




ELSEVIER
MASSON

Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

www.em-consulte.com

Médecine Nucléaire 34 (2010) 485–489

**Médecine
Nucléaire**
Imagerie Fonctionnelle et Métabolique

Mise au point

L'apport de la fusion scintigraphie myocardique–scanner coronaire[☆]

Contribution of the fusion of myocardial perfusion SPECT and CT coronary angiography

W. Djaballah^{a,*}, N. Didot^a, N. Daragon^a, D. Mandry^b, N. Gillet^a, G. Koehl^a,
B. Menéroux^a, F. Netter^a, S. Paris-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 2 juin 2010 ; accepté le 4 juin 2010

Résumé

L'objectif est d'évaluer l'apport d'une méthode de fusion des images de tomoscintigraphie myocardique et de coroscanner pour optimiser l'identification de l'artère coronaire responsable de l'ischémie ou de l'infarctus. En effet, comparée à la tomoscintigraphie seule, la fusion tomoscintigraphie myocardique–coroscanner semble intéressante pour désigner les artères à l'origine de l'ischémie. Cela pourrait être intéressant pour guider les interventions de revascularisation, en particulier chez les patients multivessel.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Tomoscintigraphie myocardique ; Coroscanner

Abstract

The purpose is to assess the added information provided by the fusion from the SPECT and the CT coronary angiography, in the identification of the coronary artery – related ischemia (reversible defects) and the coronary artery-related infarction (fixed defects). Compared with the sole analyse of SPECT; addition of fused SPECT/CT images appears to enhance the ability to identify the ischemia – related artery. This might be particularly useful for determining the optimal revascularisation procedure in patients with multivessel disease.

© 2010 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Myocardial SPECT; CT coronary angiography

1. Stratégie actuelle de dépistage

Les intérêts et les limites des examens disponibles pour le dépistage d'une ischémie conduisent à proposer aux patients plus particulièrement exposés à une complication, tels que les diabétiques, une stratégie de dépistage qui repose sur l'épreuve d'effort et/ou la scintigraphie myocardique. En cas de positivité, la réalisation d'une coronarographie est alors impérative. Cet examen constitue en effet la référence en matière d'exploration coronarienne et permet d'orienter la

thérapeutique. Les lésions coronariennes ainsi visualisées expliquent la gravité ou non d'une coronaropathie. Les sténoses artérielles se caractérisent en effet par leur multiplicité, intéressant souvent plusieurs gros troncs, mais touchant également la distalité.

2. Introduction

2.1. La tomoscintigraphie myocardique

La tomoscintigraphie myocardique de stress est un examen de référence pour détecter une maladie coronarienne et apprécier le retentissement d'une sténose considérée comme hémodynamiquement significative. En effet, la sensibilité de

[☆] Présentée lors du 22^e séminaire d'hiver – 24 au 30 janvier 2010.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : w.djaballah@chu-nancy.fr (W. Djaballah).

cette technique est très élevée, de l'ordre de 91 %, avec une spécificité de 87 %, voire 90 % en rajoutant le *quantitative gated* SPECT (QGS).

Cette valeur diagnostique est cependant très variable en fonction du tronc artériel considéré, elle est par exemple, selon Maddahi et al. [1], plus élevée (94 %) pour l'interventriculaire antérieure (IVA) et moins importante pour la circonflexe (CX) (63 %).

Cette grande différence s'explique en grande partie par la grande variabilité anatomique et la dominance artérielle différente d'un patient à un autre, puisque seuls 50 à 60 % des patients ont un arbre coronaire conventionnel [2–5], où la paroi inférieure peut être attribuée à la coronaire droite (CD), la paroi latérale à la CX et les autres parois à l'IVA.

La précision est d'autant plus difficile quand le patient est multitronculaire.

2.2. Le coroscanner

L'avènement du coroscanner multicoupes a révolutionné l'imagerie cardiaque. C'est une technique en constante progression, qui permet une visualisation anatomique et de façon non invasive des artères coronaires. Son grand point fort reste sa valeur prédictive négative (94 %), lorsque l'examen montre l'absence de toute lésion coronaire [6]. Il a également une grande sensibilité pour la détection des sténoses significatives (96 %), mais une moins bonne spécificité de l'ordre de 74 % [3,4].

Selon l'étude de Raff et al. [7], les sensibilité, spécificité, valeur prédictive positive et valeur prédictive négative, réalisées sur un scanner 64 détecteurs, pour identifier des sténoses significatives, sont par patient de 95, 90, 93 et 93 %, par artère coronaire de 91, 92, 80 et 97 % et, enfin, par segment coronaire de 86, 95, 66, et 98 %. En revanche, l'exactitude du coroscanner chez les patients à haut risque chute, en particulier en raison de l'importance de plaques calcifiées dont l'interprétation reste difficile.

L'intérêt serait probablement de pouvoir combiner les deux techniques, en fusionnant les images de tomoscintigraphie à celles du coroscanner ; actuellement, des logiciels d'utilisation permettent l'analyse de fusion des images de tomoscintigraphie et de coroscanner acquises séparément.

3. Apport de la recherche de calcifications coronaires

L'autre intérêt du coroscanner est de pouvoir déterminer le score calcique.

Détecter et quantifier les dépôts de calcium dans les artères coronaires par de nouvelles techniques d'imagerie sont donc d'un grand intérêt chez les patients à haut risque, en particulier les diabétiques. La mesure du score calcique coronarien défini par Agatston et al. [8] est une méthode scannographique non invasive, développée à partir de 1988. Une conférence de consensus en 1999 a synthétisé les données de cette technique [9].

Le score calcique est déterminé par scanner hélicoïdal multicoupes, qui permet d'effectuer des coupes fines, jusqu'à

1 mm d'épaisseur, avec une durée d'acquisition des images particulièrement brève. La vitesse de rotation de l'ensemble du statif (tube et détecteur) atteint 0,5 seconde pour 360° et quatre coupes de 1 mm sont réalisées à chaque rotation avec un déplacement du lit de 2 mm par tour. Ainsi, la durée de l'examen est de deux minutes et celle de l'interprétation de huit minutes.

Une synchronisation cardiaque rétrospective permet la reconstruction des images en télédiastole. On obtient ainsi un excellent balayage du trajet des différentes coronaires, avec une très bonne résolution spatiale. Toute zone dont la densité est supérieure à 130 unités Hounsfield est de nature calcique. Le score d'Agatston et al. est établi pour chacune des coronaires : tronc commun, IVA, CX, CD [8].

Le score des artères diagonales s'ajoute à celui de l'IVA et celui des branches marginales à celui de la CX. L'addition de tous ces scores détermine le score total. Il permet de déterminer un niveau de risque avec une classification en quatre sous-groupes, selon la classification de Rumberger et al. [10]. Le premier sous-groupe correspond à un score calcique coronaire qui se situe au-dessous de 10, le deuxième à des valeurs comprises entre 10 à 100, le troisième entre 100 à 400. Et enfin le quatrième sous-groupe dont le score est supérieur à 400, définit les patients au risque coronarien le plus élevé.

Une liste de recommandations a été émise par l'American College of Cardiology et l'American Heart Association, qui ont analysé l'ensemble des publications et travaux réalisés de 1988 à 1999 [9]. Ils proposent une liste de principes qu'ils considèrent comme acquis :

- l'absence de calcification coronaire rend très improbable la présence de plaques d'athérosclérose, y compris de plaques instables. Les tests négatifs s'observent chez la majorité des patients qui présentent une coronarographie diagnostique négative [11] ;
- la constatation d'un score faible laisse présager de l'absence de survenue d'incident cardiovasculaire grave au cours des deux à cinq ans à venir ;
- plus le score calcique est élevé, plus la probabilité de coronaropathie est grande. Il n'existe cependant pas de relation linéaire entre ces deux données et il n'y a pas de corrélation entre le siège des calcifications et la localisation des sténoses coronaires. Un score calcique très élevé est associé à un risque d'événement cardiovasculaire modéré à élevé au cours des deux à cinq ans [11–13].

La valeur prédictive négative de plus de 95 % du score calcique pourrait aboutir à une réduction des explorations, surtout dans des groupes de patients dont la valeur diagnostique des épreuves non invasives de dépistage n'est pas très performante, comme c'est le cas dans la population féminine. Il apparaît ainsi que les explorations complémentaires classiques (épreuve d'effort, scintigraphie myocardique ou échographie de stress) pourraient être évitées en se fiant au seul résultat du score calcique [14,15]. Il semble exister également une corrélation entre l'importance de ce score et la présence de lésions d'athérosclérose. Cependant, les résultats obtenus dans

les sous-groupes 2, 3 et 4 ne permettent pas de tirer de conclusion et le recours aux examens complémentaires traditionnels reste légitime.

4. Études ayant comparé le coroscaner à la tomoscintigraphie

De nombreuses études ont traité l'intérêt synergique des deux techniques, elles ont d'abord essayé de les confronter séparément sans les fusionner, puis se sont intéressées à la fusion des deux examens, visant à faire correspondre les données anatomiques du coroscaner à celles fonctionnelles de

la tomoscintigraphie, parmi ces études certaines ont obtenu ces fusions par la technique d'imagerie hybride (SPECT-CT) et d'autres ont utilisé les logiciels de fusion d'images, à partir d'examens réalisés séparément.

Des études pilotes ont montré que cette fusion permettait d'apporter des renseignements utiles, en particulier sur la significativité fonctionnelle des sténoses observées en coroscaner, mais aussi de localiser de façon plus précise les territoires artériels correspondant aux ischémies observées en tomoscintigraphie [16,17].

Ces logiciels permettent un recalage manuel précis des images des deux examens, une réorientation dans tous les plans

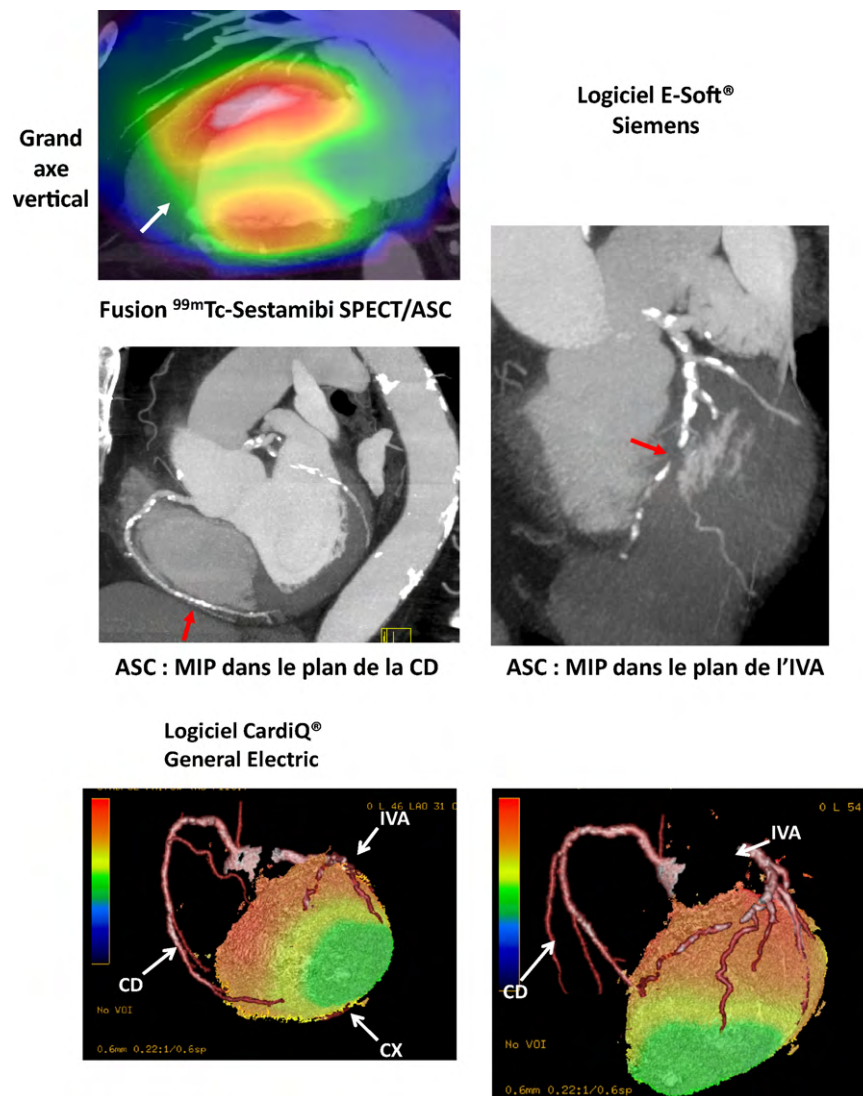


Fig. 1. Exemple chez un patient pour lequel la tomoscintigraphie myocardique décrivait une ischémie dans le territoire de l'interventriculaire antérieure (IVA). L'analyse en fusion utilisant le logiciel E-Soft® (grand axe vertical représenté sur les images de la première ligne) met en évidence une lacune de perfusion inféro-apicale (flèche blanche) et l'analyse simultanée du coroscaner (représentation en MIP sur les images de la deuxième ligne) objective une IVA très calcifiée mais présentant une sténose serrée dans sa portion distale (flèche rouge), ainsi qu'une sténose serrée calcifiée de la portion distale de la coronaire droite (CD) (flèche rouge). L'analyse de ces images avec le logiciel CardiQ® (images en troisième 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 territory of the LAD. The analysis of fusion images using the software E-Soft® (vertical long axis represented the images of the first line) highlights a defect of infero-apical perfusion (white arrow) and the simultaneous analysis of the multidetector computer tomography (MIP representation images of the second line) evidences a very calcified LAD but presenting a tight stenosis in its distal portion (red arrow), and the calcified stenosis of the distal portion of right coronary (red arrow). The analysis of these images with the software CardiQ® (image third line) confirms the localization of ischemia in the territories of LAD and right coronary.

grâce une reconstruction multiplanaire (*multiplanar reformatted* [MPR]) des images fusionnées à l'effort. Ils permettent d'identifier les artères en amont de cette zone et de rechercher une sténose sur cette artère. La visualisation est réalisée en mode *side by side*, méthode qui permet d'afficher côte à côte les images scannographiques et les images de fusion provenant d'un même plan de coupe. La procédure d'analyse consiste à identifier précisément la zone mal vascularisée et à la localiser par rapport à l'artère coronaire incriminée.

5. Discussion

L'imagerie non invasive pour la détection et le suivi de la maladie coronaire est un domaine en constante évolution. La tomoscintigraphie de stress est validée par de nombreuses études cliniques et est utilisée en routine pour le diagnostic de sténoses coronaires hémodynamiquement significatives [18–20].

Au cours de ces dernières années, le coroscaner est apparu comme une technique prometteuse pour détecter les sténoses coronaires serrées dont on peut supposer qu'elles sont responsables d'une ischémie [4].

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 tomoscintigraphie et d'une visualisation

précise des troncs artériels coronaires, voire de leurs branches avec le coroscaner [21,22]. Les segments artériels sont 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 tomoscintigraphie 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) [23] 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 [24,25].

Des discordances ont cependant été observées dans plusieurs études ayant comparé les deux techniques en fusionnant les images, retrouvant des ischémies sur les tomoscintigraphies qui soit ne correspondaient à aucune lésion serrée sur les critères morphologiques du coroscaner, soit étaient mal localisées en terme de tronc artériel incriminé [16,26] ; selon différents auteurs, cette discordance est expliquée par la variabilité interindividuelle des territoires coronaires [27].

6. Exemples

Les exemples sont présentés sur les Fig. 1 et 2.

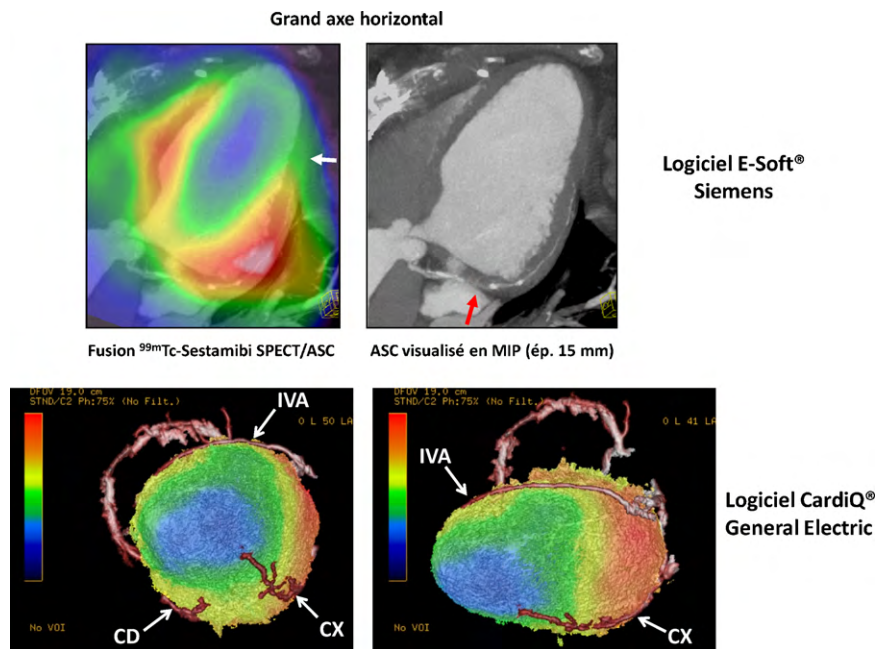


Fig. 2. Exemple, chez une patiente pour laquelle l'analyse initiale en tomoscintigraphie décrivait un infarctus dans le territoire de l'interventriculaire antérieure et une ischémie inféro-latérale imputée à la coronaire droite (CD) et/ou la circonflexe (CX). L'analyse en fusion utilisant le logiciel 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 du coroscaner (représentation en MIP sur l'image de gauche) objective une sténose serrée d'une collatérale de la CX (flèche rouge) expliquant probablement l'ischémie. D'ailleurs, l'analyse de cette patiente avec le logiciel CardiQ® (images en seconde ligne) confirme la localisation de l'ischémie dans le territoire de l'artère circonflexe.

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

7. Conclusion

La tomoscintigraphie myocardique seule reste performante pour désigner l'artère responsable de l'infarctus. Ses performances semblent par ailleurs limitées pour identifier précisément les territoires artériels ischémiés, avec un apport du scanner cardiaque via la fusion d'images qui permet dans ces situations d'augmenter sensiblement la concordance avec les données angiographiques [28].

L'intérêt de cette méthode pourrait être évalué dans les études futures chez les patients adressés pour bilan de viabilité avant revascularisation, afin de mieux guider le geste opératoire en désignant précisément le ou les territoires viables et ischémiés qui restent la cible privilégiée de l'intervention de revascularisation, en particulier chez les patient pluritonculaires.

Ce qu'il faut savoir également, est que :

- l'association scanner-scintigraphie en diagnostic pourrait être très utile chez les patients dont le test d'ischémie est douteux ;
- la détection de la plaque est le grand challenge de demain pour la scintigraphie et pour le scanner.

Conflit d'intérêt

Les auteurs n'ont pas transmis de 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] 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.
- [3] Laissy JP, Sebban V, Deux JF, Huart V, Mousseaux E. Noninvasive coronary artery imaging: CT and MR. *J Radiol* 2004;85:1798–808.
- [4] 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.
- [5] 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].
- [6] 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.
- [7] Raff GL, Gallagher MJ, O'neil WW, Goldstein JA. Diagnostic accuracy of non invasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2005;46:552–7.
- [8] Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, Zusmer NR, Viamonte Jr M, Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultra fast computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1990;15:827–32.
- [9] O'rouke RA, Brundage BH, Frolicher VF, Greenland P, Grundy SM, Hachamovitch R, et al. American College of Cardiology/American Heart Association expert consensus document on electron-beam computed tomography for the diagnosis and prognosis of coronary artery disease. *Circulation* 2000;102:326–40.
- [10] Rumberger JA, Brundage BH, Rader DJ, Kondos G. Electron beam computed tomography coronary calcium scanning: a review and guidelines for use in asymptomatic persons. *Mayo Clin Proc* 1999;74:243–52.
- [11] He ZX, Hedrick TD, Pratt CM, Verani MS, Aquino V, Roberts R, et al. Severity of coronary artery calcification by electron beam computed tomography predicts silent myocardial ischemia. *Circulation* 2000;101:244–51.
- [12] Kopp AF, Ohnesorge B, Becker C, Schröder S, Heuschmid M, Küttner A, et al. Reproducibility and accuracy of coronary calcium measurements with multi-detector row versus electron-beam CT. *Radiology* 2002;225:113–9.
- [13] Callister TQ, Cooil B, Raya SP, Lippolis NJ, Russo DJ, Raggi P. Coronary artery disease: improved reproducibility of calcium scoring with an electron-beam CT volumetric method. *Radiology* 1998;208:807–14.
- [14] Raggi P, Callister TQ, Cooil B, Russo DJ, Lippolis NJ, Patterson RE. Evaluation of chest pain in patients with low to intermediate pretest probability of coronary artery disease by electron beam computed tomography. *Am J Cardiol* 2000;85:283–8.
- [15] He ZX, Hedrick TD, Pratt CM, et al. Severity of coronary artery calcification by electron beam computed tomography predicts silent myocardial ischemia. *Circulation* 2000;101:244–51.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Mahmarian JJ. Combining myocardial perfusion imaging with computed tomography for diagnosis of coronary artery disease. *Curr Opin Cardiol* 2007;22:413–21.
- [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] 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.
- [24] 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.
- [25] Petretta M, Storto G, Acampa V, 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.
- [26] 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.
- [27] Dehaene JL, Rousseau H, Chabbert V. Cardiac CT: technical considerations. *J Radiol* 2009;90:1119–22.
- [28] Stanford W. Why not optimism? *Radiology* 1999;211:287–8.