



Lignes directrices et normes de pratique en matière de tomодensitométrie cardiaque

Les normes de l'Association canadienne des radiologistes (CAR) ne constituent pas des règles, mais des lignes de conduite visant à définir les principes d'exercice qui devraient généralement s'appliquer aux actes radiologiques. Les médecins et les physiciens médicaux peuvent modifier une norme existante, selon le patient et les ressources disponibles. Le respect des normes de la CAR ne garantit pas un résultat positif en toutes circonstances. Les normes ne doivent pas être considérées comme exhaustives ou comme excluant tout autre acte qui vise raisonnablement à obtenir les mêmes résultats. Elles n'ont pas pour but d'établir une norme juridique s'appliquant aux actes ou à la conduite; un écart par rapport à ces normes ne signifie pas en soi qu'un tel acte médical ne correspond pas à un niveau de soin acceptable. La décision définitive concernant l'opportunité de toute procédure ou conduite précise doit être prise par le médecin et le physicien médical en fonction de toutes les circonstances entourant le cas particulier.

Approuvé: janvier 2009

**Les présentes normes ont été élaborées par les membres
du groupe de travail sur les normes de pratique de la CAR :
Carole J. Dennie, MD, Jonathon A. Leipsic, MD, Alan Brydie, MD.**

Introduction

L'angiographie coronarienne demeure la méthode idéale d'imagerie des artères coronaires. Comme les technologies non invasives offrent une faible résolution temporelle et spatiale, l'imagerie du cœur à l'aide de la tomodensitométrie représentait encore un défi jusqu'à tout récemment. Depuis 1999 et la mise en marché du tomodensitomètre à quatre barettes synchronisé à un électrocardiogramme (ECG), de nombreuses avancées ont été réalisées en tomodensitométrie et au chapitre des outils de post-traitement. Elles ont permis des représentations exactes de l'anatomie, y compris des artères coronaires, et de la fonction cardiaque sans avoir recours à des méthodes invasives. Aujourd'hui, cette technique relativement nouvelle est en forte demande et compte de plus en plus parmi les examens de routine.

Bien que des lignes directrices et des normes sur l'utilisation de la tomodensitométrie cardiaque aient été publiées par d'autres sociétés à l'extérieur du pays [1-5], l'Association canadienne des radiologistes (CAR) reconnaît que ses membres jouent un rôle de premier plan dans l'instauration appropriée et sécuritaire de la tomodensitométrie cardiaque à l'échelle nationale. Ils participent de façon également importante à l'enseignement et à la formation médicale continue des médecins qui réalisent ces examens et en interprètent les résultats. Le présent document d'une grande portée brosse le tableau actuel des données dans le domaine et présente les normes à respecter lors de la mise en œuvre d'un programme de tomodensitométrie cardiaque. Il formule également des recommandations en présentant les indications et contre-indications de cette méthode d'analyse selon les avis d'experts et les renseignements obtenus lors de l'analyse de la documentation scientifique.

Méthodes

Le comité d'experts ayant évalué la tomodensitométrie cardiaque est formé de radiologistes possédant de l'expertise dans chacune des sphères étudiées. Avant leur publication, les normes et les lignes directrices ont été soumises aux membres de la direction de la CAR afin d'obtenir leurs commentaires et leurs recommandations. Le document sera examiné régulièrement, et les normes et les lignes directrices seront mises à jour dès la présentation de nouvelles données.

Stratégie de recherche documentaire

La recherche documentaire a été effectuée à l'aide de MEDLINE (OVID : 1966 à octobre 2008), d'EMBASE (OVID : 1988 à octobre 2008) et de la Cochrane Library (OVID : numéro 3, 2008). Les listes d'articles pertinents et d'articles de synthèse récents cités en référence ont également été épluchés afin d'y trouver d'autres documents appropriés.

Critères de sélection des études

Compte tenu de la nature du sujet, la majorité des membres du groupe de travail sur la tomodensitométrie cardiaque ont convenu que le poids des différentes données issues des publications pouvait varier considérablement et, dans bien des situations, qu'il ne suffirait pas pour éclairer l'élaboration des recommandations. Dans les cas où un nombre limité de données a été trouvé, il a été convenu que les recommandations reposeraient sur le consensus d'experts. À ce titre, seules les données les plus importantes ont été prises en considération, c'est-à-dire les résultats des examens systématiques, des essais cliniques avec répartition aléatoire, des méta-analyses, des essais comparatifs sans répartition aléatoire de même que des études prospectives et rétrospectives à simple cohorte. Lors de l'examen systématique des données, les articles ont été exclus s'ils étaient rédigés dans une autre langue que l'anglais ou s'ils présentaient les résultats d'études menées chez les enfants.

Résultats

Examen des données sur la tomодensitométrie cardiaque

Score calcique

Le calcium coronarien est un marqueur de l'atteinte athéromateuse globale [6]. La plupart des études qui traitent du calcium coronarien ont fondé leurs résultats sur des examens par tomодensitométrie à faisceau d'électrons, technologie essentiellement désuète. La tomодensitométrie à multibarettes joue à présent ce rôle. Des études réalisées peu de temps après l'apparition des nouveaux systèmes ont révélé que des scores calciques coronariens comparables peuvent être obtenus avec les deux technologies [7-9].

Des études cliniques ont démontré que les scores calciques coronariens ajoutent une valeur pronostique supplémentaire à l'évaluation des patients blancs asymptomatiques présentant un risque intermédiaire d'événement coronarien (risque de 10 à 20 % sur 10 ans) [10-15] réalisée à l'aide de l'échelle des risques de Framingham [16], de l'échelle PROCAM [17] ou du système EuroSCORE [18]. Cependant, la valeur du score calcique coronarien chez les patients asymptomatiques présentant un risque faible ou élevé d'événement coronarien est controversée [5, 19]. Très peu de données ont été publiées sur la valeur prédictive du calcium coronarien chez les autres ethnies.

Le calcium coronarien n'est pas un indicateur important de sténose. Des investigateurs sont arrivés à la conclusion que, bien que les scores calciques coronariens soient très révélateurs, ils ne sont que modérément utiles pour la détection d'une sténose coronarienne touchant plus de 50 % du diamètre de l'artère [20].

Un score calcique de zéro est associé à un très faible taux d'événement dans la plupart des catégories de patients présentant un risque ainsi qu'à une très faible prévalence d'ischémie aux tests fonctionnels, mais à une sténose importante à l'angiographie coronarienne [5, 21].

À la tomодensitométrie à multibarettes, les scores calciques des coronaires varient de façon importante lors d'examens successifs [22, 23].

Coronarographie

Détection de la sténose coronarienne

Tomодensitomètres à 4 et à 16 multidétecteurs

L'angiographie coronarienne par tomодensitométrie avec synchronisation ECG requiert une haute résolution temporelle et spatiale. Elle a été rendue possible grâce à l'utilisation de multidétecteurs.

La première génération d'appareils était munie de quatre détecteurs. Leur utilisation était limitée par de longs temps de balayage, et ils ne possédaient pas encore la résolution des générations subséquentes. Ils permettaient de voir les artères coronaires, mais les examens devaient se limiter aux vaisseaux proximaux. De plus, il était impossible d'évaluer près de 25 % des segments coronariens en raison de la mauvaise qualité d'image [24, 25].

Les tomодensitomètres à 16-détecteurs mis sur le marché par la suite offraient une meilleure résolution temporelle et spatiale et permettaient d'obtenir les données en moins de temps, ce qui avait pour effet de mieux visualiser les artères. Une méta-analyse récente des résultats d'études comparant la coronarographie par tomодensitométrie à l'angiographie conventionnelle aux fins de détection des sténoses coronariennes de plus de 50 % du diamètre de l'artère a obtenu les résultats suivants pour les tomодensitomètres à 16-détecteurs [26] : par segment coronarien : sensibilité : 77 %, spécificité : 91 %, valeur prédictive positive : 60 % et valeur prédictive négative : 96 %; par patient : sensibilité : 95 %, spécificité : 69 %, valeur prédictive positive : 79 % et valeur prédictive négative : 92 %.

Malgré les améliorations techniques apportées aux appareils à 16-détecteurs, des images non évaluables sont obtenus chez 4,4 % des patients et jusqu'à 29 % (moyenne de 10 %) des segments coronariens demeurent impossibles à examiner [26]. L'exclusion de ces cas et segments non évaluables lors de nombreuses études donne une fausse impression du rendement diagnostique de la tomodensitométrie à multidétecteurs; les chiffres donnés ci-dessus doivent d'ailleurs être interprétés en tenant compte de ce facteur.

Tomodensitomètres à 64 détecteurs

Au moment de la rédaction du présent document, les tomodensitomètres utilisés comportent 64 détecteurs. Offrant une résolution temporelle et spatiale accrue ainsi qu'un temps de balayage encore plus court, ils possèdent un rendement diagnostique bien supérieur aux appareils à 16-détecteurs [26-28]. Depuis le lancement Coronarographie par tomodensitométrie

à multibarrettes en avril 2005 [28], une myriade d'études les ont comparés aux angiographies conventionnelles [29-41]. Au cours des deux dernières années, cinq méta-analyses utilisant des critères d'inclusion et d'exclusion différents ont affiché des résultats comparables. Ces derniers sont résumés dans les tableaux 1 et 2 [26, 27, 42-44]. Par segment coronarien, leur sensibilité est de l'ordre de 88 à 93 %, leur spécificité de 96 ou 97 %, leur valeur prédictive positive de 73 à 79 % et leur valeur prédictive négative de 96 à 99 %. Par patient, leur sensibilité est de 97 à 99 %, leur spécificité de 88 à 93 %, leur valeur prédictive positive de 93 ou 94 % et leur valeur prédictive négative de 95 à 100 %. Ils ont produit des images non évaluables chez 1,9 % des patients, et la proportion moyenne de segments coronariens impossibles à évaluer est de 4 % [26].

Les plus grands progrès offerts par ces appareils sont la réduction du temps d'acquisition des images et de la proportion de segments coronariens non évaluables ainsi que l'amélioration considérable de la spécificité et de la valeur prédictive positive par patient. La valeur prédictive négative des tomodensitométrie à 16 et à 64 multidétecteurs est élevée tant par patient que par segment coronarien.

Tomodensitomètres à plus de 64-détecteurs

Au moment de la rédaction du présent document, une nouvelle génération de tomodensitomètres est sur le point d'être mise sur le marché. Les fabricants ont pris diverses mesures pour perfectionner la technologie. Il est donc fort probable que le rendement des nouveaux systèmes sera meilleur que celui des appareils à 64-détecteurs. Trop peu d'articles ont toutefois été publiés pour pouvoir être pris en compte dans le présent document.

Prévalence de la maladie coronarienne et du risque cardiovasculaire pré-test

La grande majorité des études prises en compte dans les méta-analyses publiées ont été menées auprès de groupes de patients présentant une forte prévalence de maladie coronarienne (prévalences moyennes : 59 % [26], 53 % [42] et 61 % [44]). La prévalence de la maladie influence les valeurs prédictives négative et positive d'un examen. Une forte prévalence donne lieu à une plus grande valeur positive et à une valeur négative plus faible, alors que, au contraire, une faible prévalence entraîne une valeur prédictive positive plus basse et une valeur prédictive négative plus élevée [45, 46]. De plus, bien que la théorie de Bayes stipule que la sensibilité ou la spécificité d'une évaluation ne sera pas ébranlée par la prévalence des maladies, la composition de la population auprès de laquelle l'étude est menée influencera sur ces paramètres [47, 48]. Dans le contexte de la coronarographie par tomodensitométrie, la prévalence de la maladie coronarienne dans un groupe présentant un risque faible ou modéré de cette maladie sera non seulement faible, mais on peut également s'attendre à ce que la gravité de l'atteinte soit moins importante que chez les patients à risque élevé, que les lésions aient une composition différente et qu'elles soient réparties autrement dans les artères. La sensibilité et la spécificité de cette technologie chez les patients à risque faible ou modéré peuvent donc différer de celles présentées dans les méta-analyses publiées.

Deux études ont examiné le rendement de la coronarographie par tomodensitométrie dans divers groupes de patients. Hussman et coll. [48] ont classé 88 patients en trois groupes (risque élevé, modéré et faible) selon l'échelle de risques sur 10 ans de Framingham. Meijboom et coll. [49] ont quant à eux réparti 254 patients en trois groupes (risque élevé, modéré et faible) selon l'échelle Duke Clinical Score. Les deux études ont produit des résultats

comparables. La spécificité a été plus basse chez les patients à risque élevé. La valeur prédictive positive était toutefois moindre dans le groupe à faible risque. Enfin, la valeur prédictive négative par patient et par segment coronarien était élevée dans tous les groupes. Ces résultats signifient que la coronarographie par tomodensitométrie s'avère fiable pour exclure la possibilité de maladie coronarienne chez les patients à risque faible ou modéré, mais plus le risque évalué avant le test diminue, plus le nombre de faux cas positifs sera élevé.

Tableau 1 : Méta-analyse des coro-scan à 64 détecteurs, par segment coronarien

| | Sensibilité (%) | Spécificité (%) | VPP (%) | VPN (%) |
|----------------------------|-----------------|-----------------|---------|---------|
| Vanhoenacker et coll. [27] | 93 | 96 | N/A | N/A |
| Hamon et coll. [26] | 88 | 96 | 79 | 98 |
| Sun et coll. [42] | 90 | 96 | 75 | 98 |
| Mowatt et coll. [43] | 90 | 97 | 76 | 99 |
| Stein et coll. [44] | 90 | 96 | 73 | 96 |

Tableau 2 : Méta-analyse des coro-scan à 64 détecteurs, par patient

| | Sensibilité (%) | Spécificité (%) | VPP (%) | VPN (%) |
|----------------------------|-----------------|-----------------|---------|---------|
| Vanhoenacker et coll. [27] | 99 | 93 | s.o. | s.o. |
| Hamon et coll. [26] | 97 | 90 | 93 | 96 |
| Sun et coll. [42] | 97 | 88 | 94 | 95 |
| Mowatt et coll. [43] | 99 | 89 | 93 | 100 |
| Stein et coll. [44] | 98 | 88 | 93 | 96 |

Caractéristiques des patients influençant sur le rendement diagnostique des tomodensitomètres pour coronarographie

Il a été démontré que certaines caractéristiques des patients ont des répercussions négatives sur le rendement diagnostique des coro-scan à 64 détecteurs; calcification coronarienne, fréquence cardiaque élevée, variabilité de la fréquence cardiaque, indice de masse corporelle.

Une calcification élevée des coronaires est associée à une diminution du rendement diagnostique de ces appareils. En effet, en leur présence, divers auteurs ont obtenu un nombre croissant d'images de segments coronariens non évaluables, une spécificité moindre, une valeur prédictive positive inférieure et une qualité d'image plus faible [32, 33, 50-52]. Il est communément accepté que ces diminutions sont causées par des artéfacts de blooming et d'atténuation, qui sont provoqués par les calcifications et qui mènent à une surestimation de l'importance de la sténose. Plus les calcifications sont denses, plus cet effet est prononcé. Toutefois, la définition des catégories de calcifications (faibles ou importantes) varie considérablement d'une étude à l'autre, et aucun consensus n'a été établi quant au degré de calcification incompatible avec la coronarographie par tomodensitométrie.

Une fréquence cardiaque élevée affecte également le rendement diagnostique des coro-scan à 64 détecteurs [33] [51-55] en créant des artéfacts de mouvement. Dans la majorité des études relevées lors de la recherche documentaire, un beta-bloqueur a été administré au patient pour ralentir sa fréquence cardiaque. Il est bon de

noter que différents seuils de fréquence cardiaque ont été visés dans les diverses études (moins de 65 b/min le plus souvent). En général, la qualité diagnostique des examens s'améliore avec une diminution de la fréquence cardiaque.

La variabilité de la fréquence cardiaque nuit également au rendement diagnostique des appareils [55, 56], causant des problèmes d'enregistrement des données entre les battements. Ici aussi, les beta-bloqueurs sont utiles [55].

Enfin, l'obésité augmente le bruit et diminue la résolution de contraste [51]. Raff et coll. [33] ont déclaré une perte de sensibilité, de spécificité et de valeurs prédictives positive et négative des tomodensitomètres à 64-détecteurs chez les patients dont l'indice de masse corporelle est supérieur à 30 kg/m².

Données multicentriques

L'ensemble des données sur le rendement des appareils à 64-détecteurs est tiré d'articles énonçant les résultats d'études monocentriques. Ong et coll. [41] ont rapporté les résultats d'un centre n'ayant jamais réalisé d'examen de coro-CT. Ces résultats présentent des valeurs prédictives négatives très élevées, mais une sensibilité et des valeurs prédictives positives par patient plus faibles et un pourcentage de segments non évaluables plus important que celles obtenues par d'autres centres plus expérimentés. Les auteurs ont conclu que les centres novices pourraient ne pas être en mesure de répliquer les résultats produits par des centres chevronnés.

Au moment de la rédaction du présent document, l'étude ACCURACY (30) est le seul essai multicentrique ayant évalué le rendement des tomodensitomètres à 64-détecteurs pour coronarographie et dont les résultats ont été publiés. Deux cent quarante (240) patients à risque faible ou modéré ont participé à cette étude et ont subi un examen à l'aide d'un tomodensitomètre à 64-détecteurs et une angiographie conventionnelle dans 16 centres différents. Quatre-vingt-trois pour cent (83 %) d'entre eux ont été recrutés et examinés par des centres non universitaires. Les résultats des examens n'ont pas été interprétés par les centres qui les ont réalisés, mais bien par deux des trois investigateurs, dont l'un travaille dans un centre non universitaire. Les analyses par patient des sténoses coronariennes occupant de 50 % ou plus du diamètre de l'artère ont démontré une sensibilité de 95 %, une spécificité de 83 %, une valeur prédictive positive de 64 % et une valeur prédictive négative de 99 %. Comme dans l'ensemble des essais monocentriques, la valeur prédictive négative était élevée, mais la sensibilité s'est avérée légèrement plus basse et la valeur prédictive positive était considérablement plus faible. Il n'est pas clair si ces résultats sont dus à la nature multicentrique de l'étude ou à la prévalence relativement faible de la maladie parmi les sujets (25 %). Cependant, la valeur prédictive positive obtenue est comparable à celle déclarée dans les rapports d'études comparant le rendement des tomodensitomètres à 64-détecteurs pour coronarographie chez des patients à risque élevé à celui de ces appareils chez les sujets à faible risque [48, 49].

Résumé

1. Le rendement des appareils à 64-détecteurs est meilleur que celui des tomodensitomètres à 16-détecteurs, qui, eux, déclassent les systèmes à 4-détecteurs. La principale différence se situe dans le nombre de cas et de segments vasculaires non évaluables.
2. Les tomodensitomètres à 64-détecteurs détectent les sténoses coronariennes touchant au moins de plus de 50 % du diamètre de l'artère avec une forte sensibilité et une valeur prédictive négative élevée.
3. La valeur prédictive positive est plus basse chez les groupes de patients présentant une faible prévalence de la maladie coronarienne.
4. La calcification coronarienne, la fréquence cardiaque élevée, la variabilité de la fréquence cardiaque et l'obésité ont des répercussions négatives sur le rendement diagnostique des tomodensitomètres à 64-détecteurs pour coronarographie.
5. Il est possible que les résultats obtenus par les centres inexpérimentés dans l'utilisation de ces appareils ne correspondent pas à ceux des centres universitaires chevronnés.

Importance fonctionnelle, quantification des lésions et caractérisation

Il est important de comprendre que la coronarographie par tomодensitométrie sert à évaluer l'état des artères coronaires et qu'elle ne fournit pas d'information sur l'importance fonctionnelle des sténoses. Une étude comparant des examens d'angiographie coronarienne à des études de perfusion par la tomographie par émission de positons (TEP) à l'effort a démontré que la réserve coronarienne (la capacité de l'organisme à augmenter le débit sanguin noté au repos) diminue de façon progressive avec l'importance de la sténose (de 40 % à 80 %) [57]. Dans presque toutes les études ayant employé un tomодensitomètre à 64-détecteurs, les sténoses « importantes » ont été définies comme touchant au moins 50 % du diamètre des artères. Lors de l'évaluation de l'importance fonctionnelle de ces sténoses, il a été noté qu'une grande proportion d'entre elles n'est pas associée à une ischémie d'effort. Meijboom et coll. [58] ont décelé que seulement 18 % des artères dont la sténose atteint 50 % ou plus ont une réserve coronarienne inférieure à 0,75, le taux indicateur d'une ischémie causée par l'effort. En comparant les examens menés à l'aide de la coronarographie par tomодensitométrie à 64-détecteurs aux études de perfusion myocardique par tomographie à émission monophotonique, Gaemperli et coll. [59] ont déterminé qu'une évaluation tomодensitométrique d'une sténose d'au moins 50 % n'a qu'une valeur prédictive positive de 58 % de la perfusion myocardique et Schuijff et coll. [60] ont obtenu une imagerie de la perfusion myocardique anormale chez seulement 39 % des patients présentant une sténose d'au moins 50 %. Cette proportion s'élevait à 67 % dans l'étude de Scholte et coll. [61].

Peu d'études ont été menées dans le but de comparer la coronarographie par tomодensitométrie à 64-détecteurs à l'angiographie conventionnelle pour la détection des sténoses touchant de plus de 50 % du diamètre de l'artère. Herzog et coll. [62] ont obtenu une sensibilité, une spécificité et des valeurs prédictives positive et négative comparables pour les lésions de 50 % et de 70 % ainsi qu'une valeur prédictive négative de 100 % Budoff et coll. [30] ont également rapporté une sensibilité, une spécificité et une valeur prédictive négative très proches (99 %) pour les lésions de 50 % et de 70 %, mais la valeur prédictive positive notée pour les sténoses de 70 % était plus faible. Muhlenbruch et coll. [39] n'ont étudié que les sténoses atteignant 70 %, et leurs résultats ont démontré une sensibilité de 98 %, une spécificité de 50 %, une valeur prédictive positive de 94 % et une valeur prédictive négative de 75 %. Au cours de cet essai, la prévalence de la maladie s'élevait à 90 %, ce qui pourrait expliquer les faibles pourcentages de valeur prédictive négative et de spécificité. Les études qui ont comparé la coronarographie par tomодensitométrie à 64-détecteurs à l'angiographie conventionnelle et qui ont subdivisé les lésions en quartiles ou en plus petits pourcentages d'atteinte ont montré que la tomодensitométrie avait tendance à surestimer le degré de sténose [63-65]. Par exemple, Raff et coll. [33] ont déterminé que, malgré la faible différence en moyenne dans la quantification du degré de sténose entre la tomодensitométrie et l'angiographie conventionnelle (1,3 %), l'écart type des différences était tel que l'évaluation par les appareils de tomодensitométrie se situait plus ou moins à un quartile près de celle fourni par les angiographies conventionnelles des coronaires dans seulement environ 90 % des cas.

De plus, l'échographie endocoronarienne est fréquemment utilisée dans les laboratoires d'angiographie afin d'obtenir davantage de données anatomiques et une quantification plus précise des sténoses coronariennes [66]. À l'instar de l'échographie endocoronarienne, la coronarographie par tomодensitométrie montre non seulement la lumière des vaisseaux, mais également la plaque et les parois vasculaires. Plusieurs auteurs ont comparé l'efficacité des tomодensitomètres à 64-détecteurs pour coronarographie à celle de l'échographie endocoronarienne dans la détection et la quantification des sténoses. Sun et coll. [67] ont rapporté d'excellents résultats pour la détection des plaques chez un groupe de patients chez lesquels une coronarographie était suspectée (sensibilité : 97 %; spécificité : 90 %; valeur prédictive positive : 90 %; valeur prédictive négative : 97 %). Ayant mené leur étude chez un groupe présentant une atteinte moins marquée, Gregory et coll. [68] ont obtenu des résultats inférieurs (sensibilité : 70 %, spécificité : 92 %, valeur prédictive positive : 89 %, valeur prédictive négative : 77 %). Plusieurs auteurs ont montré une corrélation appréciable entre la coronarographie par tomодensitométrie et l'échographie endocoronarienne pour la quantification des lésions. Pour l'évaluation du pourcentage de sténoses dans une région, Sato et coll. [69] ont calculé un coefficient de corrélation de 0,87, alors que celui obtenu par Leber et coll. [30] est de 0,61. Les deux groupes de chercheurs ont déclaré que la tomодensitométrie a tendance à sous-estimer ce

pourcentage en raison d'une surestimation du diamètre de la lumière coronarienne. Caussin et coll. [70], quant à eux, ont obtenu un coefficient de corrélation de 0,88 pour l'évaluation de la taille moyenne de la lumière. En ce qui a trait à l'évaluation du volume de la plaque, Leber et coll. [71] ont indiqué un coefficient de corrélation de 0,69 et Otsuka et coll. [72] de 0,98. Dans le cadre de toutes ces études, les artères ou les segments sélectionnés ont été examinés par échographie endocoronarienne et, étant donné la nature de cette technologie, les examens ont généralement porté sur des vaisseaux proximaux de plus gros calibre.

La caractérisation de la plaque représente un domaine d'une grande importance. Plusieurs études ont rapporté que les tomodensitomètres à 64-détecteurs pour coronarographie ont permis de décrire certaines caractéristiques qui sont généralement plus courantes chez les lésions à l'origine d'un syndrome coronarien aigu, telles que le remodelage positif, les faibles atténuations de la plaque, les calcifications éparses et les taches en forme d'anneau [73-77]. Les résultats concernant la composition des plaques sont toutefois décevants, car, bien que la coronarographie par tomodensitométrie constitue un excellent outil pour différencier les plaques calcifiées des non calcifiées, la caractérisation des plaques non calcifiées (fibreuses, fibrolipidiques, nécrosées) est limitée [67, 78].

Résumé

1. Un pourcentage élevé des sténoses coronariennes de plus de 50 % du diamètre des artères n'est pas associé à une ischémie.
2. En dehors de la quantification binaire des sténoses d'environ 50 %, il existe peu de données comparant la quantification des lésions au moyen de la coronarographie par tomodensitométrie à celle effectuée au moyen de l'angiographie conventionnelle. Les données disponibles indiquent que la quantification varie considérablement, mais ce phénomène pourrait être causé par la coronarographie par tomodensitométrie qui a tendance à surestimer la taille des plaques. Une surestimation systématique du degré de la sténose maintiendrait une sensibilité et une valeur prédictive négative élevées au détriment de la spécificité et de la valeur prédictive positive.
3. Basé sur un nombre limité de données, la coronarographie par tomodensitométrie soutient la comparaison avec l'échographie endocoronarienne pour la détection des plaques dans les groupes présentant une forte prévalence de la maladie, mais donne de moins bons résultats lorsque la maladie est moins prévalente.
4. La coronarographie par tomodensitométrie soutient également la comparaison avec l'échographie endocoronarienne au chapitre de la quantification des sténoses, mais elle tend à sous-estimer le degré d'atteinte.
5. La coronarographie par tomodensitométrie est utile pour différencier les plaques calcifiées des non calcifiées, mais s'avère inefficace pour faire la distinction entre les divers types de plaques non calcifiées.

Évaluation des endoprothèses coronariennes

Les premières données publiées sur l'imagerie des endoprothèses coronariennes au moyen des tomodensitomètres à 64-détecteurs se sont révélées décourageantes. Maintz et coll. [79] ont évalué la visibilité de la lumière artérielle offerte par 68 endoprothèses différentes à l'aide d'un modèle *ex vivo* immobile et ont indiqué que seulement 10 endoprothèses permettaient de voir plus de 66 % de la lumière. Le diamètre des endoprothèses se situait entre 2,5 et 4 mm (la majorité étant de 3 mm). *In vivo*, Sheth et coll. [80] ont souligné que 56 % des 54 endoprothèses, examinées dans les 48 heures suivant leur mise en place, se sont avérées non évaluables en raison d'artéfacts.

Malgré ces lacunes, un certain nombre d'auteurs ont montré par la suite que la coronarographie par tomodensitométrie à 64-détecteurs offre une valeur prédictive négative raisonnablement élevée pour la détection des sténoses au site d'implantation de l'endoprothèse atteignant de 89 à 100 % [81-90] (tableau 3). Une revue de la littérature a révélé une sensibilité et une spécificité assez élevées, mais variables (de 75 à 100 % et de 74 à 100 %, respectivement), ainsi qu'une grande plage de valeurs prédictives positives (de 39 à 100 %). Le pourcentage d'endoprothèses considérées comme non évaluables s'est également avéré variable (de 0 à 42 %). Un regroupement des données de ces études a permis de calculer que 11,8 % des endoprothèses ont été jugées non évaluables et exclues des analyses. Les facteurs affectant sur la visibilité de la lumière et le caractère évaluable des endoprothèses

sont le diamètre de la prothèse, le matériau qui la compose, la taille et la densité des mailles, le chevauchement de prothèses, la fréquence cardiaque et l'indice de masse corporelle [79, 85, 87, 91]. Les endoprothèses dont le diamètre est inférieur ou égal à 3 mm sont difficiles à évaluer [80, 83, 87].

Résumé

1. Un pourcentage élevé des endoprothèses coronariennes était impossible à évaluer par la coronarographie par tomodensitométrie à 64-détecteurs.
2. Les éléments rendant difficile l'évaluation des endoprothèses sont la petite taille de certaines endoprothèses (moins de 3 mm), leur densité, la grosseur des mailles, le chevauchement de certaines prothèses, la fréquence cardiaque, la variabilité de la fréquence cardiaque et l'indice de masse corporelle.
3. En excluant les endoprothèses non évaluables, les tomodensitomètres à 64-détecteurs offrent une forte valeur prédictive négative pour la détection des sténoses intra-stent ou intra-prothèse de plus de 50%.

Tableau 3 : Évaluation des sténoses intra-stent à l'aide de tomodensitomètres à 64-détecteurs pour coronarographie (par analyse d'endoprothèse)

| | Endoprothèses | Exclusions | Sténoses | Sensibilité (%) | Spécificité (%) | VPP (%) | VPN (%) |
|---------------------------|---------------|------------|----------|-----------------|-----------------|---------|---------|
| Hecht et coll. [81] | 132 | 0 | 17 | 94 | 74 | 39 | 99 |
| Carrabba et coll. [82] | 87 | 0 | 13 | 84 | 97 | 92 | 97 |
| Carbone et coll. [83] | 88 | 21 | 16 | 75 | 86 | 71 | 89 |
| Das et coll. [84] | 110 | 13 | 32 | 97 | 88 | 78 | 91 |
| Schuijf et coll. [85] | 76 | 11 | 6 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Oncel et coll. [86] | 39 | 0 | 19 | 89 | 95 | 94 | 90 |
| Rixe et coll. [87] | 102 | 43 | 12 | 88 | 98 | 86 | 98 |
| Cademartiri et coll. [88] | 192 | 14 | 20 | 95 | 93 | 63 | 99 |
| Ehara et coll. [89] | 125 | 15 | 24 | 91 | 93 | 77 | 98 |
| Rist et coll. [92] | 46 | 1 | 8 | 75 | 89 | 67 | 94 |

Évaluation des pontages aortocoronariens

Les pontages aortocoronariens sont moins mobiles, contiennent moins de calcifications et, dans les cas de greffons veineux, ont un plus gros calibre que les artères coronaires. On s'attend donc à ce qu'ils soient tout indiqués pour une évaluation par coronarographie par tomodensitométrie à 64-détecteurs. De nombreux chercheurs se sont penchés sur la question et ont obtenu des résultats comparables malgré les divers types de greffon (artériel ou veineux) utilisés et les divers critères d'exclusion fixés au chapitre de la fréquence cardiaque et de l'arythmie [93-100]. Les résultats sont résumés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Évaluation des sténoses des pontages aortocoronariens à l'aide de tomодensitomètres à 64-détecteurs pour coronarographie (par analyse du greffon et avec combinaison des sténoses d'au moins 50 % et des occlusions)

| | Greffons (A/V) | Non-évaluabilité | Sténoses | Sensibilité (%) | Spécificité (%) | VPP (%) | VPN (%) |
|--------------------------|----------------|------------------|----------|-----------------|-----------------|---------|---------|
| Malagutti et coll. [93] | 109 (45/64) | 0 | 49 | 100 | 98 | 98 | 100 |
| Pache et coll. [94] | 96 (23/73) | 3 | 45 | 98 | 89 | 90 | 98 |
| Dijkers et coll. [95] | 69 (52/17) | 4 | 17 | 100 | 99 | 94 | 100 |
| Ropers et coll. [96] | 138 (37/101) | 0 | 54 | 100 | 94 | 92 | 100 |
| Meyer et coll. [97] | 406 (147/259) | 9 | 116 | 97 | 97 | 93 | 99 |
| Jabara et coll. [98] | 147 (47/100) | 20 | 42 | 95 | 100 | 100 | 98 |
| Onuma et coll. [99] | 146 (74/72) | 8 | 10 | 97 | 98 | 94 | 99 |
| Feuchtner et coll. [100] | 70 (46/24) | 0 | 14 | 85 | 95 | 80 | 96 |

À l'instar des examens des artères coronaires natives, l'évaluation des pontages aortocoronariens à l'aide de coronarographie par tomодensitométrie présente une sensibilité et une valeur prédictive négative très élevées, c'est-à-dire près de 100 %. Sa spécificité et sa valeur prédictive positive sont également très fortes, mais légèrement moins impressionnantes. Dans toutes les études où une distinction est établie entre une occlusion et une sténose, le rendement s'avère meilleur dans le cas des occlusions. Le petit nombre d'erreurs relevées (presque toutes des faux positifs) et de cas non évaluables ont, en grande partie, été causés par des agrafes métalliques adjacentes au greffon, se situant pour la plupart à l'anastomose distale. Ils étaient plus fréquents chez les patients ayant reçu un greffon artériel. Le calibre du vaisseau ciblé par le pontage [100], la fréquence cardiaque et l'arythmie [97] sont d'autres facteurs qui influencent la justesse du diagnostic. Dans deux des études, les greffons étaient visibles à la tomодensitométrie, mais non à l'angiographie conventionnelle.

En clinique, l'état des artères coronaires natives et du vaisseau en aval du greffon constitue une information essentielle pour décider une revascularisation. Dans ces cas, les artères coronaires natives et tout particulièrement les vaisseaux en aval du greffon seront probablement petits, sténosés et calcifiés. Ils ne se prêtent donc pas vraiment à la coronarographie par tomодensitométrie. Cette hypothèse est confirmée par des études qui ont porté sur les coronaires natives et les vaisseaux en aval et qui ont montré que le rendement de cette technologie est nettement plus faible que dans les essais évaluant des coronarographies chez des patients n'ayant pas subi de pontage [93, 95, 96, 99].

Résumé

1. La coronarographie par tomодensitométrie à 64-détecteurs offre une excellente valeur prédictive négative et une très bonne valeur prédictive positive pour la détection des sténoses d'au moins 50 % au site d'un pontage aortocoronarien.
2. Un faible pourcentage des greffons s'est montré impossible à évaluer par les tomодensitomètres à 64-détecteurs.

3. Les éléments rendant difficile l'évaluation des pontages sont les agrafes métalliques adjacentes au greffon, les greffons artériels, les vaisseaux cibles de petit calibre, la fréquence cardiaque élevée et la variabilité de la fréquence cardiaque.
4. Les tomodensitomètres à 64-détecteurs pour coronarographie ne sont que très peu efficaces pour déterminer l'état des vaisseaux en aval du greffon et des artères coronaires natives.

Imagerie des anomalies coronariennes

Bien que les anomalies coronariennes soient relativement rares, une petite proportion d'entre elles sont susceptibles d'entraîner une ischémie, un infarctus du myocarde et une mort subite [101]. Chez les jeunes athlètes, les anomalies des artères coronaires représentent la deuxième cause de mort subite due à une anomalie constitutionnelle [102]. L'évaluation de l'origine et du trajet de ces anomalies à l'aide de l'angiographie conventionnelle peut s'avérer difficile [103]. En raison de capacité de reconstruction tri-dimensionnelle, la coronarographie par tomodensitométrie convient parfaitement à la détection et la détermination du trajet de ces artères et de leurs relations avec les autres structures cardiaques et non cardiaques. Un certain nombre d'études de cas et de recherches [104-107] ont démontré que l'examen de l'anatomie de ces patients au moyen de la coronarographie par tomodensitométrie est simple et très fiable (fidélité proche de 100 %).

Imagerie cardiaque non coronarienne

Fonction ventriculaire

Fonction ventriculaire gauche

À l'aide de méthodes sophistiquées de post-traitement, les paramètres de la fonction ventriculaire gauche, tels que les volumes télédiastolique et télésystolique, le volume systolique, la fraction d'éjection, la masse myocardique et les anomalies segmentaires de contractilité des parois, peuvent être évalués. L'échocardiographie, la ventriculographie à un ou à deux plans, la tomographie à émission monophotonique synchronisée et l'imagerie par résonance magnétique (IRM) offrent une bonne efficacité [108-120]. Lors d'une méta-analyse récente, on a comparé les résultats d'une exploration de la fonction ventriculaire gauche par tomodensitométrie à multidétecteurs à ceux d'une IRM chez 252 patients. Un écart moyen pondéré non cliniquement significatif de $-1,7 \pm 3,1$ % a été relevé [121].

Fonction ventriculaire droite

Peu de données ont été publiées sur la précision de la tomodensitométrie à multidétecteurs pour évaluer la fonction ventriculaire droite. La quantification de cette fonction nécessite une opacification optimale du ventricule droit. Des études de petite envergure, utilisant pour la plupart des tomodensitomètres à 16-détecteurs, ont mis en évidence une bonne corrélation entre la fraction d'éjection ventriculaire droite, les volumes télédiastolique et télésystolique ventriculaires droits ainsi que le volume systolique et la ventriculographie isotopique, l'IRM, le cathétérisme cardiaque de même que l'échocardiographie chez des patients pour lesquels on soupçonnait une coronaropathie [116, 122, 123], une dysfonction ventriculaire droite [124, 125], une embolie pulmonaire [126, 127] et une cardiopathie congénitale [128].

Fonction valvulaire

L'évaluation des sténoses aortiques a fait l'objet de plusieurs études ayant recours à des tomodensitomètres à 16, 40 et 64-détecteurs. Aux fins d'examen de la valve aortique, la planimétrie a été comparée à l'échocardiographie transthoracique ayant recours à l'équation de continuité Doppler ainsi qu'à la planimétrie en ciné-IRM et à l'échographie transœsophagienne chez des patients présentant ou non une sténose aortique. Toutes les études ont montré une bonne corrélation entre la tomodensitométrie et les autres techniques d'imagerie ($r = 0,76$ à $0,99$) [92, 129-134]. Certains auteurs ont observé une légère surestimation générale de la valve aortique comparativement à l'échocardiographie transthoracique [132, 133]. De plus, seulement deux auteurs ont évalué la sensibilité et la spécificité de la tomodensitométrie à 64-détecteurs pour la détection des sténoses aortiques. Les résultats ont mis

en lumière des sensibilités et des spécificités de 82 à 100 % et de 77 à 93,7 %, respectivement [129, 133]. Dans le cadre de cette étude réalisée chez 52 patients atteints de sténose aortique évaluée à l'aide d'un tomодensitomètre à 64-détecteurs, Habis a également rapporté une bonne concordance interobservateur (différence = 0,002, variabilité = 0,112 cm²) [129].

Encore moins de données sont disponibles sur l'évaluation de la régurgitation aortique par tomодensitométrie. Toutes les recherches montrent une forte corrélation entre l'aire et la surface de l'orifice régurgitant et la sévérité du reflux à l'échocardiographie transthoracique ($r = 0,75$ à $0,86$) [135-137]. Feuchtner a indiqué une concordance interobservateur ($r = 0,97$) pour déterminer l'aire de surface de l'orifice régurgitant [135]. Toutefois, Feuchtner et Jassal ont établi que cette technique d'imagerie offre une faible valeur prédictive négative, particulièrement chez les patients atteints d'une légère régurgitation, possiblement en raison d'artéfacts causés par la présence de calcifications sur la valve aortique.

Enfin, en ce qui a trait à la valvulopathie mitrale, la revue de la littérature n'a permis de relever qu'une seule étude comparant la tomодensitométrie à 16-détecteurs à l'échocardiographie transthoracique et la ventriculographie par cathéter chez 19 patients présentant une régurgitation mitrale. La planimétrie de l'orifice où se produit la régurgitation en tomодensitométrie corrèle de manière significative avec les autres méthodes [138].

Perfusion et viabilité myocardiques

Bien que la pharmacocinétique des agents de contraste employés en tomодensitométrie permette le recours à des techniques d'imagerie au premier passage du bolus et que des évaluations d'une exposition prolongée aux produits sur l'innocuité pour le myocarde aient été réalisées, seuls les résultats d'études préliminaires ont été publiés. Ces derniers montrent une forte concordance en matière de résonance magnétique [109, 139-146]. La dose de rayonnements requise pour pratiquer ces examens demeure préoccupante.

Évaluation de l'oreillette gauche et des veines pulmonaires

Il a été démontré que les veines pulmonaires sont la source des éléments déclenchant la fibrillation auriculaire chez 90 à 96 % des cas et que ces foyers peuvent être éliminés efficacement au moyen d'une ablation par sonde [147]. Le taux de réussite de cette intervention chez les patients ne présentant pas d'anomalie constitutionnelle sous-jacente est de plus de 80 % [148]. Les différentes techniques comprennent l'isolation par ablation ostiale des veines pulmonaires [149] et l'ablation circonférentielle fondée sur l'anatomie du patient [150]. Il est crucial que l'électrophysiologiste connaisse la morphologie de l'oreillette gauche et des veines pulmonaires avant l'intervention. Ces renseignements peuvent être obtenus par tomодensitométrie à multidétecteurs. Les appareils à quatre détecteurs et plus permettent de décrire avec précision la portion postérieure de l'oreillette gauche et la veine pulmonaire gauche avec ou sans l'emploi simultané d'un ECG [151]. Les tomодensitomètres à 16 et à 64-détecteurs ont l'avantage de réduire le temps d'acquisition, de produire moins d'artéfacts liés aux mouvements du cœur et de procurer les données isotropiques, ce qui améliore la qualité de l'image sans avoir recours à l'ECG. Il est important d'obtenir de l'information sur le nombre et la taille des ostiums, leur distance avec la première branche de la veine et les variantes anatomiques possibles des veines pulmonaires afin de bien choisir la taille de la sonde utilisée lors de l'intervention. Les dimensions de l'oreillette gauche, la présence d'un thrombus dans l'appendice auriculaire gauche ainsi que la position de l'œsophage par rapport à la paroi postérieure de l'oreillette gauche et aux veines pulmonaires peuvent également être notées [152, 153].

Des systèmes d'intégration des images sont maintenant employés lors des ablations par sonde. Grâce à cette technologie, les reconstructions tomодensitométriques en trois dimensions sont fusionnées aux données de cartographie électroanatomique durant l'intervention avec une précision de 2 mm entre les points correspondants des deux images [154]. En utilisant cette technique, certains médecins ont obtenu un taux de succès plus élevé lors d'ablations par sonde [155, 156]. Kistler et coll. ont également observé un temps d'exposition à la fluoroscopie plus court [155].

Enfin, la tomodensitométrie à multidétecteurs s'est montrée utile lors du suivi des patients ayant subi une ablation pour le dépistage de complications, notamment la survenue de sténoses sur les veines pulmonaires [157, 158].

Anatomie des veines cardiaques

Dans les traitements de resynchronisation cardiaque, l'électrode du cardiostimulateur est positionnée dans l'une des branches du sinus coronaire. Bien que le taux de réussite de la mise en place de l'électrode ventriculaire gauche soit relativement élevé, l'intervention s'avère un échec chez de 5 à 12 % des patients [159]. Ces données peuvent se révéler plus importantes encore dans les centres inexpérimentés. Les échecs ont été attribués à l'incapacité d'insérer une sonde dans le sinus coronaire et l'inaccessibilité des ramifications latérales [159, 160]. Connaître la morphologie des veines cardiaques avant l'intervention peut en faciliter la mise en place. En 2005, Jongloed et coll. ont montré que l'exploration non conventionnelle des veines cardiaques était possible à l'aide de la tomodensitométrie à 16-détecteurs [161] et Van de Veire et coll. ont confirmé que l'observation des principaux tributaires du sinus coronaire à l'aide de la tomodensitométrie à multidétecteurs est comparable à la phlébographie conventionnelle [162]. Ces derniers ont également suggéré qu'attendre deux secondes de plus après l'arrivée du bolus dans l'aorte descendante avant d'amorcer l'examen optimiserait la visualisation des veines pulmonaires.

Cardiopathie congénitale

Le pourcentage de personnes atteintes de cardiopathie congénitale atteignant l'âge adulte augmente rapidement en raison des meilleurs résultats des chirurgies et des améliorations apportées aux stratégies de traitement endovasculaire. Chez ces patients, la coronarographie par tomodensitométrie est plus souhaitable que l'IRM étant donné qu'ils disposent d'un cardiostimulateur permanent ou d'un défibrillateur. La tomodensitométrie cardiaque doit être employée pour enrichir les données recueillies au moyen de l'échographie, particulièrement lorsque l'examen échocardiographique est limité par de piètres fenêtres acoustiques créées à la suite d'une chirurgie cardiaque ou par une anomalie de la paroi thoracique [163]. La tomodensitométrie fournit également des données dans les domaines où l'échocardiographie connaît des faiblesses telles que l'évaluation de l'arc aortique, des artères coronaires, les ramifications de l'artère pulmonaire et les vaisseaux collatéraux. La décision quant à l'utilisation de la coronarographie par tomodensitométrie dépend de la question clinique [164]. Les avantages de cette technique dans l'évaluation des cardiopathies congénitales comprennent la rapidité d'acquisition des images, ce qui limite l'utilisation d'un sédatif. Sa très bonne résolution spatiale permet l'évaluation des dimensions cardiaques des conduits, de l'arc aortique, des principaux vaisseaux ainsi que des veines et des artères pulmonaires [165].

Maladies péricardiques et masses tumorales cardiaques

L'échocardiographie est la technique de choix pour l'évaluation initiale des maladies péricardiques et des masses tumorales. Elle offre des images de haute résolution en temps réel et une caractérisation tissulaire améliorée grâce à l'harmonique et à l'échographie de contraste [166]. Toutefois, cette technique comporte des limites, quant à la couverture et la caractérisation des tissus. Le CT et l'IRM jouent un rôle important dans l'évaluation de l'épaississement de la paroi péricardique et des masses tumorales cardiaques. La tomodensitométrie s'est montrée supérieure à l'IRM dans la détection des calcifications et l'évaluation des répercussions extracardiaques des maladies, telles les complications pulmonaires. Elle saisit également les images plus rapidement et demande une moindre participation de l'opérateur que l'échographie et l'IRM. Cette dernière offre toutefois un meilleur contraste tissulaire, sans l'usage de rayons ionisants. De plus, les effets physiologiques des anomalies péricardiques sur les cavités cardiaques ou chambre cardiaques sont mieux définis sur les images d'IRM que sur celles de la tomodensitométrie en raison de sa meilleure résolution temporelle [167-169].

Repérage extracardiaque

Comparativement à l'échocardiographie, à l'IRM et à l'angiographie conventionnelle, la tomodensitométrie cardiaque est la seule technique permettant une exploration non seulement du cœur, mais également des structures adjacentes, comme le médiastin, les vaisseaux pulmonaires, les poumons, la paroi thoracique et la portion supérieure de l'abdomen. Les découvertes extracardiaques sont très fréquentes lors de ce type d'examen. Bon

nombre d'investigateurs ont fait état de leur fréquence et de leur importance à la suite d'exams par tomodensitométrie cardiaque et à faisceau d'électrons visant à déterminer le score calcique. Bien que la définition de ce qu'est une découverte importante varie d'une étude à l'autre, des événements extracardiaques nécessitant d'autres exams ou une intervention immédiate ont été observés chez 4,2 % à 22,7 % des patients [170-178]. Haller et coll. ont constaté que seulement 35,5 % du volume total de la cage thoracique est démontrée lors d'une coronarographie par tomodensitométrie à multidétecteurs centrée sur le cœur, alors que 70,3 % est visible lorsque les données brutes sont reconstruites pour reconstituer la couverture maximale [172].

Discussion

Des lignes directrices et des normes sur l'utilisation de la tomodensitométrie cardiaque, fondées sur la revue de la littérature et le consensus obtenu auprès des experts, sont fournies ci-dessous.

Lignes directrices sur l'utilisation de la tomodensitométrie cardiaque

Score calcique

Le groupe de travail approuve le calcul du score calcique à l'aide d'un système de pointage courant chez les patients asymptomatiques présentant un risque modéré de maladie cardiovasculaire, car cette donnée peut intensifier la prise en charge des facteurs de risque.

Cependant, le groupe de travail n'approuve pas l'utilisation du score calcique :

1. chez les patients asymptomatiques présentant un risque faible ou élevé de maladie cardiovasculaire;
2. pour faire le suivi du score calcique coronarien au fil des ans.

Coronarographie

La coronarographie par tomodensitométrie devrait être réalisée uniquement par des professionnels qualifiés dans des centres disposant de l'équipement adéquat. Les exams doivent être supervisés et interprétés par des médecins également qualifiés (voir la section Normes). Ils ne devraient être menés que chez les patients chez qui il est probablement plus facile d'obtenir des résultats permettant de confirmer ou d'infirmer le diagnostic et influençant leur prise en charge.

Imagerie cardiaque non coronarienne

Fonction ventriculaire

Le groupe de travail approuve l'utilisation de la tomodensitométrie cardiaque pour l'évaluation de la fonction ventriculaire :

1. lorsque l'examen est synchronisé rétrospectivement à un ECG réalisé pour d'autres indications cliniques;
2. si l'information ne peut être obtenue par l'intermédiaire d'autres techniques d'imagerie qui ne requièrent pas l'utilisation de rayonnements ionisants comme l'échocardiographie ou l'IRM.

Fonction valvulaire

Le groupe de travail approuve l'utilisation de la tomodensitométrie cardiaque pour l'évaluation de la fonction valvulaire :

1. lorsque l'examen est synchronisé rétrospectivement à un ECG réalisé pour d'autres indications cliniques;
2. si l'information ne peut être obtenue par l'intermédiaire d'autres techniques d'imagerie qui ne requièrent pas l'utilisation de rayonnements ionisants comme l'échocardiographie ou l'IRM.

Perfusion et viabilité myocardiques

Étant donné le nombre limité de données publiées à ce jour, le groupe de travail n'approuve pas l'utilisation systématique de la tomodensitométrie pour l'évaluation de la perfusion et de la viabilité myocardiques, sauf dans le cadre d'une étude clinique.

Évaluation de l'oreillette gauche et des veines pulmonaires

Le groupe de travail approuve l'utilisation de la tomodensitométrie cardiaque synchronisée ou non pour l'évaluation de l'oreillette gauche et des veines pulmonaires :

1. avant la suppression d'une fibrillation auriculaire;
2. pour examiner des complications potentielles à la suite d'une intervention.

Anatomie des veines cardiaques

Le groupe de travail approuve l'utilisation de la tomodensitométrie cardiaque pour l'évaluation des veines cardiaques avant une intervention lorsque l'examen est réalisé en collaboration avec un électrophysiologiste et vise à trouver réponse à des questions précises qui pourraient influencer sur la prise en charge du patient.

Cardiopathie congénitale

Le groupe de travail recommande la création d'une équipe multidisciplinaire formée de spécialistes, y compris des cardiologues, des radiologistes et des technologues en échocardiographie, ayant un intérêt pour la cardiopathie congénitale chez les enfants et les adultes et des connaissances sur le sujet. Comme toujours lorsqu'une nouvelle technique diagnostique ou technologie est en cause, on doit se poser plusieurs questions avant de préférer la tomodensitométrie à d'autres méthodes ayant fait leurs preuves, telles que l'IRM et l'échographie. Par exemple :

1. La tomodensitométrie cardiaque permettra-t-elle de répondre à la question clinique?
2. Les résultats influenceront-ils suffisamment sur la prise en charge clinique pour justifier l'exposition aux rayonnements ionisants?
3. Est-ce qu'une autre technique d'imagerie ne nécessitant pas de radiation peut répondre à la question clinique sans grandes difficultés?
4. La synchronisation à l'ECG est-elle nécessaire? Si oui, des stratégies de réduction de la dose peuvent-elles être employées pour diminuer l'exposition?

Bien qu'aucun critère de sélection des patients n'ait été établi, le groupe de travail prône la définition d'une utilisation équilibrée et réfléchie de la tomodensitométrie cardiaque dans les cas de cardiopathie congénitale, correspondant à l'approche décrite ci-dessus.

Maladies péricardiques et masses tumorales cardiaques

Le groupe de travail approuve l'utilisation de la tomodensitométrie cardiaque pour l'exploration des maladies péricardiques et des masses tumorales cardiaques lorsque :

1. les résultats de l'échographie ou de l'IRM ne sont pas concluants;
2. l'utilisation de l'IRM est contre-indiquée, par exemple, à cause de la présence d'un stimulateur cardiaque, d'une claustrophobie ou d'une incapacité à tolérer l'examen;
3. la tomodensitométrie est nécessaire pour déterminer le stade d'un cancer probable du cœur.

Repérage extracardiaque

Les investigateurs ont établi que seulement un tiers du volume total de la cage thoracique est visible dans la couverture centrée sur le cœur des tomodensitomètres cardiaques, mais cette acquisition à haute dose de radiation fournit des informations sur tout le thorax dans l'axe des Z.

C'est pourquoi le groupe de travail croit fermement qu'il serait contraire à l'éthique d'exclure ces structures lors de l'interprétation. Ainsi, une reconstruction avec couverture complète du thorax en fenêtre médiastinale et pulmonaire, et ce, pour tous les patients, est suggérée afin d'obtenir des images similaires à celle d'un examen tomodensitométrique standard du thorax. Les examens devraient être interprétés par un radiologiste afin d'obtenir un deuxième avis qui pourrait expliquer les symptômes du patient et révéler des problèmes importants, mais complexes sur le plan clinique, tels qu'un cancer du poumon à un stade précoce.

Normes sur l'utilisation de la tomodensitométrie cardiaque

Spécifications des installations

Pour assurer la réalisation d'un examen diagnostique de qualité, un tomodensitomètre doit présenter des spécifications correspondantes ou supérieures aux suivantes :

1. Pour réaliser une coronarographie de contraste, les tomodensitomètres doivent permettre une résolution latérale de moins de 0,5 x 0,5 mm, axiale de moins de 1 mm et temporelle de moins de 0,25 seconde.
2. La capacité de chauffage des tubes doit permettre une séance d'acquisition d'image d'au moins 20 secondes.
3. Tous les établissements pratiquant la tomodensitométrie doivent appliquer des stratégies de réduction de la dose. Celles-ci doivent notamment porter sur la modulation de la dose à l'ECG et comprendre des protocoles précis pour les patients plus jeunes. Idéalement, les laboratoires doivent également avoir la capacité d'acquérir des données à l'aide d'une synchronisation prospective ou d'un balayage axial séquentiel (dit « step-and-shoot »).
4. Les appareils doivent être en mesure de créer des sections d'une épaisseur maximale de 3 mm pour l'examen tomodensitométrique visant à évaluer le score calcique et d'au plus 1,5 mm dans le cas des angiographies par tomodensitométrie [179].

Pour obtenir des images adéquats en tomodensitométrie, il est nécessaire d'utiliser un injecteur sous pression capable d'administrer de façon programmée un volume constant d'agent de contraste à un rythme d'au moins 4 cm³ par seconde étant donné qu'il faut plus de 300 mg d'iode par millilitre. La dose précise de l'agent de contraste à injecter est sujette à controverse. Un injecteur sous pression à deux chambres est requis pour bien visualiser les artères coronaires et d'autres structures non coronariennes [180].

De plus, la station de travail doit permettre au médecin interprétant les données d'effectuer toutes les manipulations de post-traitement et des données fondamentales nécessaires à une interprétation approfondie. Celles-ci peuvent comprendre les reformatages multicoupes, les analyses avancées des images des vaisseaux et la création des éléments de volume.

Préparation des patients

Comme la coronarographie par tomodensitométrie ne devrait pas être utilisée chez les patients atteints d'une arythmie telle que la fibrillation auriculaire, un ECG devrait être obtenu avant l'examen tomodensitométrique. Le rythme d'injection de l'agent de contraste peut alors varier de 4 à 8 cm³/sec, et une voie veineuse de calibre 18 ou plus grosse devrait donc être insérée, préférablement dans la veine du coude du patient. Comme la plupart des explorations seront réalisées à l'aide d'un tomodensitomètre à 64-détecteurs, il est impératif de régulariser la fréquence cardiaque pour obtenir des examens de qualité diagnostique et réduire la dose. De plus, il est souhaitable que la fréquence cardiaque du patient soit de 65 battements/min ou moins. Les médecins devraient savoir comment doser et administrer par voies orale et intraveineuse les beta-bloqueurs et les inhibiteurs des canaux calciques, tout comme ils devraient connaître leurs contre-indications et les effets indésirables auxquels ils sont associés. Ils devraient également savoir comment traiter ces effets indésirables.

Idéalement, tous les patients subissant un examen d'angiographie coronarienne par tomodensitométrie devraient recevoir des nitrates par voie orale immédiatement avant la saisie des images. Les médecins devraient donc connaître les contre-indications à leur utilisation et la façon de prendre en charge leurs effets indésirables lorsqu'ils surviennent [2, 181].

Contrôle des rayonnements

Comme pour toute technique d'imagerie, il faut toujours prendre les mesures nécessaires pour veiller à ce que le patient reçoive le moins de rayonnements ionisants possible. Tout établissement utilisant la coronarographie par tomodensitométrie devrait suivre le principe ALARA, c'est-à-dire viser les doses les plus faibles qu'il est raisonnablement possible d'atteindre. Le directeur ou le médecin interprétant les données doit connaître les stratégies les plus récentes en matière de réduction de la dose [182, 183]. La possibilité d'avoir recours à la synchronisation prospective, encore appelée balayage axial séquentiel ou technique « step-and-shoot », doit être prise en considération lorsqu'elle permet de répondre à la question clinique. La prise d'une telle décision doit cependant tenir compte des limites de la technique, telles que le peu de données fonctionnelles qu'elle fournit et l'impossibilité d'examiner les patients présentant une variation importante de la fréquence cardiaque. D'autres mesures permettant de réduire la dose de rayonnement, comme l'emploi d'un bouclier de protection pour la poitrine, l'adaptation du voltage (kVp) et la limitation de la couverture dans l'axe Z, doivent également être prises [184]. Une diminution importante de la dose peut et doit être réalisée en faisant passer le voltage des tubes des 120 kV habituellement sélectionnés à 100 kV, voire 80 kV [185]. Cela a aussi pour effet d'augmenter l'atténuation des vaisseaux. Des données regroupées suggèrent que, chez les patients présentant un IMC inférieur à 25, un voltage de 100 kV peut être utilisé de routine et produire des résultats plus que satisfaisants. De façon comparable, un examen tomodensitométrique visant le dépistage d'anomalies coronariennes et d'autres maladies cardiovasculaires congénitales doit être pratiqué à faible voltage chez les adolescents et les enfants [186]. Dans tous les cas, la dose de radiation doit être adaptée au patient, sauf lorsqu'une évaluation d'une valvulopathie durant la systole est prévue, examen qui ne devrait être mené qu'après considération des autres techniques d'imagerie.

Normes de déclaration

Un rapport complet et structuré constitue un élément clé de tout service d'imagerie. Cela est d'autant plus vrai en coronarographie par tomodensitométrie. Bien que nous ne proposons pas de normes formelles à ce sujet, nous recommandons de fournir les données suivantes :

1. **Données sur les patients** : renseignements démographiques, indications, diagnostics, information contextuelle (score à l'échelle de Framingham), antécédents cliniques pertinents et consentement éclairé.
2. **Données techniques** : médicaments administrés pour régulariser la fréquence cardiaque et dilater les coronaires, paramètres d'acquisition, techniques de reconstruction, signes vitaux et complications. La portion technique du rapport devrait mentionner le type de synchronisation employé lors de l'examen. Elle devrait également indiquer le type d'agent de contraste utilisé et la dose administrée.
3. **Résultats** : Il faudrait que la qualité de l'évaluation soit décrite au tout début de la partie du rapport concernant les résultats. Cette description comprend habituellement un aperçu et des explications des limites ou des artéfacts rencontrés. Ensuite, il est utile que le rapport expose les résultats non cardiaques, cardiaques non coronariens et coronariens.

Les résultats cardiaques non coronariens devraient inclure l'état des principaux vaisseaux, du myocarde, des dimensions cardiaques et du péricarde ainsi que des valves. Ceux portant sur la fonction et l'évaluation des valves devraient se limiter aux données acquises par balayage rétrospectif hélicoïdal.

Enfin, la présentation des résultats de l'évaluation des artères coronaires devrait brosser le tableau de la dominance, y compris du trajet et des ramifications des artères. Une courte section devrait porter sur la présence ou l'absence de plaques et, le cas échéant, sur leur type. Pour la présentation de données sur la sténose, le suivi des recommandations de l'American Heart Association est suggéré sans toutefois représenter une exigence [185]. Il est cependant crucial de nommer et de décrire les vaisseaux de façon constante et précise. Les documents devraient être rédigés à l'aide de la terminologie employée couramment dans les rapports d'angiographie conventionnelle, permettant de décrire les lésions comme étant proximales, moyennes ou distales au sein des artères coronaires ou de leurs ramifications. Il est important d'indiquer la taille et la distribution des vaisseaux des divers segments coronariens et cardiaques afin d'éclairer la prise de décisions cliniques. De plus, les scores calciques coronariens dits d'Agatston devraient être rapportés lorsqu'une évaluation formelle du calcium est menée.

Lorsque des plaques ont été décelées, il est utile de réaliser une évaluation et une quantification visuelle des sténoses lors de tout examen coronarographique par tomodensitométrie. Bien qu'une des forces de cette technique d'imagerie soit la possibilité d'exclure les maladies chez les patients présentant un faible risque avant l'examen, [49, 52] on devrait tenter de quantifier les sténoses en tenant compte des limites de la technologie à ce chapitre, qui sont causées par une faible résolution spatiale. Une coronarographie quantitative par tomodensitométrie n'est pas nécessaire, mais il est bon d'utiliser une échelle de gradation constante. Il est recommandé d'employer un système par quartile ou une échelle en cinq points [187] pour aider les médecins orientant des patients à déterminer si d'autres examens conventionnels ou non sont requis. La description des sténoses doit également comprendre des commentaires au sujet du remodelage vasculaire et de la densité des plaques, si possible. Tous les établissements utilisant la coronarographie par tomodensitométrie doivent continuer de faire le suivi par angiographie conventionnelle, lorsque les appareils sont disponibles, pour évaluer la précision des résultats à l'interne.

Exigences en matière d'enseignement et de formation médicale continue

Les exigences en matière de formation et d'éducation médicale continue pour la réalisation d'examens par tomodensitométrie cardiaque sont difficiles à définir et ne font pas l'unanimité. Étant donné que les radiologistes et les cardiologues réalisent actuellement ces examens, il est important que la formation des deux spécialités soit adéquate sur ce plan. Il est également essentiel que ces deux types de spécialistes travaillent en collaboration. C'est pour ces raisons que la CAR et la Société canadienne de cardiologie explorent la possibilité d'élaborer des normes de formation pour les radiologistes et les cardiologues qui seraient acceptables selon les deux organisations et s'inscriraient dans un travail de

collaboration à plus grande échelle sur la tomodensitométrie cardiaque. Ces exigences porteront sur diverses pratiques dans le domaine de la tomodensitométrie cardiaque, notamment l'évaluation des dimensions du cœur, des artères coronaires, des veines cardiaques et des pontages aortocoronariens ainsi que du calcium coronarien sans utilisation d'agent de contraste. Elles ne comprendront toutefois pas les exigences liées à l'utilisation d'autres techniques d'imagerie vasculaire et thoracique.

Conclusion

La tomodensitométrie cardiaque permet une exploration non conventionnelle et exacte de la morphologie et de la fonction cardiovasculaire. Les radiologistes doivent jouer un rôle de premier plan dans la formation des médecins prescrivant des examens par cette technique et la mise en œuvre adéquate de programmes dans leur établissement. La CAR reconnaît qu'il est important de définir des normes et des lignes directrices appropriées sur l'utilisation de cette technique en rapide évolution.

Remerciements

Nous tenons à remercier la Société canadienne de cardiologie pour ses précieux commentaires. Ses suggestions ont été intégrées dans la version définitive du document.

Références

1. Budoff, M.J., et coll., *ACCF/AHA clinical competence statement on cardiac imaging with computed tomography and magnetic resonance: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/American College of Physicians Task Force on Clinical Competence and Training*. J Am Coll Cardiol, 2005. **46**(2): p. 383-402.
2. Jacobs, J.E., et coll., *ACR practice guideline for the performance and interpretation of cardiac computed tomography (CT)*. J Am Coll Radiol, 2006. **3**(9): p. 677-85.
3. Bluemke, D.A., et coll., *Noninvasive coronary artery imaging: magnetic resonance angiography and multidetector computed tomography angiography: a scientific statement from the american heart association committee on cardiovascular imaging and intervention of the council on cardiovascular radiology and intervention, and the councils on clinical cardiology and cardiovascular disease in the young*. Circulation, 2008. **118**(5): p. 586-606.
4. Schroeder, S., et coll., *Cardiac computed tomography: indications, applications, limitations, and training requirements: report of a Writing Group deployed by the Working Group Nuclear Cardiology and Cardiac CT of the European Society of Cardiology and the European Council of Nuclear Cardiology*. Eur Heart J, 2008. **29**(4): p. 531-56.
5. Greenland, P., et coll., *ACCF/AHA 2007 clinical expert consensus document on coronary artery calcium scoring by computed tomography in global cardiovascular risk assessment and in evaluation of patients with chest pain: a report of the American College of Cardiology Foundation Clinical Expert Consensus Task Force (ACCF/AHA Writing Committee to Update the 2000 Expert Consensus Document on Electron Beam Computed Tomography)*. Circulation, 2007. **115**(3): p. 402-26.
6. Sangiorgi, G., et coll., *Arterial calcification and not lumen stenosis is highly correlated with atherosclerotic plaque burden in humans: a histologic study of 723 coronary artery segments using nondecalcifying methodology*. J Am Coll Cardiol, 1998. **31**(1): p. 126-33.
7. Becker, C.R., et coll., *Coronary artery calcium measurement: agreement of multirow detector and electron beam CT*. AJR Am J Roentgenol, 2001. **176**(5): p. 1295-8.
8. Daniell, A.L., et coll., *Concordance of coronary artery calcium estimates between MDCT and electron beam tomography*. AJR Am J Roentgenol, 2005. **185**(6): p. 1542-5.
9. Detrano, R.C., et coll., *Coronary calcium measurements: effect of CT scanner type and calcium measure on rescan reproducibility--MESA study*. Radiology, 2005. **236**(2): p. 477-84.
10. Vliegenthart, R., et coll., *Coronary calcification improves cardiovascular risk prediction in the elderly*. Circulation, 2005. **112**(4): p. 572-7.
11. Arad, Y., et coll., *Prediction of coronary events with electron beam computed tomography*. J Am Coll Cardiol, 2000. **36**(4): p. 1253-60.
12. Greenland, P., et coll., *Coronary artery calcium score combined with Framingham score for risk prediction in asymptomatic individuals*. JAMA, 2004. **291**(2): p. 210-5.
13. Kondos, G.T., et coll., *Electron-beam tomography coronary artery calcium and cardiac events: a 37-month follow-up of 5635 initially asymptomatic low- to intermediate-risk adults*. Circulation, 2003. **107**(20): p. 2571-6.
14. LaMonte, M.J., et coll., *Coronary artery calcium score and coronary heart disease events in a large cohort of asymptomatic men and women*. Am J Epidemiol, 2005. **162**(5): p. 421-9.
15. Taylor, A.J., et coll., *Coronary calcium independently predicts incident premature coronary heart disease over measured cardiovascular risk factors: mean three-year outcomes in the Prospective Army Coronary Calcium (PACC) project*. J Am Coll Cardiol, 2005. **46**(5): p. 807-14.
16. Wilson, P.W., et coll., *Prediction of coronary heart disease using risk factor categories*. Circulation, 1998. **97**(18): p. 1837-47.
17. Assmann, G., P. Cullen, and H. Schulte, *Simple scoring scheme for calculating the risk of acute coronary events based on the 10-year follow-up of the prospective cardiovascular Munster (PROCAM) study*. Circulation, 2002. **105**(3): p. 310-5.
18. Conroy, R.M., et coll., *Estimation of ten-year risk of fatal cardiovascular disease in Europe: the SCORE project*. Eur Heart J, 2003. **24**(11): p. 987-1003.

19. Naghavi, M., et coll., *From vulnerable plaque to vulnerable patient--Part III: Executive summary of the Screening for Heart Attack Prevention and Education (SHAPE) Task Force report*. Am J Cardiol, 2006. **98**(2A): p. 2H-15H.
20. O'Rourke, R.A., et coll., *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**(1): p. 126-40.
21. Budoff, M.J., et coll., *Assessment of coronary artery disease by cardiac computed tomography: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, and Committee on Cardiac Imaging, Council on Clinical Cardiology*. Circulation, 2006. **114**(16): p. 1761-91.
22. Horiguchi, J., et coll., *Variability of repeated coronary artery calcium measurements by 1.25-mm- and 2.5-mm-thickness images on prospective electrocardiograph-triggered 64-slice CT*. Eur Radiol, 2008. **18**(2): p. 209-16.
23. Groen, J.M., et coll., *Calcium scoring using 64-slice MDCT, dual source CT and EBT: a comparative phantom study*. Int J Cardiovasc Imaging, 2008. **24**(5): p. 547-56.
24. Achenbach, S., et coll., *Detection of coronary artery stenoses by contrast-enhanced, retrospectively electrocardiographically-gated, multislice spiral computed tomography*. Circulation, 2001. **103**(21): p. 2535-8.
25. Kopp, A.F., et coll., *Non-invasive coronary angiography with high resolution multidetector-row computed tomography. Results in 102 patients*. Eur Heart J, 2002. **23**(21): p. 1714-25.
26. Hamon, M., R. Morello, and J.W. Riddell, *Coronary arteries: diagnostic performance of 16- versus 64-section spiral CT compared with invasive coronary angiography--meta-analysis*. Radiology, 2007. **245**(3): p. 720-31.
27. Vanhoenacker, P.K., et coll., *Diagnostic performance of multidetector CT angiography for assessment of coronary artery disease: meta-analysis*. Radiology, 2007. **244**(2): p. 419-28.
28. Leschka, S., et coll., *Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience*. Eur Heart J, 2005. **26**(15): p. 1482-7.
29. Ropers, D., et coll., *Usefulness of multidetector row spiral computed tomography with 64- x 0.6-mm collimation and 330-ms rotation for the noninvasive detection of significant coronary artery stenoses*. Am J Cardiol, 2006. **97**(3): p. 343-8.
30. Leber, A.W., et coll., *Quantification of obstructive and nonobstructive coronary lesions by 64-slice computed tomography: a comparative study with quantitative coronary angiography and intravascular ultrasound*. J Am Coll Cardiol, 2005. **46**(1): p. 147-54.
31. Mollet, N.R., et coll., *High-resolution spiral computed tomography coronary angiography in patients referred for diagnostic conventional coronary angiography*. Circulation, 2005. **112**(15): p. 2318-23.
32. Ong, T.K., et coll., *Accuracy of 64-row multidetector computed tomography in detecting coronary artery disease in 134 symptomatic patients: influence of calcification*. Am Heart J, 2006. **151**(6): p. 1323 e1-6.
33. Raff, G.L., et coll., *Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography*. J Am Coll Cardiol, 2005. **46**(3): p. 552-7.
34. Schuijf, J.D., et coll., *Diagnostic accuracy of 64-slice multislice computed tomography in the noninvasive evaluation of significant coronary artery disease*. Am J Cardiol, 2006. **98**(2): p. 145-8.
35. Weustink, A.C., et coll., *Reliable high-speed coronary computed tomography in symptomatic patients*. J Am Coll Cardiol, 2007. **50**(8): p. 786-94.
36. Ehara, M., et coll., *Diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography for detecting angiographically significant coronary artery stenosis in an unselected consecutive patient population: comparison with conventional invasive angiography*. Circ J, 2006. **70**(5): p. 564-71.
37. Nikolaou, K., et coll., *Accuracy of 64-MDCT in the diagnosis of ischemic heart disease*. AJR Am J Roentgenol, 2006. **187**(1): p. 111-7.
38. Meijboom, W.B., et coll., *Pre-operative computed tomography coronary angiography to detect significant coronary artery disease in patients referred for cardiac valve surgery*. J Am Coll Cardiol, 2006. **48**(8): p. 1658-65.
39. Muhlenbruch, G., et coll., *Diagnostic value of 64-slice multi-detector row cardiac CTA in symptomatic patients*. Eur Radiol, 2007. **17**(3): p. 603-9.
40. Plass, A., et coll., *Coronary artery imaging with 64-slice computed tomography from cardiac surgical perspective*. Eur J Cardiothorac Surg, 2006. **30**(1): p. 109-16.

41. Ong, K., et coll., *Feasibility and accuracy of 64-row MDCT coronary imaging from a centre with early experience: a review and comparison with established centres*. Med J Malaysia, 2005. **60**(5): p. 629-36.
42. Sun, Z., et coll., *Diagnostic value of 64-slice CT angiography in coronary artery disease: a systematic review*. Eur J Radiol, 2008. **67**(1): p. 78-84.
43. Mowatt, G., et coll., *64-Slice computed tomography angiography in the diagnosis and assessment of coronary artery disease: systematic review and meta-analysis*. Heart, 2008. **94**(11): p. 1386-93.
44. Stein, P.D., et coll., *64-slice CT for diagnosis of coronary artery disease: a systematic review*. Am J Med, 2008. **121**(8): p. 715-25.
45. Phillips, W.C., J.A. Scott, and G. Blasczynski, *Statistics for diagnostic procedures. I. How sensitive is "sensitivity"; how specific is "specificity"?* AJR Am J Roentgenol, 1983. **140**(6): p. 1265-70.
46. Altman, D.G. and J.M. Bland, *Diagnostic tests 2: Predictive values*. BMJ, 1994. **309**(6947): p. 102.
47. Brenner, H. and O. Gefeller, *Variation of sensitivity, specificity, likelihood ratios and predictive values with disease prevalence*. Stat Med, 1997. **16**(9): p. 981-91.
48. Husmann, L., et coll., *Comparison of diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography in patients with low, intermediate, and high cardiovascular risk*. Acad Radiol, 2008. **15**(4): p. 452-61.
49. Meijboom, W.B., et coll., *64-slice computed tomography coronary angiography in patients with high, intermediate, or low pretest probability of significant coronary artery disease*. J Am Coll Cardiol, 2007. **50**(15): p. 1469-75.
50. Musto, C., et coll., *64-multislice computed tomography in consecutive patients with suspected or proven coronary artery disease: initial single center experience*. Int J Cardiol, 2007. **114**(1): p. 90-7.
51. Brodoefel, H., et coll., *Noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography in an unselected patient collective: effect of heart rate, heart rate variability and coronary calcifications on image quality and diagnostic accuracy*. Eur J Radiol, 2008. **66**(1): p. 134-41.
52. Budoff, M.J., et coll., *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*. Journal of the American College of Cardiology, 2008. **52**.
53. Delhay, D., et coll., *Coronary artery imaging during preoperative CT staging: preliminary experience with 64-slice multidetector CT in 99 consecutive patients*. Eur Radiol, 2007. **17**(3): p. 591-602.
54. Burgstahler, C., et coll., *Quantitative parameters to compare image quality of non-invasive coronary angiography with 16-slice, 64-slice and dual-source computed tomography*. Eur Radiol, 2008.
55. Leschka, S., et coll., *Noninvasive coronary angiography with 64-section CT: effect of average heart rate and heart rate variability on image quality*. Radiology, 2006. **241**(2): p. 378-85.
56. Leschka, S., et coll., *Effect of decrease in heart rate variability on the diagnostic accuracy of 64-MDCT coronary angiography*. AJR Am J Roentgenol, 2008. **190**(6): p. 1583-90.
57. Uren, N.G., et coll., *Relation between myocardial blood flow and the severity of coronary-artery stenosis*. N Engl J Med, 1994. **330**(25): p. 1782-8.
58. Meijboom, W.B., et coll., *Comprehensive assessment of coronary artery stenoses: computed tomography coronary angiography versus conventional coronary angiography and correlation with fractional flow reserve in patients with stable angina*. J Am Coll Cardiol, 2008. **52**(8): p. 636-43.
59. Gaemperli, O., et coll., *Functionally relevant coronary artery disease: comparison of 64-section CT angiography with myocardial perfusion SPECT*. Radiology, 2008. **248**(2): p. 414-23.
60. Schuijf, J.D., et coll., *Relationship between noninvasive coronary angiography with multi-slice computed tomography and myocardial perfusion imaging*. J Am Coll Cardiol, 2006. **48**(12): p. 2508-14.
61. Scholte, A.J., et coll., *Different manifestations of coronary artery disease by stress SPECT myocardial perfusion imaging, coronary calcium scoring, and multislice CT coronary angiography in asymptomatic patients with type 2 diabetes mellitus*. J Nucl Cardiol, 2008. **15**(4): p. 503-9.
62. Herzog, C., et coll., *Significant coronary artery stenosis: comparison on per-patient and per-vessel or per-segment basis at 64-section CT angiography*. Radiology, 2007. **244**(1): p. 112-20.
63. Leber, A.W., et coll., *Diagnostic accuracy of dual-source multi-slice CT-coronary angiography in patients with an intermediate pretest likelihood for coronary artery disease*. Eur Heart J, 2007. **28**(19): p. 2354-60.

64. Busch, S., et coll., *Visual and automatic grading of coronary artery stenoses with 64-slice CT angiography in reference to invasive angiography*. Eur Radiol, 2007. **17**(6): p. 1445-51.
65. Husmann, L., et coll., *Accuracy of quantitative coronary angiography with computed tomography and its dependency on plaque composition : Plaque composition and accuracy of cardiac CT*. Int J Cardiovasc Imaging, 2008. **24**(8): p. 895-904.
66. Tobis, J., B. Azarbal, and L. Slavin, *Assessment of intermediate severity coronary lesions in the catheterization laboratory*. J Am Coll Cardiol, 2007. **49**(8): p. 839-48.
67. Sun, J., et coll., *Identification and quantification of coronary atherosclerotic plaques: a comparison of 64-MDCT and intravascular ultrasound*. AJR Am J Roentgenol, 2008. **190**(3): p. 748-54.
68. Gregory, S.A., et coll., *Comparison of sixty-four-slice multidetector computed tomographic coronary angiography to coronary angiography with intravascular ultrasound for the detection of transplant vasculopathy*. Am J Cardiol, 2006. **98**(7): p. 877-84.
69. Sato, A., et coll., *Quantitative measures of coronary stenosis severity by 64-Slice CT angiography and relation to physiologic significance of perfusion in nonobese patients: comparison with stress myocardial perfusion imaging*. J Nucl Med, 2008. **49**(4): p. 564-72.
70. Caussin, C., et coll., *Comparison of coronary minimal lumen area quantification by sixty-four-slice computed tomography versus intravascular ultrasound for intermediate stenosis*. Am J Cardiol, 2006. **98**(7): p. 871-6.
71. Leber, A.W., et coll., *Accuracy of 64-slice computed tomography to classify and quantify plaque volumes in the proximal coronary system: a comparative study using intravascular ultrasound*. J Am Coll Cardiol, 2006. **47**(3): p. 672-7.
72. Otsuka, M., et coll., *Quantification of coronary plaque by 64-slice computed tomography: a comparison with quantitative intracoronary ultrasound*. Invest Radiol, 2008. **43**(5): p. 314-21.
73. Hoffmann, U., et coll., *Noninvasive assessment of plaque morphology and composition in culprit and stable lesions in acute coronary syndrome and stable lesions in stable angina by multidetector computed tomography*. J Am Coll Cardiol, 2006. **47**(8): p. 1655-62.
74. Huang, W.C., et coll., *Assessing culprit lesions and active complex lesions in patients with early acute myocardial infarction by multidetector computed tomography*. Circ J, 2008. **72**(11): p. 1806-13.
75. Nakazawa, G., et coll., *Efficacy of culprit plaque assessment by 64-slice multidetector computed tomography to predict transient no-reflow phenomenon during percutaneous coronary intervention*. Am Heart J, 2008. **155**(6): p. 1150-7.
76. Motoyama, S., et coll., *Multislice computed tomographic characteristics of coronary lesions in acute coronary syndromes*. J Am Coll Cardiol, 2007. **50**(4): p. 319-26.
77. Tanaka, A., et coll., *Non-invasive assessment of plaque rupture by 64-slice multidetector computed tomography--comparison with intravascular ultrasound*. Circ J, 2008. **72**(8): p. 1276-81.
78. Choi, B.J., et coll., *Comparison of 64-slice multidetector computed tomography with spectral analysis of intravascular ultrasound backscatter signals for characterizations of noncalcified coronary arterial plaques*. Am J Cardiol, 2008. **102**(8): p. 988-93.
79. Maintz, D., et coll., *64-slice multidetector coronary CT angiography: in vitro evaluation of 68 different stents*. Eur Radiol, 2006. **16**(4): p. 818-26.
80. Sheth, T., et coll., *Coronary stent assessability by 64 slice multi-detector computed tomography*. Catheter Cardiovasc Interv, 2007. **69**(7): p. 933-8.
81. Hecht, H.S., et coll., *Usefulness of 64-detector computed tomographic angiography for diagnosing in-stent restenosis in native coronary arteries*. Am J Cardiol, 2008. **101**(6): p. 820-4.
82. Carrabba, N., et coll., *Usefulness of 64-slice multidetector computed tomography for detecting drug eluting in-stent restenosis*. Am J Cardiol, 2007. **100**(12): p. 1754-8.
83. Carbone, I., et coll., *Non-invasive evaluation of coronary artery stent patency with retrospectively ECG-gated 64-slice CT angiography*. Eur Radiol, 2008. **18**(2): p. 234-43.
84. Das, K.M., et coll., *Contrast-enhanced 64-section coronary multidetector CT angiography versus conventional coronary angiography for stent assessment*. Radiology, 2007. **245**(2): p. 424-32.
85. Schuijf, J.D., et coll., *Evaluation of patients with previous coronary stent implantation with 64-section CT*. Radiology, 2007. **245**(2): p. 416-23.

86. Oncel, D., G. Oncel, and M. Karaca, *Coronary stent patency and in-stent restenosis: determination with 64-section multidetector CT coronary angiography--initial experience*. *Radiology*, 2007. **242**(2): p. 403-9.
87. Rixe, J., et coll., *Assessment of coronary artery stent restenosis by 64-slice multi-detector computed tomography*. *Eur Heart J*, 2006. **27**(21): p. 2567-72.
88. Cademartiri, F., et coll., *Usefulness of 64-slice multislice computed tomography coronary angiography to assess in-stent restenosis*. *J Am Coll Cardiol*, 2007. **49**(22): p. 2204-10.
89. Ehara, M., et coll., *Diagnostic accuracy of coronary in-stent restenosis using 64-slice computed tomography: comparison with invasive coronary angiography*. *J Am Coll Cardiol*, 2007. **49**(9): p. 951-9.
90. Rist, C., et coll., *Assessment of coronary artery stent patency and restenosis using 64-slice computed tomography*. *Acad Radiol*, 2006. **13**(12): p. 1465-73.
91. Sun, Z., R. Davidson, and C.H. Lin, *Multi-detector row CT angiography in the assessment of coronary in-stent restenosis: A systematic review*. *Eur J Radiol*, 2007.
92. Pouleur, A.C., et coll., *Aortic valve area assessment: multidetector CT compared with cine MR imaging and transthoracic and transesophageal echocardiography*. *Radiology*, 2007. **244**(3): p. 745-54.
93. Malagutti, P., et coll., *Use of 64-slice CT in symptomatic patients after coronary bypass surgery: evaluation of grafts and coronary arteries*. *Eur Heart J*, 2007. **28**(15): p. 1879-85.
94. Pache, G., et coll., *Initial experience with 64-slice cardiac CT: non-invasive visualization of coronary artery bypass grafts*. *Eur Heart J*, 2006. **27**(8): p. 976-80.
95. Dikkers, R., et coll., *The benefit of 64-MDCT prior to invasive coronary angiography in symptomatic post-CABG patients*. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2007. **23**(3): p. 369-77.
96. Ropers, D., et coll., *Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography in patients after bypass surgery using 64-slice spiral computed tomography with 330-ms gantry rotation*. *Circulation*, 2006. **114**(22): p. 2334-41; quiz 2334.
97. Meyer, T.S., et coll., *Improved noninvasive assessment of coronary artery bypass grafts with 64-slice computed tomographic angiography in an unselected patient population*. *J Am Coll Cardiol*, 2007. **49**(9): p. 946-50.
98. Jabara, R., et coll., *Comparison of multidetector 64-slice computed tomographic angiography to coronary angiography to assess the patency of coronary artery bypass grafts*. *Am J Cardiol*, 2007. **99**(11): p. 1529-34.
99. Onuma, Y., et coll., *Evaluation of coronary artery bypass grafts and native coronary arteries using 64-slice multidetector computed tomography*. *Am Heart J*, 2007. **154**(3): p. 519-26.
100. Feuchtner, G.M., et coll., *Diagnostic performance of 64-slice computed tomography in evaluation of coronary artery bypass grafts*. *AJR Am J Roentgenol*, 2007. **189**(3): p. 574-80.
101. Angelini, P., J.A. Velasco, and S. Flamm, *Coronary anomalies: incidence, pathophysiology, and clinical relevance*. *Circulation*, 2002. **105**(20): p. 2449-54.
102. Maron, B.J., *Sudden death in young athletes*. *N Engl J Med*, 2003. **349**(11): p. 1064-75.
103. Ishikawa, T. and P.W. Brandt, *Anomalous origin of the left main coronary artery from the right anterior aortic sinus: angiographic definition of anomalous course*. *Am J Cardiol*, 1985. **55**(6): p. 770-6.
104. Datta, J., et coll., *Anomalous coronary arteries in adults: depiction at multi-detector row CT angiography*. *Radiology*, 2005. **235**(3): p. 812-8.
105. Duran, C., et coll., *Remarkable anatomic anomalies of coronary arteries and their clinical importance: a multidetector computed tomography angiographic study*. *J Comput Assist Tomogr*, 2006. **30**(6): p. 939-48.
106. Kim, S.Y., et coll., *Coronary artery anomalies: classification and ECG-gated multi-detector row CT findings with angiographic correlation*. *Radiographics*, 2006. **26**(2): p. 317-33; discussion 333-4.
107. Schmid, M., et coll., *Visualization of coronary artery anomalies by contrast-enhanced multi-detector row spiral computed tomography*. *Int J Cardiol*, 2006. **111**(3): p. 430-5.
108. Schepis, T., et coll., *Comparison of 64-slice CT with gated SPECT for evaluation of left ventricular function*. *J Nucl Med*, 2006. **47**(8): p. 1288-94.
109. Cury, R.C., et coll., *Comprehensive assessment of myocardial perfusion defects, regional wall motion, and left ventricular function by using 64-section multidetector CT*. *Radiology*, 2008. **248**(2): p. 466-75.
110. Mahnken, A.H., et coll., *Sixteen-slice spiral CT versus MR imaging for the assessment of left ventricular function in acute myocardial infarction*. *Eur Radiol*, 2005. **15**(4): p. 714-20.

111. Belge, B., et coll., *Accurate estimation of global and regional cardiac function by retrospectively gated multidetector row computed tomography: comparison with cine magnetic resonance imaging*. Eur Radiol, 2006. **16**(7): p. 1424-33.
112. Dewey, M., et coll., *Evaluation of global and regional left ventricular function with 16-slice computed tomography, biplane cineventriculography, and two-dimensional transthoracic echocardiography: comparison with magnetic resonance imaging*. J Am Coll Cardiol, 2006. **48**(10): p. 2034-44.
113. Henneman, M.M., et coll., *Global and regional left ventricular function: a comparison between gated SPECT, 2D echocardiography and multi-slice computed tomography*. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2006. **33**(12): p. 1452-60.
114. Henneman, M.M., et coll., *Assessment of global and regional left ventricular function and volumes with 64-slice MSCT: a comparison with 2D echocardiography*. J Nucl Cardiol, 2006. **13**(4): p. 480-7.
115. Muhlenbruch, G., et coll., *Global left ventricular function in cardiac CT. Evaluation of an automated 3D region-growing segmentation algorithm*. Eur Radiol, 2006. **16**(5): p. 1117-23.
116. Puesken, M., et coll., *Global left-ventricular function assessment using dual-source multidetector CT: effect of improved temporal resolution on ventricular volume measurement*. Eur Radiol, 2008. **18**(10): p. 2087-94.
117. Schlosser, T., et coll., *Assessment of left ventricular function and mass in patients undergoing computed tomography (CT) coronary angiography using 64-detector-row CT: comparison to magnetic resonance imaging*. Acta Radiol, 2007. **48**(1): p. 30-5.
118. Schlosser, T., et coll., *Assessment of left ventricular parameters using 16-MDCT and new software for endocardial and epicardial border delineation*. AJR Am J Roentgenol, 2005. **184**(3): p. 765-73.
119. Sugeng, L., et coll., *Quantitative assessment of left ventricular size and function: side-by-side comparison of real-time three-dimensional echocardiography and computed tomography with magnetic resonance reference*. Circulation, 2006. **114**(7): p. 654-61.
120. van der Vleuten, P.A., et coll., *Evaluation of global left ventricular function assessment by dual-source computed tomography compared with MRI*. Eur Radiol, 2008.
121. van der Vleuten, P.A., et coll., *Quantification of global left ventricular function: comparison of multidetector computed tomography and magnetic resonance imaging. a meta-analysis and review of the current literature*. Acta Radiol, 2006. **47**(10): p. 1049-57.
122. Plumhans, C., et coll., *Assessment of global right ventricular function on 64-MDCT compared with MRI*. AJR Am J Roentgenol, 2008. **190**(5): p. 1358-61.
123. Dogan, H., et coll., *MDCT assessment of right ventricular systolic function*. AJR Am J Roentgenol, 2006. **186**(6 Suppl 2): p. S366-70.
124. Delhaye, D., et coll., *MDCT of right ventricular function: comparison of right ventricular ejection fraction estimation and equilibrium radionuclide ventriculography, part 1*. AJR Am J Roentgenol, 2006. **187**(6): p. 1597-604.
125. Remy-Jardin, M., et coll., *MDCT of right ventricular function: impact of methodologic approach in estimation of right ventricular ejection fraction, part 2*. AJR Am J Roentgenol, 2006. **187**(6): p. 1605-9.
126. Coche, E., et coll., *Evaluation of biventricular ejection fraction with ECG-gated 16-slice CT: preliminary findings in acute pulmonary embolism in comparison with radionuclide ventriculography*. Eur Radiol, 2005. **15**(7): p. 1432-40.
127. Dogan, H., et coll., *Right ventricular function in patients with acute pulmonary embolism: analysis with electrocardiography-synchronized multi-detector row CT*. Radiology, 2007. **242**(1): p. 78-84.
128. Matsui, H., et coll., *Quantification of right and left ventricular volumes in children with congenital heart disease by multidetector-row computed tomography*. Pediatr Cardiol, 2007. **28**(4): p. 267-71.
129. Feuchtner, G.M., et coll., *Multislice computed tomography for detection of patients with aortic valve stenosis and quantification of severity*. J Am Coll Cardiol, 2006. **47**(7): p. 1410-7.
130. Feuchtner, G.M., et coll., *Sixty-four slice CT evaluation of aortic stenosis using planimetry of the aortic valve area*. AJR Am J Roentgenol, 2007. **189**(1): p. 197-203.
131. Alkadhi, H., et coll., *Aortic stenosis: comparative evaluation of 16-detector row CT and echocardiography*. Radiology, 2006. **240**(1): p. 47-55.
132. Tanaka, H., et coll., *The simultaneous assessment of aortic valve area and coronary artery stenosis using 16-slice multidetector-row computed tomography in patients with aortic stenosis comparison with echocardiography*. Circ J, 2007. **71**(10): p. 1593-8.
133. Habis, M., et coll., *Comparison of 64-slice computed tomography planimetry and Doppler echocardiography in the assessment of aortic valve stenosis*. J Heart Valve Dis, 2007. **16**(3): p. 216-24.

134. Bouvier, E., et coll., *Diagnosis of aortic valvular stenosis by multislice cardiac computed tomography*. Eur Heart J, 2006. **27**(24): p. 3033-8.
135. Feuchtnner, G.M., et coll., *64-MDCT for diagnosis of aortic regurgitation in patients referred to CT coronary angiography*. AJR Am J Roentgenol, 2008. **191**(1): p. W1-7.
136. Jassal, D.S., et coll., *64-slice multidetector computed tomography (MDCT) for detection of aortic regurgitation and quantification of severity*. Invest Radiol, 2007. **42**(7): p. 507-12.
137. Alkadhi, H., et coll., *Aortic regurgitation: assessment with 64-section CT*. Radiology, 2007. **245**(1): p. 111-21.
138. Alkadhi, H., et coll., *Mitral regurgitation: quantification with 16-detector row CT--initial experience*. Radiology, 2006. **238**(2): p. 454-63.
139. Nagao, M., et coll., *Quantification of myocardial perfusion by contrast-enhanced 64-MDCT: characterization of ischemic myocardium*. AJR Am J Roentgenol, 2008. **191**(1): p. 19-25.
140. Nicol, E.D., et coll., *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**(3): p. 311-8.
141. George, R.T., et coll., *Quantification of myocardial perfusion using dynamic 64-detector computed tomography*. Invest Radiol, 2007. **42**(12): p. 815-22.
142. Kurata, A., et coll., *Myocardial perfusion imaging using adenosine triphosphate stress multi-slice spiral computed tomography: alternative to stress myocardial perfusion scintigraphy*. Circ J, 2005. **69**(5): p. 550-7.
143. Nikolaou, K., et coll., *Assessment of myocardial perfusion and viability from routine contrast-enhanced 16-detector-row computed tomography of the heart: preliminary results*. Eur Radiol, 2005. **15**(5): p. 864-71.
144. Lardo, A.C., et coll., *Contrast-enhanced multidetector computed tomography viability imaging after myocardial infarction: characterization of myocyte death, microvascular obstruction, and chronic scar*. Circulation, 2006. **113**(3): p. 394-404.
145. Nieman, K., et coll., *Reperfused myocardial infarction: contrast-enhanced 64-Section CT in comparison to MR imaging*. Radiology, 2008. **247**(1): p. 49-56.
146. Gerber, B.L., et coll., *Characterization of acute and chronic myocardial infarcts by multidetector computed tomography: comparison with contrast-enhanced magnetic resonance*. Circulation, 2006. **113**(6): p. 823-33.
147. Shah, D.C., et coll., *Electrophysiologically guided ablation of the pulmonary veins for the curative treatment of atrial fibrillation*. Ann Med, 2000. **32**(6): p. 408-16.
148. Oral, H., et coll., *Pulmonary vein isolation for paroxysmal and persistent atrial fibrillation*. Circulation, 2002. **105**(9): p. 1077-81.
149. Morady, F., *Mechanisms and catheter ablation therapy of atrial fibrillation*. Tex Heart Inst J, 2005. **32**(2): p. 199-201.
150. Ouyang, F., et coll., *Complete isolation of left atrium surrounding the pulmonary veins: new insights from the double-Lasso technique in paroxysmal atrial fibrillation*. Circulation, 2004. **110**(15): p. 2090-6.
151. Schwartzman, D., J. Lacomis, and W.G. Wigginton, *Characterization of left atrium and distal pulmonary vein morphology using multidimensional computed tomography*. J Am Coll Cardiol, 2003. **41**(8): p. 1349-57.
152. Cronin, P., et coll., *MDCT of the left atrium and pulmonary veins in planning radiofrequency ablation for atrial fibrillation: a how-to guide*. AJR Am J Roentgenol, 2004. **183**(3): p. 767-78.
153. Lemola, K., et coll., *Computed tomographic analysis of the anatomy of the left atrium and the esophagus: implications for left atrial catheter ablation*. Circulation, 2004. **110**(24): p. 3655-60.
154. Tops, L.F., et coll., *Fusion of multislice computed tomography imaging with three-dimensional electroanatomic mapping to guide radiofrequency catheter ablation procedures*. Heart Rhythm, 2005. **2**(10): p. 1076-81.
155. Kistler, P.M., et coll., *The impact of CT image integration into an electroanatomic mapping system on clinical outcomes of catheter ablation of atrial fibrillation*. J Cardiovasc Electrophysiol, 2006. **17**(10): p. 1093-101.
156. Martinek, M., et coll., *Impact of integration of multislice computed tomography imaging into three-dimensional electroanatomic mapping on clinical outcomes, safety, and efficacy using radiofrequency ablation for atrial fibrillation*. Pacing Clin Electrophysiol, 2007. **30**(10): p. 1215-23.
157. Burgstahler, C., et coll., *Visualization of pulmonary vein stenosis after radio frequency ablation using multi-slice computed tomography: initial clinical experience in 33 patients*. Int J Cardiol, 2005. **102**(2): p. 287-91.
158. Lacomis, J.M., et coll., *CT of the pulmonary veins*. J Thorac Imaging, 2007. **22**(1): p. 63-76.

159. Abraham, W.T. and D.L. Hayes, *Cardiac resynchronization therapy for heart failure*. Circulation, 2003. **108**(21): p. 2596-603.
160. Puglisi, A., et coll., *Limited thoracotomy as a second choice alternative to transvenous implant for cardiac resynchronisation therapy delivery*. Eur Heart J, 2004. **25**(12): p. 1063-9.
161. Jongbloed, M.R., et coll., *Noninvasive visualization of the cardiac venous system using multislice computed tomography*. J Am Coll Cardiol, 2005. **45**(5): p. 749-53.
162. Van de Veire, N.R., et coll., *Noninvasive imaging of cardiac venous anatomy with 64-slice multi-slice computed tomography and noninvasive assessment of left ventricular dyssynchrony by 3-dimensional tissue synchronization imaging in patients with heart failure scheduled for cardiac resynchronization therapy*. Am J Cardiol, 2008. **101**(7): p. 1023-9.
163. Cook, S.C., P.C. Dyke, and S.V. Raman, *Management of adults with congenital heart disease with cardiovascular computed tomography*. Journal of Cardiovascular Computed Tomography, 2008. **2**(1): p. 12-22.
164. Einstein, A.J., M.J. Henzlova, and S. Rajagopalan, *Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography*. JAMA, 2007. **298**(3): p. 317-23.
165. Nicol, E.D., et coll., *Assessment of adult congenital heart disease with multi-detector computed tomography: beyond coronary lumenography*. Clin Radiol, 2007. **62**(6): p. 518-27.
166. Thomas, J.D. and D.N. Rubin, *Tissue harmonic imaging: why does it work?* J Am Soc Echocardiogr, 1998. **11**(8): p. 803-8.
167. Breen, J.F., *Imaging of the pericardium*. J Thorac Imaging, 2001. **16**(1): p. 47-54.
168. Araoz, P.A., et coll., *CT and MR imaging of benign primary cardiac neoplasms with echocardiographic correlation*. Radiographics, 2000. **20**(5): p. 1303-19.
169. Wang, Z.J., et coll., *CT and MR imaging of pericardial disease*. Radiographics, 2003. **23 Spec No**: p. S167-80.
170. Kirsch, J., et coll., *Prevalence and significance of incidental extracardiac findings at 64-multidetector coronary CTA*. J Thorac Imaging, 2007. **22**(4): p. 330-4.
171. Onuma, Y., et coll., *Noncardiac findings in cardiac imaging with multidetector computed tomography*. J Am Coll Cardiol, 2006. **48**(2): p. 402-6.
172. Haller, S., et coll., *Coronary artery imaging with contrast-enhanced MDCT: extracardiac findings*. AJR Am J Roentgenol, 2006. **187**(1): p. 105-10.
173. Schragin, J.G., et coll., *Non-cardiac findings on coronary electron beam computed tomography scanning*. J Thorac Imaging, 2004. **19**(2): p. 82-6.
174. Hunold, P., et coll., *Prevalence and clinical significance of accidental findings in electron-beam tomographic scans for coronary artery calcification*. Eur Heart J, 2001. **22**(18): p. 1748-58.
175. Horton, K.M., et coll., *Prevalence of significant noncardiac findings on electron-beam computed tomography coronary artery calcium screening examinations*. Circulation, 2002. **106**(5): p. 532-4.
176. Mueller, J., et coll., *Cardiac CT angiography after coronary bypass surgery: prevalence of incidental findings*. AJR Am J Roentgenol, 2007. **189**(2): p. 414-9.
177. Law, Y.M., et coll., *Prevalence of significant extracoronary findings on multislice CT coronary angiography examinations and coronary artery calcium scoring examinations*. J Med Imaging Radiat Oncol, 2008. **52**(1): p. 49-56.
178. Dewey, M., et coll., *Non-cardiac findings on coronary computed tomography and magnetic resonance imaging*. Eur Radiol, 2007. **17**(8): p. 2038-43.
179. Budoff, M.J., et coll., *ACCF/AHA clinical competence statement on cardiac imaging with computed tomography and magnetic resonance*. Circulation, 2005. **112**(4): p. 598-617.
180. Kerl, J.M., et coll., *Right heart: split-bolus injection of diluted contrast medium for visualization at coronary CT angiography*. Radiology, 2008. **247**(2): p. 356-64.
181. Kerl, J.M., et coll., *Coronary CTA: image acquisition and interpretation*. J Thorac Imaging, 2007. **22**(1): p. 22-34.
182. Shuman, W.P., et coll., *Prospective versus retrospective ECG gating for 64-detector CT of the coronary arteries: comparison of image quality and patient radiation dose*. Radiology, 2008. **248**(2): p. 431-7.
183. Earls, J.P., et coll., *Prospectively gated transverse coronary CT angiography versus retrospectively gated helical technique: improved image quality and reduced radiation dose*. Radiology, 2008. **246**(3): p. 742-53.
184. Hausleiter, J., et coll., *Radiation dose estimates from cardiac multislice computed tomography in daily practice: impact of different scanning protocols on effective dose estimates*. Circulation, 2006. **113**(10): p. 1305-10.

185. Schoepf, U.J., et coll., *Coronary CT angiography*. *Radiology*, 2007. **244**(1): p. 48-63.
186. Siegel, M.J., et coll., *Radiation dose and image quality in pediatric CT: effect of technical factors and phantom size and shape*. *Radiology*, 2004. **233**(2): p. 515-22.
187. Cheng, V., et coll., *Moving beyond binary grading of coronary artery stenoses on coronary computed tomography: insights for the imager and referring clinician*. *Journal of the American College of Cardiology Cardiovascular Imaging*, 2008. **1**(4): p. 460-471.