischémies peu sévères.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Tomoscintigraphie myocardique de stress ; Angioscanner coronaire ; Fusion ; Ischémie myocardique ; Sténose coronaire

Abstract

The identification of ischemia-related coronary artery by stress myocardial perfusion SPECT (SPECT-MPS) is difficult, but it is likely that this identification could be easier by fusionning the SPECT images with images from coronary CT angiography (CTA).

Objective. – To assess the usefulness of the fusion of SPECT-MPS images with CTA images in the identification of ischemia-related coronary arteries.

Method. – SPECT-MPS and CTA, which had been recorded in a delay ≤ 3 months, were reanalyzed blindly to identify the coronary arterial vessels with (1) stress ischemia at SPECT-MPS and (2) significant coronary stenosis (> 70 %) at CTA. In case of discordance between the two techniques, an analysis was performed while fusionning the SPECT-MPS and CTA images.

Results. – The population included 38 patients, of whom 22 (58 %) had an ischemia at SPECT-MPS. The identification of the ischemia-related vessels was initially discordant between SPECT-MPS and CTA for 17 patients (45 %). After the fusion's analysis, nine out of these 17 patients

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : nicolasdidot@yahoo.fr (N. Didot).

(53 %) became totally concordant because of modifications in the CTA analysis in six patients and in the SPECT-MPS analysis in only three. A low severity of ischemia was the main correlate of persisting discordances after fusion: 58 % (7/12) of such low severity ischemia were observed in coronary vessels with persisting discordance, but only 24 % (5/27) with concordant coronary vessels ($p = 0.02$).

Conclusion. – The identification with SPECT-MPS of the ischemia-related coronary artery is rarely modified by a fusion analysis with CTA images. Discordances between the two techniques remain frequent, even after fusion, but especially in case of low severity SPECT-MPS ischemias. © 2010 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Stress myocardial perfusion SPECT; Coronary CT angiography; Ischemia-related coronary artery; Fusion; Coronary stenosis

1. Introduction

La tomoscintigraphie myocardique (TSM) de stress est un examen de référence pour détecter l'ischémie myocardique, principalement en raison de sa capacité à détecter les sténoses coronaires serrées, considérées comme hémodynamiquement significatives. En effet, différentes études ont montré que la sensibilité de cette technique pour détecter ces sténoses varie de 83 à 93 % et sa spécificité de 80 à 91 % [1–7]. Cependant, cette valeur diagnostique varie en fonction du tronc artériel considéré. Certaines équipes, dont celle de Maddahi et al. [1–3] ont observé une sensibilité de 82 à 94 % pour le territoire de l'artère interventriculaire antérieure (IVA), de 77 à 80 % pour le territoire de la coronaire droite (CD) et de 63 à 74 % pour celui de la circonflexe (CX) ; les spécificités étaient respectivement de 82 à 84 %, 84 à 85 % et 80 à 94 %. Ces valeurs s'expliquent en partie par une grande variabilité de l'anatomie et de la dominance des territoires coronaires, puisque seuls 50 à 60 % des patients ont un arbre coronaire conventionnel [8], où la paroi inférieure peut être attribuée à la CD, la paroi latérale à la CX et les autres parois à l'IVA. Surtout, la précision diagnostique est beaucoup moins élevée pour ce qui concerne l'identification d'ischémies sur plusieurs troncs coronaires. Par exemple, dans une étude réalisée sur 135 patients coronariens connus, Elhendy et al. [9] ont observé des valeurs de sensibilité de seulement 55 % pour l'identification des atteintes multitronculaires, avec au moins deux territoires ischémiés.

L'angioscanner coronaire (ASC) est une technique en constante progression qui permet la visualisation des artères coronaires de manière non invasive. Son point fort est une excellente valeur prédictive négative lorsque l'examen montre l'absence de toute sténose coronaire (94 %) [10,11]. Sa sensibilité pour la détection des sténoses significatives est aussi élevée, de l'ordre de 95 à 96 %, mais sa spécificité n'est que de 53 à 74 %, ce qui est lié à une fréquente surestimation des sténoses coronaires [11–14].

Actuellement, des logiciels d'utilisation facile permettent des analyses de fusion des images de TSM et d'ASC acquises chacune séparément. Dans des études pilotes, il a été montré que cette fusion permettait d'apporter des renseignements utiles, en particulier sur la significativité fonctionnelle des sténoses observées en ASC, mais aussi sur la localisation précise des territoires artériels correspondant aux ischémies observées en TSM [11,15–23].

Notre étude rétrospective, réalisée chez des patients ayant eu une TSM de stress et un ASC en routine, avait pour but

d'évaluer l'apport d'une analyse par fusion des images de TSM de stress et d'ASC dans l'identification des troncs artériels coronaires responsables de l'ischémie myocardique de stress.

2. Patients et méthodes

2.1. Sélection de la population

Nous avons sélectionné rétrospectivement 38 patients adressés au CHU de Nancy entre janvier 2006 et janvier 2009 pour la prise en charge d'une coronaropathie suspectée ou connue, et qui avaient bénéficié d'une TSM de stress et d'un ASC dans un délai de moins de trois mois, sans intervention de revascularisation entre les deux examens.

2.2. Réalisation des tomoscintigraphies myocardiques de stress et de repos

Comme déjà décrit [24], le stress consistait en la réalisation d'une épreuve d'effort sur bicyclette ergométrique chaque fois que cela était possible, avec des paliers de 10 ou 20W par minute selon la capacité physique du patient. En cas de faible capacité physique ou de contre-indication à l'effort, un test de vasodilatation pharmacologique au Dipyridamole était réalisé (0,56 mg/kg en 4 minutes), couplé ou non à un mini-effort sur bicyclette ergométrique [25]. Une activité égale à 3,7 MBq/kg de Sestamibi était injectée à l'acmé de l'effort ou trois minutes après la fin de l'administration de Dipyridamole et 11 MBq/kg de Sestamibi étaient réinjectés après administration de dérivés nitrés avant l'enregistrement des TSM de repos [26]. Dans les cas où le traceur utilisé était le thallium-201, la technique de stress était identique et la dose injectée était de 1,5 MBq/kg au stress et de 0,5 MBq/kg au repos. Les acquisitions des TSM étaient effectuées au moyen d'une gamma-caméra double-tête (DST-XL[®], SMV General Electric) équipée de collimateurs parallèles haute résolution. Trente-deux projections étaient enregistrées sur une orbite circulaire de 180° allant de 45° d'angle oblique postérieur gauche à 45° d'angle oblique antérieur droit. Les paramètres étaient les suivants : synchronisation des acquisitions à l'ECG avec une division du cycle cardiaque en 16 intervalles, durée d'enregistrement par projection de 50 secondes à l'effort et de 30 secondes au repos pour le Sestamibi et 40 secondes pour le thallium-201, zoom de 1,66, champ de vue de 43 × 43 cm, matrice de 64 × 64, et fenêtre de détection en énergie de 126 à 154 keV pour le technétium-99m et de 68 à 82 keV pour le pic à basse énergie du thallium-201. Comme décrit dans une précédente étude [27],

une technique de reconstruction itérative a été employée. Celle-ci utilisait deux itérations et huit sous-ensembles, un filtrage spatial (Gauss, 10 mm) et un filtrage temporel étaient également réalisés (OSEM-4D).

2.3. Réalisation de l'angioscanner coronaire (ASC)

Comme décrit dans la littérature [28–30], les examens étaient réalisés dans des conditions de repos, sans administration de bêtabloquant, sur un scanner X équipé de 64 canaux de détection (Lightspeed VCT®, General Electric Medical Systems) permettant une synchronisation électrocardiographique en mode rétrospectif, permettant de couvrir l'ensemble du cycle cardiaque. Les autres paramètres d'acquisition du scanner étaient : intensité du tube de 120 kV, avec utilisation de la modulation de la dose au cours du cycle cardiaque, un temps de rotation de 0,35 secondes et une collimation minimale de 0,625 mm sur un support de détecteurs de 40 mm. Une injection intraveineuse de 60 mL de produit de contraste à forte concentration en iode était effectuée à un débit élevé (5 à 5,5 mL/s), suivie de 40 mL d'un mélange du produit de contraste et de sérum physiologique à 2,5 mL/s et enfin de 40 mL de sérum physiologique au même débit. L'acquisition était déclenchée lors de la détection de l'arrivée de l'embolie dans l'aorte ascendante (seuil 150 UH) et s'effectuait en apnée inspiratoire d'une dizaine de secondes. Les images étaient reconstruites de 0 à 90 % du cycle cardiaque, avec un incrément de 10 %, pour couvrir l'ensemble du cycle cardiaque.

2.4. Analyse des examens

Deux phases ont été réalisées :

- des analyses séparées et en aveugle des TSM et de l'ASC ;
- une analyse par fusion des images de TSM de stress et d'ASC chez les patients pour lesquels la concordance entre les deux examens n'était pas totale.

Les analyses initiales des TSM de stress et de repos ont été réalisées par consensus de trois médecins nucléaires, dont deux expérimentés, et en utilisant la division en 17 segments du VG

[31]. Cette division, qui est présentée en Fig. 1, donnait aussi la correspondance entre les segments et les trois territoires tronculaires artériels : les segments inférieurs sont attribués à la CD, les segments latéraux à la CX et les autres segments à l'IVA. Pour chacun des trois territoires artériels, il a été déterminé si l'examen était normal ou anormal (au moins un segment ischémié ou infarci sur les 17 segments) et dans ce cas :

- le nombre de segments présentant des signes d'ischémie (lacune réversible) ;
- le nombre de segments présentant des signes d'infarctus (lacune irréversible) ;
- la présence ou l'absence d'anomalies concomitantes de la contractilité sur l'acquisition de stress ;
- la réversibilité de ces anomalies sur l'acquisition de repos.

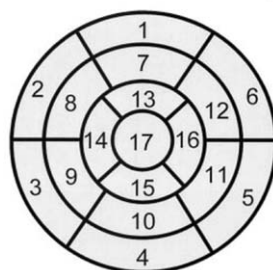
Un territoire artériel a été considéré comme ischémié lorsqu'au moins un segment présentait des signes d'ischémie et les ischémies ont été considérées comme peu sévères lorsqu'elles ne touchaient pas plus de deux segments et qu'elles n'étaient pas associées à des anomalies cinétiques réversibles au repos [32]. La fraction d'éjection a été déterminée avec le logiciel QGS® (Quantitative Gated-Spect Software) [33].

L'analyse initiale des ASC a été réalisée en aveugle par un médecin radiologue expérimenté, selon une analyse visuelle en utilisant une station de post-traitement (Advantage Workstation, General Electric) pour :

- sélectionner la ou les phase(s) optimales permettant l'analyse du réseau artériel coronaire ;
- analyser les artères coronaires avec les outils disponibles (suivi de vaisseau avec reconstructions curvilignes et lumenales par exemple) ;
- classer les sténoses coronaires selon leur sévérité (non significatives, intermédiaires ou significatives (serrées, c'est-à-dire obstruant plus de 70 % de la lumière, ou occluses) et ce, pour chacun des trois troncs coronaires : IVA, CX et CD.

Les territoires tronculaires avec des sténoses jugées significatives (> 70 %) ont été considérés comme possiblement

Segmentation du ventricule gauche



Territoires artériels coronaires

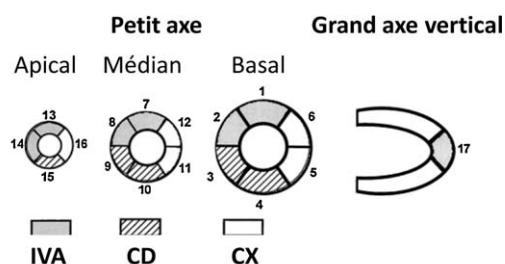


Fig. 1. Représentation, sur une carte polaire, de la division du ventricule gauche en 17 segments recommandée par l'AHA pour les examens tomographiques cardiaques et la répartition de ces 17 segments entre les territoires de l'artère interventriculaire antérieure (IVA), de l'artère coronaire droite (CD) et de l'artère circumflexe (CX) [31].

Display, on a circumferential polar plot, of the 17 myocardial segments recommended by AHA for tomographic imaging of the heart, and the assignment of the 17 myocardial segments to the territories of the left anterior descending artery (LAD), right coronary artery (RCA), and the left circumflex coronary artery (LCX).

ischémiés, à la condition que le territoire artériel ne soit pas aussi vascularisé par un pontage aorto-coronaire fonctionnel.

2.5. Analyse par fusion d'images de TSM et d'ASC

Tous les examens des patients, qui présentaient initialement une discordance partielle ou complète dans les territoires tronculaires considérés comme ischémiés en TSM et en ASC, ont été réanalysés en utilisant un logiciel de fusion d'images (Esoft 3D[®], Siemens). Cette analyse a été effectuée en commun par le médecin radiologue et les médecins nucléaires qui avaient effectué la première partie d'analyses séparée. Le logiciel utilisé a permis de fusionner les images tomoscintigraphiques reconstruites de stress avec les images d'ASC. L'échelle de couleur utilisée pour la tomoscintigraphie était l'échelle « Spectrum » identifiant en bleu, vert et jaune les zones avec une captation diminuée du traceur à l'effort. Le fenêtrage du scanner était optimisé pour l'analyse des tissus mous (autour de 50 UH de centre avec une largeur de 400 UH). Ce logiciel permet un recalage manuel précis des images des deux examens et une réorientation dans tous les plans grâce à une reconstruction multiplanaire (« Multiplanar Reformatted », MPR) des images fusionnées. La visualisation était réalisée en mode *side by side*, qui permet d'afficher côte-à-côte les images scanographiques et les images de fusion provenant d'un même plan de coupe. La procédure d'analyse consistait alors à (1) identifier précisément la zone mal vascularisée à l'effort, (2) identifier les artères en amont de cette zone et (3) rechercher une sténose sur ces artères. Pour chaque territoire initialement discordant, il a été discuté la significativité des anomalies observées (ischémie significative ou artefact, sténose intermédiaire ou serrée) et leur localisation en termes de territoire artériel tronculaire. Au terme de cette analyse, les patients initialement discordants étaient classés en deux sous-groupes : ceux qui étaient devenus concordants après l'analyse conjointe en fusion et dont le compte-rendu de l'ASC ou de la TSM avait été modifié (concordants après fusion) et ceux pour lesquels il persistait une discordance après fusion (discordants).

2.6. Analyse statistique

Les variables qualitatives ont été exprimées en pourcentages et les variables quantitatives en valeurs moyennes plus ou moins l'écart type. Des comparaisons multigroupes ont été effectuées avec (1) des tests du Khi² ou des tests exacts de Fisher pour les variables qualitatives et (2) une analyse de type ANOVA pour les variables quantitatives.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques cliniques de la population.

Les principales caractéristiques de ces patients sont détaillées dans le Tableau 1. Parmi les 38 patients inclus, 24 étaient des hommes (63 %), l'âge moyen était de 59 ± 11 ans et 17 (45 %) avaient un antécédent de revascularisation coronaire (dix pontages et sept angioplasties). Pour 33 patients (87 %),

le traceur utilisé était le Sestamibi et pour cinq (13 %), le thallium-201.

Seize des 38 patients (42 %) avaient bénéficié de ces examens à visée diagnostique pour détecter une maladie coronaire, notamment dans le cadre de bilans préopératoires. Pour sept patients (18 %), l'ASC et la TSM ont été réalisés dans le cadre du contrôle d'une cardiomyopathie ischémique traitée médicalement. Pour 15 patients (39 %), l'indication était le contrôle dans les suites d'une revascularisation (dans cinq cas par angioplastie et dans dix cas par pontage). Dans 20 cas (53 %), l'ASC a été effectué après la TSM et dans les autres cas, c'était la TSM qui avait été réalisée après l'angioscanner. Le délai moyen entre les TSM et l'ASC était de 1,6 ± 0,9 mois. Vingt-cinq patients (66 %) étaient sous traitement anti-angineux lors de la réalisation des TSM.

Les TSM étaient strictement normales chez 16 patients (42 %) ; elles montraient des signes d'ischémie chez 22 patients (58 %) et cette ischémie touchait plusieurs territoires artériels coronaires chez huit patients (21 %). Les ASC étaient strictement normaux chez 14 patients (37 %) ; ils montraient des sténoses serrées chez 11 patients (29 %) et ces sténoses touchaient plusieurs territoires artériels coronaires chez deux patients (5 %).

3.2. Analyse des TSM et de l'ASC avant fusion

Comme cela est détaillé dans le Tableau 1, 21 patients parmi les 38 (55 %) présentaient initialement une concordance complète entre les données de la TSM et de l'ASC, chaque territoire ischémié en TSM étant associé à une sténose serrée en ASC. Cependant, parmi ces 21 patients, on notait la présence de l'ensemble des 16 patients dont les TSM étaient normales et qui étaient donc aussi tous sans sténose serrée en ASC (14 patients ne présentaient aucune sténose et deux des sténoses intermédiaires). Ainsi, seulement cinq de ces 21 patients concordants présentaient un (quatre patients) ou plusieurs (un patient) territoires tronculaires possiblement ischémiés. Rappelons que ces territoires sont définis comme ceux présentant une sténose serrée en ASC et/ou une ischémie en TSM.

Un nombre total de 17 patients (45 % de la population totale) était donc discordant avant fusion, mais cette discordance n'était totale que dans 15 cas (39 % de la population totale). Dans les deux cas restant, au moins un territoire d'ischémie était concordant entre TSM et ASC.

Lorsque l'analyse était faite sur les territoires tronculaires potentiellement ischémiés, ceux-ci étaient initialement au nombre de 33 dans l'ensemble de la population et ils étaient totalement concordants entre TSM et ASC dans huit cas (24 %). Un nombre de 25 territoires étaient donc discordants et ces discordances correspondaient à une sténose serrée sans ischémie dans quatre cas (16 %) et à une ischémie sans sténose serrée dans les 21 cas restants.

3.3. Analyse par fusion des images de TSM et d'ASC

Cette analyse utilisant la fusion d'images de TSM et d'ASC a été réalisée sur les 25 territoires initialement discordants et qui provenaient des 17 patients chez lesquels l'analyse initiale

Tableau 1

Analyse par patient des principales caractéristiques cliniques et des principaux résultats des tomoscintigraphies myocardiques (TSM) et de l'ASC obtenus initialement, avant fusion, dans l'ensemble de la population, ainsi que dans les trois groupes ultérieurement constitués en fonction de la concordance entre la TSM et l'ASC (concordance initiale ou après fusion dans l'identification des territoires ischémiés, discordance persistante après fusion).

Analysis patient by patient of main clinical characteristics and main results of the SPECT-MPS and CTA obtained initially, before fusion, for the whole population and for each of the 3 groups established ulteriorly according to the concordance between SPECT-MPS and CTA (initial or after fusion concordance in identification of ischemic territories, persistant discordance after fusion).

	Ensemble de la population (n = 38) (%)	Initialement concordants (n = 21) (%)	Concordants après fusion (n = 9) (%)	Discordants (n = 8) (%)
<i>Données cliniques et démographiques</i>				
Sexe masculin	24 (63)	12 (57)	6 (67)	6 (75)
Âge (années)	59±11	58±10	60±10	59±15
Présence d'angor	15 (39)	10 (48)	4 (44)	1 (12)
Antécédents coronariens	23 (61)	9 (43 %)*	8 (89)	6 (75)
Infarctus	16 (42)	4 (19)*†	7 (78)	5 (62)
Pontage	10 (26)	3 (14)*	5 (56)	2 (25)
Angioplastie	7 (18)	2 (10)*	5 (56)†	0 (0)
<i>TSM de stress</i>				
Effort	28 (74)	16 (76)	7 (78)	5 (63)
Dipyridamole	8 (21)	5 (24)	1 (11)	2 (25)
Mixte	2 (5)	0 (0 %)	1 (11)	1 (12)
Angor	2 (5)	2 (10)	0 (0)	0 (0)
Sous-décalage ST ≥ 1,5 mm	5 (13)	3 (14)	1 (11)	1 (12)
TSM normale	16 (42)	16 (76)*†	0 (0)	0 (0)
Infarctus en TSM	12 (32)	3 (14)*†	6 (67)	3 (37)
Nombre de segments	1,2±2,1	0,9±2,4	2,1±2,1	1,0±1,4
Ischémie en TSM	22 (58)	5 (24)*†	9 (100)	8 (100)
Nombre de segments	1,6±1,7	0,9±1,6)*†	2,6±1,2	2,6±1,4
Multitronculaire	8 (21)	1 (5)*	4 (44)	3 (37)
<i>Sténose(s) coronaire(s) à l'ASC</i>				
Aucune	14 (37)	10 (48)	2 (22)	2 (25)
Uniquement intermédiaire(s)	13 (34)	6 (29)	4 (44)	3 (37)
Serrée(s)	11 (29)	5 (24)	3 (33)	3 (37)
Multitronculaires	2 (5)	1 (5)	1 (11)	0 (0)

* : $p < 0,05$ pour les comparaisons avec le groupe concordant après fusion ; † : $p < 0,05$ pour les comparaisons avec le groupe discordant après fusion ; TSM : tomoscintigraphie myocardique ; ASC : angiogramme coronaire.

n'était pas totalement concordante entre TSM et ASC. L'analyse par fusion a permis d'obtenir une concordance dans 13 de ces 25 territoires (52 %), neuf des 17 patients (53 %) devenant ainsi totalement concordants entre les deux examens.

Les 13 modifications diagnostiques ont intéressé le scanner dans neuf cas (69 %) et la TSM dans les 4 restants. Pour le scanner, il s'agissait toujours de sténoses considérées initialement comme intermédiaires, mais que la nouvelle analyse a permis de classer comme significatives par le médecin radiologue spécialiste. Pour les TSM, il s'agissait : (1) d'un cas de suppression de territoire ischémié (ischémie jugée comme finalement peu significative alors que l'ASC était strictement normal) et de deux cas de modifications de territoires : une ischémie attribuée au territoire CD était finalement attribuée au territoire CX (Fig. 2) et une ischémie dans le territoire de l'IVA fut considérée comme s'étendant aussi au territoire CD (Fig. 3).

3.4. Paramètres prédictifs des concordances et discordances avant et après fusion

Pour cette analyse, nous avons tout d'abord comparé trois groupes de patients :

- le groupe de ceux totalement concordants avant fusion ;
- le groupe totalement concordant après fusion ;
- le groupe avec une discordance persistante après fusion.

Les résultats de cette analyse appliquée aux patients sont dans le Tableau 1. Une même analyse en trois groupes a été effectuée pour les résultats par territoire possiblement ischémié (ceux présentant une ischémie en TSM et/ou une sténose serrée en ASC) et les résultats de cette seconde analyse figurent dans le Tableau 2.

Comme cela est détaillé dans le Tableau 1, les 16 patients avec TSM normales étaient tous situés dans le groupe initialement concordant et ils représentaient donc 75 % des patients de ce groupe. C'est probablement pourquoi ce groupe présentait des anomalies scintigraphiques (infarctus et ischémie) en moyenne moins étendues que les deux autres groupes (Tableau 1) et, aussi, une moindre fréquence d'antécédents cardiovasculaires (infarctus, angioplastie, pontage). D'ailleurs, aucune de ces différences significatives ne persistait si l'on excluait les 16 patients avec TSM normales de l'analyse. Aucun autre paramètre de cette analyse par patient n'était significativement différent entre les trois groupes.

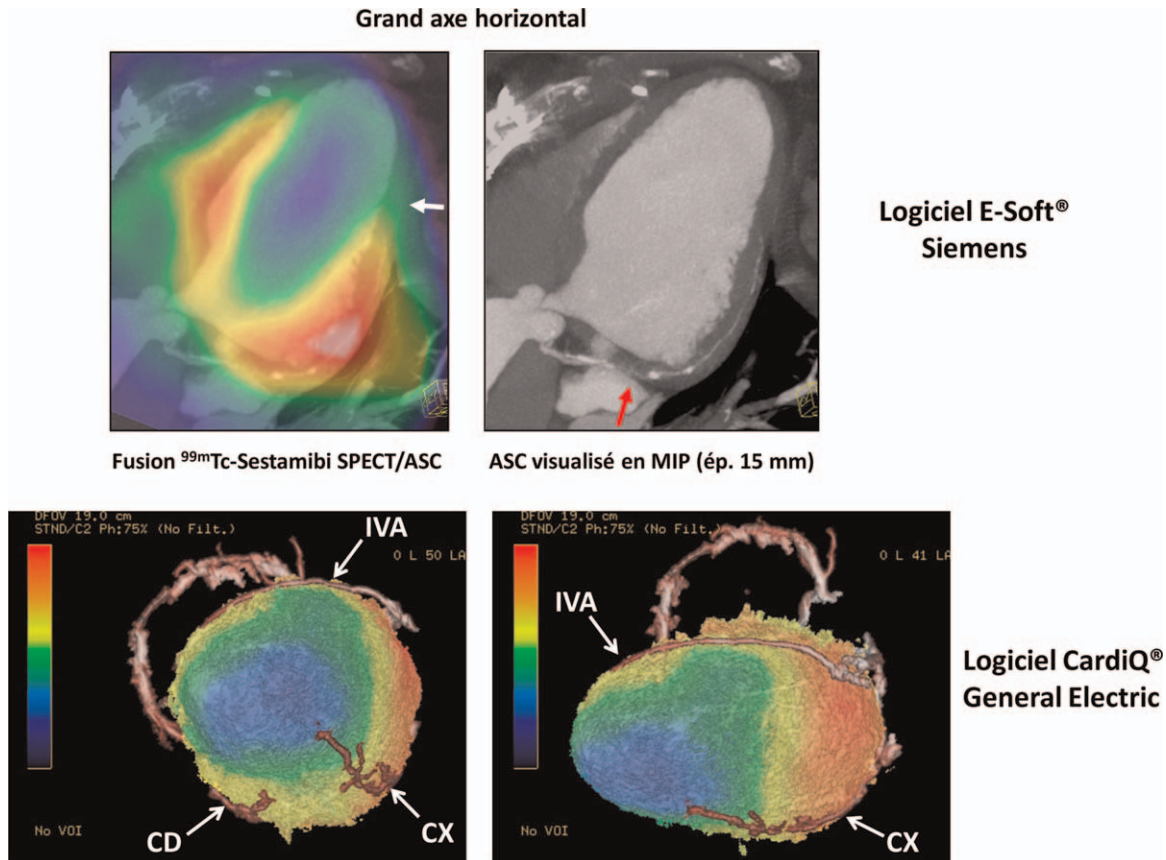


Fig. 2. Exemple chez une patiente pour laquelle l'analyse initiale en tomoscintigraphie myocardique décrivait un infarctus dans le territoire de l'artère interventriculaire antérieure (IVA) et une ischémie inféro-latérale imputée à la coronaire droite (CD) et/ou la circonflexe (CX). L'analyse en fusion utilisant le logiciel E-Soft® (grand axe horizontal représenté sur l'image de gauche) met en évidence une lacune de perfusion latérale (flèche blanche) et l'analyse simultanée de l'angioscanner coronaire (représentation en MIP sur l'image de droite) objective une sténose serrée d'une latérale de la CX (flèche rouge) expliquant probablement l'ischémie. L'analyse de ces images avec le logiciel CardiQ® (images en 2^{ème} ligne) confirme la localisation de l'ischémie dans le territoire de la CX.

Example, a patient whose the initial analysis in myocardial perfusion SPECT described a myocardial infarction in the territory of the left anterior descending artery (LAD) and an infero-lateral ischemia attributed to the right coronary artery (RCA) and/or the left circumflex artery (LCX). The analysis in fusion using the software E-Soft® (horizontal long axis representation on the left image) highlights a defect of lateral perfusion (white arrow) and the simultaneous analysis of multidetector computer tomography (MIP representation on the right image) shows a lateral stenosis of the LCX (red arrow) probably explaining ischemia. Moreover, the analysis of this patient with the software CardiQ® (2nd line) confirms the localization of ischemia in the territory of the LCX.

Comme cela est détaillé dans le Tableau 2, la présence d'une concordance initiale entre les deux examens était essentiellement associée à des ischémies plus sévères que dans les deux autres groupes. En effet, parmi les huit territoires initialement concordants, 100 % présentaient des anomalies cinétiques réversibles, 88 % présentaient une ischémie dont l'étendue est de plus de deux segments, alors que les pourcentages correspondants étaient de 54 et 0 % dans le groupe concordant après fusion et de 17 et 8 % dans le groupe avec discordance persistante après fusion.

Finalement, une ischémie peu sévère, définie par une étendue ne dépassant pas deux segments et l'absence d'anomalie cinétique induite par le stress [32], n'était jamais observée dans le groupe initialement concordant. Par contre, ces ischémies peu sévères étaient assez fréquentes dans le groupe concordant après fusion (38 %) et encore plus fréquentes dans le groupe avec discordance persistante (58 %), la différence entre ces deux groupes étant à la limite de la significativité statistique ($p = 0,06$).

Lorsque le groupe de territoires discordants après fusion était comparé aux autres territoires analysés (ceux concordants d'emblée ou après fusion), ce critère d'une faible sévérité de l'ischémie était le principal paramètre significativement différent : 58 % (7/12) de ces territoires présentant des ischémies peu sévères étaient observés parmi les territoires discordants après fusion, contre 24 % (5/27) dans les territoires concordants ($p = 0,02$).

4. Discussion

L'imagerie non invasive pour la détection et le suivi de la maladie coronaire est un domaine en constante évolution et ce d'autant que le nombre de patients présentant une cardiopathie ischémique est en constante augmentation. La TSM de stress est validée par de nombreuses études cliniques et est utilisée en routine pour le diagnostic de sténoses coronaires hémodynamiquement significatives [1–5,9]. Au cours de ces dernières années, l'ASC est apparu comme une technique prometteuse

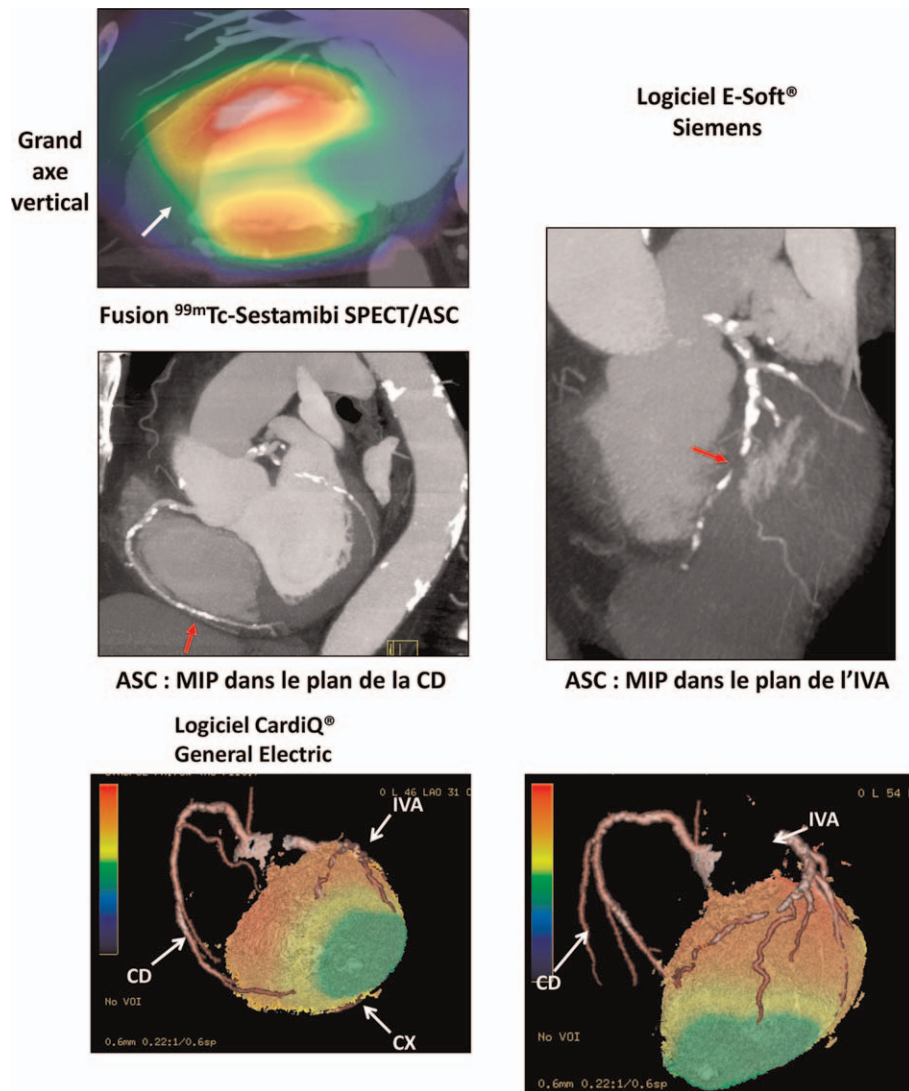


Fig. 3. Exemple chez un patient pour lequel la tomoscintigraphie myocardique décrivait une ischémie dans le territoire de l'artère interventriculaire antérieure (IVA). L'analyse en fusion utilisant le logiciel E-Soft® (grand axe vertical représenté sur l'image de la 1^{ère} ligne) met en évidence une lacune de perfusion inféro-apicale (flèche blanche) et l'analyse simultanée de l'ASC (représentation en MIP sur les images de la 2^{ème} ligne) objective une IVA très calcifiée et présentant une sténose serrée dans sa portion distale (image de droite, flèche rouge), ainsi qu'une sténose serrée calcifiée de la portion distale de la coronaire droite (CD) (image de gauche, flèche rouge). L'analyse de ces images avec le logiciel CardiQ® (images en 3^{ème} ligne) confirme la localisation de l'ischémie dans les territoires de l'IVA et de la CD. Example in a patient for which myocardial perfusion SPECT described ischemia in the LAD territory. The analysis of fusion images using the E-Soft® software (vertical long axis represented on the image of the first line) highlights a defect of infero-apical perfusion (white arrow) and the simultaneous analysis of the multidetector computer tomography (MIP images on the second line) shows a very calcified LAD with a tight stenosis in its distal portion (right image, red arrow), and the calcified stenosis of the distal portion of RCA (left image, red arrow). The analysis of these images with the software CardiQ® (3rd line) confirms the localization of ischemia in the territories of LAD and RCA.

pour détecter les sténoses coronaires serrées dont on peut supposer qu'elles sont responsables d'une ischémie [11,13,14,16,23]. Notre étude avait pour but d'évaluer l'apport d'un logiciel permettant de fusionner les images de TSM et d'ASC, cette fusion étant ensuite analysée conjointement par radiologues et médecins nucléaires. En effet, ce concept de fusion semble séduisant dans la mesure où il permet de bénéficier à la fois d'une imagerie fonctionnelle avec la TSM et d'une visualisation précise des troncs artériels coronaires voire de leurs branches, avec l'ASC [8,15,17,20–22]. Ces segments artériels étaient donc réanalysés précisément pour essayer de mettre en évidence une sténose coronaire possiblement

incriminée dans l'ischémie détectée. Cette démarche était susceptible d'améliorer la précision avec laquelle la TSM de stress permet l'identification des troncs coronaires ischémiés. On sait, en effet, que cette identification est souvent difficile (variabilité des territoires artériels, significativité des anomalies peu sévères) [8] alors qu'elle est importante d'un point de vue pronostique (nombre d'atteintes tronculaires coronaires) ainsi que pour planifier une éventuelle intervention de revascularisation myocardique [7,34–36].

Nous avons d'emblée observé des discordances entre les résultats des TSM et des ASC, réinterprétés en aveugle, puisque c'était le cas chez presque la moitié des patients (45 % de la

Tableau 2

Analyse par territoire artériel possiblement ischémié (ischémie en TSM ou sténose serrée en ASC) des principaux résultats des tomoscintigraphies myocardiques (TSM) et de l'angioscanner coronaire (ASC) obtenus initialement, avant fusion, dans les trois groupes ultérieurement constitués en fonction de la concordance entre la TSM et l'ASC (concordance initiale ou après fusion dans l'identification des territoires ischémiés, discordance persistante après fusion). *Analysis of possible ischemic territories (ischemia on SPECT-MPS or tight stenosis on CTA) of the SPECT-MPS and CTA results obtained initially before fusion, in the 3 groups ulteriorly established according to the concordance between SPECT-MPS and CTA (initial or after fusion concordance in identification of ischemic territories, persistent discordance after fusion).*

	Initialement concordants (n = 8) (%)	Concordants après fusion (n = 13) (%)	Discordants (n = 12) (%)
<i>Territoire artériel</i>			
IVA	4 (50)	5 (38)	2 (17)
Cx	0 (0)†	3 (23)	6 (50)
CD	4 (50)	5 (38)	4 (33)
<i>Étude des territoires en TSM</i>			
Normal	0 (0)	1 (8)	3 (25)
Infarctus	1 (12)	5 (38)	3 (25)
Nombre de segments	0,2±0,7	1,1±1,8	0,6±1,1
Ischémie en TSM	8 (100)	12 (92)	9 (75)
Nombre de segments	3,0±0,5*‡	1,3±0,6	1,4±1,2
Étendue > 2 segments	7 (88)*‡	0 (0)	1 (8)
Faible sévérité ‡	0 (0)	5 (38)	7 (58)
Anomalies de la cinétique	8 (100 %)*‡	9 (69)	4 (33)
Irréversibles	0 (0)	2 (15)	2 (17)
Réversibles	8 (100)*‡	7 (54)	2 (17)
<i>Étude des territoires en ASC</i>			
Normal	0 (0)	4 (31)	3 (25)
Sténoses intermédiaires seules	0 (0)*‡	7 (54)	6 (50)
Sténoses serrées	8 (100)*‡	2 (15)	3 (25)

* : $p < 0,05$ pour les comparaisons avec le groupe concordant après fusion ; † : $p < 0,05$ pour les comparaisons avec le groupe discordant après fusion ; ‡ : ischémie de faible sévérité définie par l'absence d'anomalie cinétique et une étendue inférieure ou égale à deux segments ; IVA : artère interventriculaire antérieure ; CD : artère coronaire droite ; Cx : artère circonflexe ; TSM : tomoscintigraphie myocardique ; ASC : angioscanner coronaire.

population). Cela signifiait, d'une part, que des sténoses jugées serrées en ASC n'étaient en fait pas hémodynamiquement significatives ou qu'il existait des cas de faux négatifs en TSM : ceux-ci varient entre 7 et 17 % [2,3,7] suivant les études et ont pu être favorisés par la réalisation de la majorité de ces examens sous traitement anti angineux. D'autre part, cela nous montrait que des ischémies détectées en TSM, soit ne correspondaient à aucune sténose serrée sur les critères morphologiques de l'ASC, soit étaient mal localisées en termes de tronc artériel coronaire. Cela a déjà été mis en évidence dans plusieurs études comparant les performances diagnostiques de l'ASC et la TSM [11,17,18,23]. Selon différents auteurs, cette discordance est en partie expliquée par la variabilité interindividuelle des territoires artériels coronaires [8]. La définition de ces territoires, qui est la plus couramment utilisée et qui est proposée dans la division en 17 segments du VG [31], pourrait donc être une source d'erreurs dans l'identification du tronc artériel incriminé.

De façon surprenante, ce problème n'a pas semblé particulièrement critique dans notre étude, dans la mesure où la fusion d'images a permis de modifier la localisation tronculaire de l'ischémie dans seulement deux cas (5 %). Cependant, nous devons reconnaître qu'il y avait quand même un certain nombre de cas où la fusion a permis de préciser quelle était la branche atteinte sur le tronc considéré ; mais, cela était alors considéré comme une précision diagnostique et non comme une modification et était donc en dehors de l'objectif initial de notre étude.

En revanche, le diagnostic de l'ASC a été modifié dans six cas (16 %) après fusion. Il s'agissait alors toujours d'une sous-estimation de l'importance des sténoses coronaires, qui avaient été jugées initialement intermédiaires, mais que le radiologue a considéré comme significatives après fusion. Cela confirme le problème posé par les sténoses décrites comme intermédiaires sur des critères uniquement morphologiques (occlusion de la lumière entre 50 et 70 %) et dont on sait que l'analyse est vraiment difficile en ASC [12,29,37]. Comme cela a déjà été montré par de précédents travaux [11,19,22,38], la TSM de stress est donc un examen potentiellement utile pour évaluer le retentissement des sténoses intermédiaires visualisées en ASC et ce, en particulier si une fusion des images est réalisée, afin de permettre une identification précise de l'artère considérée [15].

Après analyse de la fusion, le taux de discordance finale entre TSM et ASC restait toutefois important (21 %). Cependant, nous avons aussi observé que cette discordance était surtout importante pour les ischémies peu sévères car présentant une faible étendue (≤ 2 segments) et sans anomalie cinétique induite par l'effort. Après exclusion de ces ischémies peu sévères, le taux de discordance final entre les deux examens était de 9 % seulement. Il faut aussi noter que chez les 16 patients dont la TSM était totalement normale, aucune sténose serrée n'a été observée sur l'ASC et, donc, la concordance initiale avec l'ASC était alors de 100 %. Finalement, c'est donc dans les cas d'ischémies de faible sévérité que la fusion est surtout susceptible de modifier le diagnostic initial. Les 12 patients qui présentaient ce type d'ischémie peu sévère avaient d'ailleurs tous une discordance initiale. Cette discordance était levée dans cinq cas sur 12 (42 %), mais essentiellement par des modifications du diagnostic porté à l'ASC comme nous l'avons déjà vu. Dans les autres cas, la discordance pourrait s'expliquer par la présence de faux positifs en TSM, ce qui est assez fréquent pour les faibles ischémies. D'ailleurs, dans les précédentes études ayant comparé la TSM à la coronarographie, la sensibilité et la spécificité sont de l'ordre de 90 % pour détecter des sténoses coronaires significatives. Les renseignements anatomiques de l'ASC et les données fonctionnelles de la TSM étant de la même façon différents, on ne pouvait pas s'attendre à une concordance parfaite entre ASC et TSM.

Les principales limites de notre étude sont :

- le petit effectif de la population étudiée, s'expliquant par le faible nombre de patients ayant bénéficié à la fois d'une TSM de stress et d'un ASC ;
- la nature rétrospective de notre étude ;

- l'absence de coronarographie systématique (technique conventionnelle de référence utilisée dans ce type d'étude).

En effet, la réalisation rapprochée de ces deux examens sans élément thérapeutique nouveau ne fait habituellement pas l'objet de recommandations par les sociétés savantes [39,40], mais est parfois considérée comme utile lorsqu'il s'agit de tableaux cliniques compliqués (multiples antécédents de revascularisation) ou lorsqu'un des deux examens s'avère douteux. Il s'agit donc d'une population très particulière et nos résultats ne sont donc très probablement pas directement transposables dans des populations plus générales de patients coronariens. Cependant, notre étude a permis de mieux comprendre ce que l'on pouvait attendre d'une fusion entre l'ASC et la TSM et peut-être aussi de mieux sélectionner les patients qui pourraient en bénéficier réellement.

D'autres études sont encore nécessaires avant de définir la place de cette fusion dans la stratégie diagnostique utilisée pour détecter l'ischémie myocardique. D'ailleurs, d'autres logiciels de fusion que celui qui était employé sont aussi disponibles et permettent peut être une analyse plus simple en routine, grâce à une segmentation de l'arbre artériel coronaire. Nous avons par exemple testé le logiciel *CardiQ*[®] (General Electric), mais celui-ci ne permettait pas une analyse précise de la sévérité des sténoses coronaires, ce qui était indispensable dans notre étude [21]. Cependant, ce logiciel permet de déterminer très facilement le tronc coronaire incriminé dans une ischémie en TSM et cela, grâce à une représentation de la fusion en rendu volumique (VRT) (Fig. 2 et 3), comme cela a déjà été décrit [21,22].

5. Conclusion

Dans notre étude, nous avons pu observer que l'identification en TSM du tronc artériel responsable de l'ischémie n'est que rarement modifiée par une analyse combinée avec l'ASC. De plus, des discordances entre les deux examens restent fréquentes et ce, même après fusion. Cependant, ces discordances ont surtout été observées pour des ischémies peu sévères.

Conflit d'intérêt

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt.

Références

- [1] Maddahi J, Garcia EV, Berman DS, Waxman A, Swan HJ, Forrester J. Improved noninvasive assessment of coronary artery disease by quantitative analysis of regional stress myocardial distribution and washout of thallium-201. *Circulation* 1981;64:924–35.
- [2] Elhendy A, Schinkel AF, Bax JJ, van Domburg RT, Valkema R, Biagini E, et al. Accuracy of stress Tc-99m tetrofosmin myocardial perfusion tomography for the diagnosis and localization of coronary artery disease in women. *J Nucl Cardiol* 2006;13:629–34.
- [3] Abdulla A, Maddahi J, Garcia E, Rozanski A, Swan HJ, Berman DS. Slow regional clearance of myocardial thallium-201 in the absence of perfusion defect: contribution to detection of individual coronary artery stenoses and mechanism for occurrence. *Circulation* 1985;71:72–9.
- [4] Berger BC, Watson DD, Taylor GJ, Craddock GB, Martin RP, Teates CD, et al. Quantitative thallium-201 exercise scintigraphy for detection of coronary artery disease. *J Nucl Med* 1981;22:585–93.
- [5] Kapur A, Latus KA, Davies G, Dhawan RT, Eastick S, Jarritt PH, et al. A comparison of three radionuclide myocardial perfusion tracers in clinical practice: the ROBUST study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2002;29:1608–16.
- [6] Stratmann HG, Williams GA, Wittry MD, Chaitman BR, Miller DD. Exercise technetium-99m sestamibi tomography for cardiac risk stratification of patients with stable chest pain. *Circulation* 1994;89:615–22.
- [7] Go V, Bhatt MR, Hendel RC. The diagnostic and prognostic value of ECG-gated SPECT myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 2004;45:912–21.
- [8] Schindler TH, Magosaki N, Jeserich M, Oser U, Krause T, Fischer R, et al. Fusion imaging: combined visualization of 3D reconstructed coronary artery tree and 3D myocardial scintigraphic image in coronary artery disease. *Int J Card Imaging* 1999;15:357–68 [discussion 69–70].
- [9] Elhendy A, Sozzi FB, van Domburg RT, Bax JJ, Geleijnse ML, Valkema R, et al. Accuracy of exercise stress technetium 99m sestamibi SPECT imaging in the evaluation of the extent and location of coronary artery disease in patients with an earlier myocardial infarction. *J Nucl Cardiol* 2000;7:432–8.
- [10] Hamon M, Biondi-Zoccai GG, Malagutti P, Agostoni P, Morello R, Valgimigli M. Diagnostic performance of multislice spiral computed tomography of coronary arteries as compared with conventional invasive coronary angiography: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:1896–910.
- [11] Gaemperli O, Schepis T, Koepfli P, Valenta I, Soyka J, Leschka S, et al. Accuracy of 64-slice CT angiography for the detection of functionally relevant coronary stenoses as assessed with myocardial perfusion SPECT. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2007;34:1162–71.
- [12] Laissy JP, Sebban V, Deux JF, Huart V, Mousseaux E. Noninvasive coronary artery imaging: CT and MR. *J Radiol* 2004;85:1798–808.
- [13] Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, Gitter M, Sutherland J, Halamert E, et al. Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:1724–32.
- [14] Pernes JM, Sirol M, Chabbert V, Christiaens L, Alison D, Hamon M, et al. Current indications for cardiac CT. *J Radiol* 2009;90:1123–32.
- [15] Nakaura T, Utsunomiya D, Shiraishi S, Tomiguchi S, Honda T, Ogawa H, et al. Three-dimensional cardiac image fusion using new CT angiography and SPECT methods. *AJR Am J Roentgenol* 2005;185:1554–7.
- [16] Nicol ED, Stirrup J, Reyes E, Roughton M, Padley SP, Rubens MB, et al. Sixty-four-slice computed tomography coronary angiography compared with myocardial perfusion scintigraphy for the diagnosis of functionally significant coronary stenoses in patients with a low to intermediate likelihood of coronary artery disease. *J Nucl Cardiol* 2008;15:311–8.
- [17] Santana CA, Garcia EV, Faber TL, Sirineni GK, Esteves FP, Sanyal R, et al. Diagnostic performance of fusion of myocardial perfusion imaging (MPI) and computed tomography coronary angiography. *J Nucl Cardiol* 2009;16:201–11.
- [18] Shaw LJ, Berman DS, Hendel RC, Borges Neto S, Min JK, Callister TQ. Prognosis by coronary computed tomographic angiography: matched comparison with myocardial perfusion single-photon emission computed tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2008;2:93–101.
- [19] Slomka PJ, Cheng VY, Dey D, Woo J, Ramesh A, Van Kriekinge S, et al. Quantitative analysis of myocardial perfusion SPECT anatomically guided by coregistered 64-slice coronary CT angiography. *J Nucl Med* 2009;50:1621–30.
- [20] Mahmarian JJ. Combining myocardial perfusion imaging with computed tomography for diagnosis of coronary artery disease. *Curr Opin Cardiol* 2007;22:413–21.
- [21] Gaemperli O, Schepis T, Valenta I, Husmann L, Scheffel H, Duerst V, et al. Cardiac image fusion from stand-alone SPECT and CT: clinical experience. *J Nucl Med* 2007;48:696–703.

- [22] Gaemperli O, Schepis T, Kalff V, Namdar M, Valenta I, Stefani L, et al. Validation of a new cardiac image fusion software for three-dimensional integration of myocardial perfusion SPECT and stand-alone 64-slice CT angiography. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2007;34:1097–106.
- [23] Gaemperli O, Schepis T, Valenta I, Koepfli P, Husmann L, Scheffel H, et al. Functionally relevant coronary artery disease: comparison of 64-section CT angiography with myocardial perfusion SPECT. *Radiology* 2008;248:414–23.
- [24] Hesse B, Tagil K, Cuocolo A, Anagnostopoulos C, Bardies M, Bax J, et al. EANM/ESC procedural guidelines for myocardial perfusion imaging in nuclear cardiology. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2005;32:855–97.
- [25] David N, Marie PY, Angioi M, Rodriguez RM, Hassan N, Olivier P, et al. Dipyridamole and exercise SPET provide different estimates of myocardial ischaemic areas: role of the severity of coronary stenoses and of the increase in heart rate during exercise. *Eur J Nucl Med* 2000;27:788–99.
- [26] Djaballah W, Muller MA, Angioi M, Moulin F, Codreanu A, Mandry D, et al. Nitrate-enhanced gated SPECT in patients with primary angioplasty for acute myocardial infarction: evidence of a reversible and nitrate-sensitive impairment of myocardial perfusion. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2007;34:1981–90.
- [27] Marie PY, Djaballah W, Franken PR, Vanhove C, Muller MA, Boutley H, et al. OSEM reconstruction, associated with temporal fourier and depth-dependant resolution recovery filtering, enhances results from sestamibi and 201Tl 16-interval gated SPECT. *J Nucl Med* 2005;46:1789–95.
- [28] Dehaene JL, Rousseau H, Chabbert V. Cardiac CT: technical considerations. *J Radiol* 2009;90:1119–22.
- [29] Kerl JM, Hofmann LK, Thilo C, Vogl TJ, Costello P, Schoepf UJ. Coronary CTA: image acquisition and interpretation. *J Thorac Imaging* 2007;22:22–34.
- [30] Schoepf UJ, Zwerner PL, Savino G, Herzog C, Kerl JM, Costello P. Coronary CT angiography. *Radiology* 2007;244:48–63.
- [31] Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, Jacobs AK, Kaul S, Laskey WK, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart: a statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *Circulation* 2002;105:539–42.
- [32] Maeba H, Takehana K, Nakamura S, Yoshida S, Ueyama T, Hatada K, et al. Non-invasive detection of ischemic left ventricular dysfunction using rest gated SPECT: expectation of simultaneous evaluation of both myocardial perfusion and wall motion abnormality. *Ann Nucl Med* 2008;22:309–16.
- [33] Germano G, Kiat H, Kavanagh PB, Moriel M, Mazzanti M, Su HT, et al. Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med* 1995;36:2138–47.
- [34] Levine MG, McGill CC, Ahlberg AW, White MP, Giri S, Shareef B, et al. Functional assessment with electrocardiographic gated single-photon emission computed tomography improves the ability of technetium-99m sestamibi myocardial perfusion imaging to predict myocardial viability in patients undergoing revascularization. *Am J Cardiol* 1999;83:1–5.
- [35] Meine TJ, Hanson MW, Borges-Neto S. The additive value of combined assessment of myocardial perfusion and ventricular function studies. *J Nucl Med* 2004;45:1721–4.
- [36] Petretta M, Storto G, Acampa W, Sansone V, Evangelista L, Spinelli L, et al. Relation between wall thickening on gated perfusion SPECT and functional recovery after coronary revascularization in patients with previous myocardial infarction. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2004;31:1599–605.
- [37] Di Carli MF, Lipton MJ. *Cardiac PET and PET/CT Imaging*. Boston, MA: Springer Science ed; 2007.
- [38] Slart RH, Tio RA, Zijlstra F, Dierckx RA. Diagnostic pathway of integrated SPECT/CT for coronary artery disease. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2009;13:13.
- [39] Berman DS, Hachamovitch R, Shaw LJ, Friedman JD, Hayes SW, Thomson LE, et al. Roles of nuclear cardiology, cardiac computed tomography, and cardiac magnetic resonance: Noninvasive risk stratification and a conceptual framework for the selection of noninvasive imaging tests in patients with known or suspected coronary artery disease. *J Nucl Med* 2006;47:1107–18.
- [40] Hunt SA. ACC/AHA 2005 guideline update for the diagnosis and management of chronic heart failure in the adult: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Update the 2001 Guidelines for the Evaluation and Management of Heart Failure). *J Am Coll Cardiol*. 2005; 46:e1–82.