

Disponible en ligne sur
ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
EM|consulte
www.em-consulte.com



Mise au point

Scanner cardiaque : intérêt dans le bilan des douleurs thoraciques, dans le dépistage cardiovasculaire et dans le bilan pré-ablation de fibrillation auriculaire



Cardiac CT-Scan: Utility for the management of chest pain, cardiovascular screening and before atrial fibrillation ablation procedure

A. Pasteur-Rousseau^{a,*}, F. Sebag^b

^a Institut Cœur Paris Centre, clinique Turin, Clinique internationale du Parc Monceau, clinique Floréal, 31, rue du Petit-Musc, 75004 Paris, France

^b Institut mutualiste Montsouris, Clinique Turin, Paris, France

INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 2 septembre 2020

Accepté le 18 septembre 2020

Disponible sur Internet le 16 octobre 2020

Mots clés :

Coroscanner
Scanner cardiaque
Scanner coronaire
Score calcique
Athérosclérose
Maladie coronaire
Prévention cardiovasculaire
Fibrillation auriculaire
Ablation de fibrillation auriculaire
Veines pulmonaires

RÉSUMÉ

Le scanner coronaire est indiqué dans le bilan de douleurs thoraciques chez tous les patients avec une préférence pour ceux ayant un risque faible à intermédiaire de coronaropathie. Les études récentes ont complété cette indication en démontrant sa fiabilité dans le bilan de douleurs thoraciques chez les patients à haut risque de coronaropathie, notamment dans le syndrome coronaire aigu (SCA) sans élévation du segment ST. Il apparaît également intéressant et prometteur pour le dépistage cardiovasculaire en prévention primaire chez un patient porteur de facteurs de risque cardiovasculaire, permettant ainsi d'ajuster la stratégie préventive et notamment le traitement par statine, ainsi que pour le suivi du coronarien stenté ou ponté. Le score calcique a démontré être un marqueur prédictif du risque de mortalité, cardiovasculaire et totale, indépendant des autres facteurs de risque connus et son usage est recommandé dans la stratification du risque cardiovasculaire. Cependant, son interprétation reste délicate de même que le changement dans la prise en charge que le résultat implique pour le patient. Un score calcique supérieur à zéro marque la présence d'une athérosclérose coronaire et doit faire discuter un traitement hypolipémiant. Dans le cadre du bilan pré-TAVI, le scanner cardiaque est devenu le *gold standard* pour la mesure de l'anneau aortique et le choix de la prothèse à implanter, ainsi que pour toutes les mesures réglementaires avant la procédure. Enfin, le bilan pré-ablation de fibrillation auriculaire comprend désormais un scanner cardiaque permettant d'éliminer un thrombus de l'oreillette gauche ou de l'auricule gauche, de rechercher un retour veineux pulmonaire anormal et de fournir un support 3-D pour la navigation lors de la procédure rythmologique interventionnelle d'ablation.

© 2020 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

ABSTRACT

Keywords:

Coronary CT-Scan
Cardiac scanner
Coronary scanner
Calcium scoring
Atherosclerosis
Coronary artery disease
Cardiovascular prevention
Atrial Fibrillation
Atrial Fibrillation Ablation
Pulmonary vein isolation

Cardiac CT-scan is recommended for sorting patients presenting with stable or acute chest pain with low to intermediate risk of coronary artery disease (CAD). Recent studies have shown its reliability for diagnosing CAD in high-risk patients, notably those with acute coronary syndrome (ACS) without ST-elevation. Coronary CT-scan also represents a great opportunity for the screening of atherosclerosis in patients at risk and allows a better prevention of coronary artery disease by introduction of preventive treatments in patients with abnormal coronary CT-scan, especially statins. It is useful for the follow-up of patients who underwent a coronary arteries revascularization with either stents or bypasses. Coronary arteries calcium scoring appears to be an independent predictive factor of cardiovascular and total mortality and its use is recommended for stratifying the cardiovascular risk. However, its interpretation remains unobvious and the patient management is poorly improved by the results. Anyway, if the score is above

* Auteur correspondant.

Adresses e-mail : adrien.pasteur@gmail.com (A. Pasteur-Rousseau), dr.fsebag@gmail.com (F. Sebag).

zero, atherosclerosis is present and therefore a lipid lowering treatment should be discussed. Cardiac CT-scan has become the Gold Standard exam before an aortic valve replacement, for the measurement of the aortic root notably, allowing the best prosthesis selection. Before atrial fibrillation ablation procedure by pulmonary vein isolation, the cardiac CT-scan allows a 3-D visualization of the two atria, especially the left atrium, and rules out any suspicion of cardiac thrombus. It allows the research of an anomalous pulmonary venous connection. The 3-D support will also enable the operator to navigate in the heart during the ablation procedure.

© 2020 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

1. Abréviations

ACS	acute coronary syndrome
AurG	auricule gauche
CAD	coronary artery disease
ESC	European Society of Cardiology, société européenne de cardiologie
ETT	Echocardiographie trans thoracique
FA	fibrillation auriculaire
HR	<i>hazard ratio</i>
IDM	infarctus du myocarde
IRM	investigation par résonance magnétique
IVA	interventriculaire antérieure
MESA	Multi Ethnic Study of Atherosclerosis
OG	oreillette gauche
RAC	rétrécissement aortique calcifié
RHD	règles hygiénodétiétiques
SAU	service d'accueil des urgences
SCA	syndrome coronaire aigu
SCA ST-	syndrome coronaire aigu sans élévation du segment ST
TAVI	trans aortic valve implantation
TCVPD	tronc commun veineux pulmonaire droit
TCVPG	tronc commun veineux pulmonaire gauche
TDM	tomodensitométrie
UA	Unité(s) Agatston
UH	Unités Hounsfield
VP	veines pulmonaires
VPIC	veine pulmonaire inférieure gauche
VPID	veine pulmonaire inférieure droite
VPIG	veine pulmonaire inférieure gauche
VPintD	veine pulmonaire moyenne droite (intermédiaire)
VPSD	veine pulmonaire supérieure droite
VPSG	veine pulmonaire supérieure gauche
VPtopD	veine pulmonaire top droite se vidant dans le toit de l'OG

2. Le scanner cardiaque dans l'étude morphologique cardiaque et particulièrement coronaire

2.1. Le scanner cardiaque

Le scanner cardiaque est un examen d'imagerie non-invasif dont les indications se sont progressivement élargies et qui est devenu un outil de routine pour le cardiologue, au même titre que l'échocardiographie ou l'IRM cardiaque.

Le coroscanner permet une étude précise des artères coronaires et notamment de leur paroi, à la recherche d'athérome, voire de sténoses, tandis que le scanner cardiaque en général permet l'étude morphologique cardiaque, à la recherche de thrombi intra-cardiaques, de communications interventriculaires ou interauriculaires, de malformations diverses. Les études en cours devraient également voir aboutir la mise au point du scanner cardiaque de stress sous Persantine et des scanners cardiaques à la recherche de fibrose (myocardite, amylose), domaines

actuellement détectés uniquement par l'IRM cardiaque. À noter, bien évidemment, le formidable développement du scanner cardiaque et de l'aorte dans le cadre du bilan pré-TAVI (*trans aortic valve implantation*) dans le rétrécissement aortique calcifié (RAC) serré, qui ne sera pas développé ici, et dans le bilan avant ablation de fibrillation auriculaire (FA). Après avoir discuté les avantages du coroscanner dans la prise en charge des douleurs thoraciques et dans la prévention cardiovasculaire primaire et secondaire, ses limites et son degré d'irradiation actuel, nous exposerons l'intérêt du scanner cardiaque dans le bilan pré-ablation de FA.

2.2. Le coroscanner dans la prise en charge des douleurs thoraciques

2.2.1. Performances diagnostiques

La première indication du coroscanner est le bilan de douleurs thoraciques chez les patients tout venant selon les recommandations ESC 2019 [1] avec une classe I et un niveau de preuve B, à égalité avec les tests d'ischémie fonctionnels mais à préférer chez les patients dont le diagnostic de coronaropathie est relativement peu probable. Mais, récemment, le coroscanner a également fait ses preuves chez des patients à forte probabilité de coronaropathie et notamment dans le contexte de syndrome coronaire aigu sans sus-décalage du segment ST (SCA ST-). Dans une importante observationnelle de l'étude VERDICT [2], publiée dans le JACC en 2020 et concernant 1023 patients, le coroscanner était systématiquement réalisé avant la coronarographie chez des patients étiquetés SCA ST- et ses résultats étaient analysés en aveugle de ceux de la coronarographie. La question posée était celle des performances diagnostiques du coroscanner pour éliminer une sténose coronaire d'au moins 50 % en prenant pour référence la coronarographie. Le coroscanner obtenait ainsi de très bons scores : valeur prédictive négative à 90,9 %, valeur prédictive positive à 87,9 %, sensibilité à 96,5 % et spécificité à 72,4 %.

On retient bien évidemment la valeur prédictive négative excellente du coroscanner, déjà bien connue, qui permet d'éliminer avec un haut degré de certitude une coronaropathie significative devant une douleur thoracique suspecte. Mais on retient également une haute sensibilité qui, elle, est suggestive d'un bon outil de dépistage de sténoses coronaires. La spécificité pourrait être meilleure mais cette dernière n'est pas nécessaire à un examen de dépistage mais plutôt à un examen de confirmation diagnostique.

Le premier atout de cette étude est de confirmer la valeur diagnostique du coroscanner dans la recherche de sténoses coronaires, notamment dans les suspicions de SCA. Ce sont donc des patients avec une probabilité prétest très élevée de coronaropathie. Le deuxième atout est de poser la question d'une utilisation large du coroscanner dans un service de type service d'accueil des urgences (SAU) pour trier les douleurs thoraciques potentiellement cardiaques, à condition de pouvoir répondre à la question de la disponibilité.

De façon intéressante, dans cette étude, seuls deux tiers des patients (67 %) classés SCA ST- avaient effectivement des sténoses

coronaires nécessitant une revascularisation à la coronarographie alors qu'ils avaient tous été triés aux urgences comme SCA ST— et ont donc tous été adressés en coronarographie. Donc, en pratique, un tiers de ces patients recevait inutilement des anticoagulants et des antiagrégants avec les risques hémorragiques concomitants et avait un geste invasif inutile et potentiellement dangereux.

Cette étude démontre ainsi que le Coroscanner est utile à la prise en charge des patients avec suspicion de SCA ST— et qu'il peut potentiellement éviter des coronarographies inutiles (sans geste de revascularisation), des traitements antiagrégants et anticoagulants inutiles et potentiellement dangereux. Surtout, il élargit la gamme des possibles par rapport aux recommandations actuelles. En effet, les recommandations ESC 2019 [1] pour les syndromes coronaires chroniques, c'est-à-dire les coronaropathies non-SCA recommandent d'utiliser le coroscanner comme un outil diagnostique chez les patients ayant une probabilité faible à intermédiaire de coronaropathie. L'étude VERDICT prouve qu'on peut également le réaliser chez des patients ayant une probabilité élevée à très élevée de coronaropathie puisqu'il permettra, d'une part, d'éviter des coronarographies inutiles et d'identifier de l'athérome, d'autre part, ce qui modifie la prise en charge du patient. Fort heureusement, les recommandations ESC 2020, se basant notamment sur l'étude VERDICT, font la part belle au coroscanner dans la prise en charge des SCA ST-. En conclusion, le coroscanner peut être utilisé de façon large dans la stratification des douleurs thoraciques chez les patients, quel que soit leur niveau de risque cardiovasculaire puisqu'il évitera environ un tiers de coronarographies inutiles chez les patients à probabilité pré-test élevée de coronaropathie. Reste, encore une fois, la question de sa disponibilité. Il est beaucoup plus rapide, aujourd'hui en France, d'obtenir une coronarographie qu'un Coroscanner.

2.2.2. Valeur pronostique du Coroscanner

L'étude SCOT-HEART [3] en 2018 avait créé la surprise en démontrant une amélioration du pronostic des patients explorés par scanner coronaire en cas de douleurs thoraciques d'effort de type angor stable versus une prise en charge classique avec test d'ischémie, principalement des ECG d'effort. Ainsi, 4146 patients avaient été inclus avec un suivi moyen de 4,8 années soit un suivi de 20,254 patients-années. Le groupe contrôle (2073 patients) était pris en charge de façon « conventionnelle », c'est-à-dire avec un test d'ischémie de type ECG d'effort, scintigraphie myocardique de stress, IRM cardiaque de stress, échocardiographie de stress. Le groupe « CTA » (2073 patients) bénéficiait d'un coroscanner systématique au début de la prise en charge après la randomisation, avec le même pourcentage de tests d'ischémie dans les deux groupes. Ainsi, de façon comparable, 85 % des patients avaient bénéficié d'un ECG d'effort, 10 % d'une scintigraphie myocardique et moins de 5 % d'une IRM de stress ou d'une ETT de stress. À noter aussi qu'en termes de traitement préventif, à l'inclusion, 43 % des patients étaient déjà sous statine et 48 % sous antiagrégant, les deux groupes randomisés étant parfaitement comparables. Le traitement et le suivi des patients était ensuite conventionnel et basé sur les résultats des examens paracliniques. Le critère de jugement principal composite y était la survenue d'un infarctus du myocarde (IDM) ou d'un décès de cause cardiovasculaire. La diminution du risque relatif était de 41 % (HR 0,59, 95 % CI : 0,41 to 0,84 ; p = 0,004) et celle du risque absolu était de 1,6 % (2,3 % versus 3,9 %) pour ce critère de jugement principal. Le nombre de coronarographies était comparable entre les deux groupes (HR 1,00 ; 95 % CI : 0,88 à 1,13) mais elles étaient chronologiquement plus précoces dans le groupe CTA. Le critère composite secondaire, composé de décès de cause cardiovasculaire, infarctus du myocarde non-fatal ou AVC non-fatal était diminué de 35 % (HR 0,65, 95 % CI : 0,47–0,89). L'IDM non-fatal était abaissé de 40 % (HR 0,60, 95 % CI : 0,41–0,87), l'AVC non-fatal était diminué de façon non-significative de 26 % (HR 0,74, 95 %

CI : 0,38–1,44). Il n'y avait pas de différence statistiquement significative dans la mortalité totale (HR 1,02, 95 % CI : 0,67–1,55) ni dans la mortalité cardiaque (HR 0,46, 95 % CI : 0,14–1,48) ou cardiovasculaire c'est-à-dire cardiaque ou vasculaire (HR 0,43, 95 % CI : 0,15–1,22) probablement en raison d'un manque de puissance puisqu'on ne dénotait que 13 décès de cause cardiovasculaire en 5 ans, 4 dans le groupe « CTA » et 9 dans le groupe conventionnel. Des études plus puissantes avec des durées de suivi plus longues seraient intéressantes pour pouvoir conclure.

Comment expliquer que les patients pris en charge avec un Coroscanner initial aient eu un meilleur pronostic que les patients pris en charge conventionnellement ? La diminution des événements cardiovasculaires dans l'étude SCOT-HEART était due à l'initiation de thérapies préventives par hypolipémiants et antiagrégants plaquettaires (*odds ratio*, 1,40 ; 95 % CI : 1,19–1,65) et davantage de prescription d'anti-angineux (*odds ratio*, 1,27 ; 95 % CI : 1,05–1,54). Enfin, l'étude était financée par le gouvernement écossais, ce qui éloigne la suspicion d'un lobby quelconque ; élément qu'il faut malheureusement aborder dans la triste période de défiance généralisée actuelle vis-à-vis de notre pratique médicale et de l'industrie pharmaceutique.

Cette étude suggère donc qu'une évaluation par coroscanner des douleurs thoraciques de type angineux permet d'améliorer le diagnostic et le pronostic des patients puisque des thérapies préventives seront mises en place et, si elle est nécessaire, la coronarographie, accompagnée ou non d'un geste de revascularisation, sera réalisée plus précocement dans la prise en charge du patient.

Le corollaire, plus choquant pour notre pratique quotidienne, est que la prise en charge conventionnelle, sans coroscanner, des douleurs thoraciques, avec par exemple un ECG d'effort, est une perte de chance pour le patient. Logiquement, les recommandations européennes de 2019 [1] ont disqualifié l'ECG d'effort dans le bilan des douleurs thoraciques.

2.2.3. Prévention cardiovasculaire primaire et Coroscanner

Le coroscanner a ceci de révolutionnaire qu'il ne permet pas seulement de détecter des sténoses, domaine dans lequel la Coronarographie reste la référence. Il n'est pas une coronarographie non-invasive. C'est bien plus que cela. Il combine les atouts de la coronarographie, avec une moindre résolution spatiale, et des techniques d'imagerie endocoronaire, notamment l'OCT ou l'échographie endocoronaire. Ainsi, il nous ouvre la porte, de façon non-invasive, sur le monde de la plaque d'athérome coronaire, calcifiée et surtout non-calcifiée, potentiellement fragile, voire instable. Cette particularité lui permet de prétendre au rôle d'examen de dépistage de l'athérome coronaire, tout comme l'échodoppler le fait pour les artères de gros calibre périphériques. Athérome ne veut pas dire sténose et encore moins sténose hémodynamiquement significative. Athérome veut dire risque cardiovasculaire élevé, en l'occurrence risque d'infarctus du myocarde. Cet examen est donc un formidable outil de screening du risque cardiovasculaire en démontrant la présence ou non d'une maladie athéroscléreuse coronaire et en indiquant son degré d'évolution. Il peut alors, de façon pertinente guider le traitement préventif. Pourquoi traiter les conséquences post-infarctus si on peut dépister les patients à risque d'en faire un, les traiter préventivement et éviter l'infarctus ? Naïf ? Pas forcément.

Le coroscanner figure actuellement dans la liste des examens à réaliser en prévention primaire chez des patients asymptomatiques à « haut risque » et « très haut risque » cardiovasculaire selon l'échelle SCORE mais avec une recommandation de classe IIb et un niveau de preuve C selon l'ESC 2019 [1]. Pour les patients à faible risque de coronaropathie, il est déconseillé en prévention primaire (classe III, niveau C). Rien n'est indiqué dans ces recommandations pour les patients à risque intermédiaire, potentiellement de bonnes cibles pour un screening. Ceci est dû au manque d'études

Tableau 1

Proposition de prise en charge des patients en prévention primaire selon le résultat du coroscanner.

Résultat du coroscanner en prévention primaire	Règles hygiéno-diététiques	Traitement hypolipémiant	Test d'ischémie localisateur (IRM de stress, ETT de stress)
Absence d'anomalie, coronaires normales	Oui	Non	Non
Athérome avec sténoses coronaires < 50 %	Oui	Oui	Non
Athérome avec sténoses coronaires > 50 %	Oui	Oui	Oui

de large ampleur réalisées jusqu'à présent dans cette indication. Etudes d'autant plus difficiles à réaliser qu'en prévention primaire le taux d'événements annuels est extrêmement faible et que des suivis très longs et donc très coûteux sont nécessaires pour espérer observer une différence entre deux groupes. Souvenons-nous par exemple d'études de prévention primaire sous statine comme AFCAPS/TexCAPS [4] où le taux d'événements durs (mortalité cardiovasculaire) à 5,2 ans de suivi oscillait entre 0,3 % et 0,5 % pour près de 7000 patients inclus. Dans cette étude, sous statine, le risque relatif d'événements cardiovasculaires était tout de même diminué de 37 % et celui d'infarctus du myocarde de 40 %, tous deux statistiquement significatifs ; mais la mortalité ne l'était pas. On se souvient également de l'étude MEGA [5] qui avait inclus plus de 7500 patients avec un suivi moyen de 5,3 ans pour des taux de mortalité cardiovasculaire entre 0,05 % et 0,07 % sans différence significative entre le groupe statine et le groupe contrôle (sous régime diététique seul) sur ce critère dur, malgré une diminution significative de 33 % du critère principal composite (IDM fatal ou non, décès de cause cardiovasculaire, mort subite, angor stable ou instable, revascularisation coronaire).

En prévention primaire, le nombre de patients à inclure est très important et le suivi doit être extrêmement long pour pouvoir espérer observer une différence au moins sur un critère composite. Pour ce qui est de la mortalité en prévention primaire, il est excessivement difficile de démontrer une baisse significative sous traitement hypolipémiant. Le coût d'une telle étude serait donc prohibitif.

Dans l'étude SCOT-HEART, décrite précédemment, un suivi de 5 ans a été nécessaire, l'évaluation initiale à 1,7 ans de suivi n'ayant pas été statistiquement concluante [6], et ce, chez des patients symptomatiques à haut risque cardiovasculaire, pour lesquels le taux d'événements cardiovasculaires à 5 ans s'est finalement situé entre 2 % et 4 % ; pour ces patients non-plus il n'y avait pas de différence sur le critère dur de mortalité.

De plus, dans le cas du coroscanner, la seule façon de mettre en évidence un bénéfice de cet examen sur le pronostic du patient serait de randomiser des patients ayant eu un coroscanner de dépistage en prévention primaire anormal. De randomiser ensuite un groupe traité par hypolipémiant et un groupe contrôle sans traitement et de suivre prospectivement dans le temps la survenue d'événements cardiovasculaires et/ou l'aggravation des sténoses. Outre le coût prohibitif d'une telle étude qui devrait durer des décennies, cela semble éthiquement difficilement réalisable étant donnée la perte de chance pour les patients non-traités par hypolipémiant.

Ainsi et dans l'état actuel de nos connaissances, le coroscanner n'est recommandé en prévention primaire par l'ESC en 2016 [7] puis en 2019 [8] que chez les patients à « haut risque cardiovasculaire » et « très haut risque cardiovasculaire » ainsi que chez les patients symptomatiques.

Pourquoi le coroscanner permettrait-il de faciliter la prise en charge des patients en prévention primaire ? Comme l'indique le Tableau 1, le coroscanner permet de ne se situer que dans trois cas de figure pour lesquels la prise en charge est simple et claire. Pour les patients ayant un coroscanner parfaitement normal sans athérome, un contrôle optimal de tous les facteurs de

risque et des règles hygiéno-diététiques (RHD) seront recommandés. Pour un coroscanner retrouvant des plaques athéromateuses déjà présentes mais inférieures à 50 %, et classant donc le patient au moins dans la catégorie à « haut risque cardiovasculaire », ces RHD seront à accompagner d'un traitement hypolipémiant avec un objectif de LDL-cholestérol inférieur à 0,70 g/L dans l'état actuel de nos connaissances. Enfin, pour un patient dont les plaques athéromateuses révélées par le coroscanner dépasseraient les 50 %, en sus des RHD et du traitement hypolipémiant, un test d'ischémie à valeur localisatrice de sûreté serait idéal pour compléter la prise en charge et éliminer une éventuelle ischémie focale.

Une prise en charge ainsi simplifiée et standardisée permettrait probablement d'améliorer la prévention cardiovasculaire en traitant à juste titre les patients dont le risque est élevé et améliorerait également l'adhésion du patient à son traitement, une fois les sténoses coronaires mises en évidence par l'imagerie et donc le risque pour le patient étant devenu tangible (Fig. 1–3).

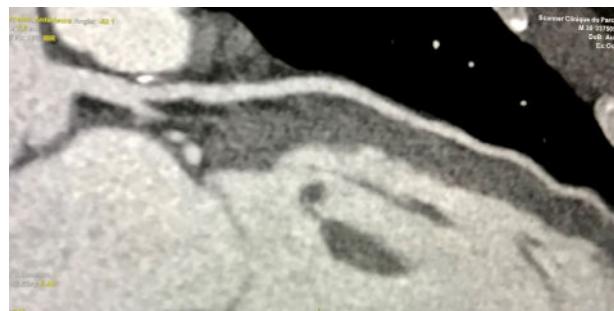


Fig. 1. Coroscanner, mode curviligne : plaque athéroscléreuse partiellement calcifiée réalisant une sténose estimée à 20 % de l'IVA chez un homme de 30 ans, en dépistage de prévention primaire. Indication à un traitement hypolipémiant + règles hygiéno-diététiques.



Fig. 2. Coroscanner, mode curviligne : sténose d'allure significative de l'IVA moyenne chez une patiente de 48 ans asymptomatique en dépistage de prévention primaire, sur une plaque hétérogène partiellement calcifiée. Indication à un traitement hypolipémiant, des RHD et un test d'ischémie à but localisateur. (En pratique, la patiente a eu une coronarographie avec FFR positive et a été stentée).

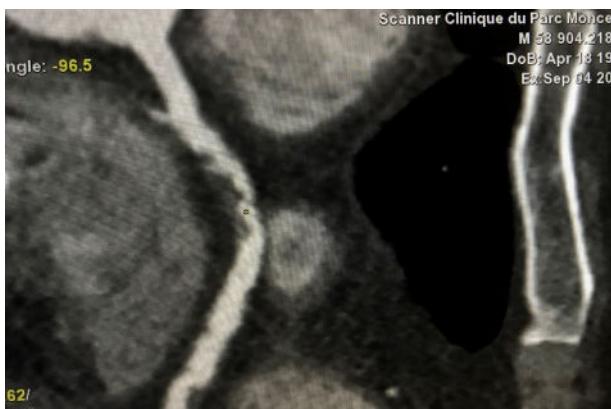


Fig. 3. Coroscanner, mode curviligne : plaque hypodense non-calcifiée réalisant une sténose d'allure intermédiaire à significative de la coronaire droite moyenne chez un patient de 58 ans asymptomatique, tabagique actif, en prévention primaire. Le patient a eu une IRM de stress positive au décours puis une angioplastie coronaire.

2.2.4. Score calcique et risque cardiovasculaire

Le score calcique se calcule grâce à la réalisation d'un scanner thoracique non-injecté avec synchronisation cardiaque. La quantité de calcium coronaire est définie par les unités Agatston (UA) du nom du radiologue dont l'équipe a inventé la méthode en 1990 [9], en se basant sur des pixels de densité supérieure ou égale à 130 unités Hounsfield avec au moins 3 pixels adjacents soit 1 mm^2 pour définir 1 UA. La méthode est manuelle, par contournage des zones où se trouvent les artères coronaires par l'opérateur, aidé par la suggestion informatique (déttection automatique des densités supérieures à 130 UH). Ainsi à 0 UA on parle d'absence de calcium coronaire décelable, entre 1 et 10 UA de calcifications minimes, de 11 à 100 UA de calcifications modérées, entre 101 et 400 UA de calcifications moyennes et à partir de 400 UA de calcifications sévères [10]. Le logiciel génère automatiquement un percentile de calcium, une statistique, qui permet de comparer le patient aux bases de données existantes selon son sexe, âge, origine ethnique. Au-delà du 75^e rang-centile le patient est considéré à haut risque quel que soit le score calcique obtenu [11]. En termes d'irradiation, la dosimétrie est la même que celle d'un coroscanner prospectif c'est-à-dire de l'ordre de 1 mSv, l'équivalent d'une mammographie [10] ou bien d'une dizaine de radiographies du thorax. C'est deux à trois fois moins que l'irradiation naturelle moyenne annuelle en France, estimée à 2,4 mSv. Le score calcique a l'avantage de ne pas nécessiter de perfusion, de produit de contraste, de dérivés nitrés ou de bradycardisant et d'être rapide à effectuer et à interpréter. C'est donc l'examen idéal pour les études épidémiologiques puisqu'il ne comporte aucun risque, hormis les rayons X. Cela explique le nombre très conséquent d'études sur le score calcique réalisées et donc la littérature abondante en ce sens (> 3700 articles sur Pubmed). Il a pour inconvénients d'être opérateur-dépendant (comme le coroscanner) et de ne pas détecter les plaques athéromateuses isodenses ou hypodenses, fibro-lipido-nécrotiques, potentiellement instables. Contrairement au coroscanner, la littérature ne manque donc pas et les différentes études pronostiques ont montré une augmentation statistique du risque cardiovasculaire et de la mortalité lorsque ce score calcique augmente. Il n'y a par ailleurs pas de seuil clair pour statuer, les études ayant été assez hétérogènes. Il n'y a pas de relation linéaire entre le niveau de calcification comme une variable continue et le risque cardiovasculaire, comme c'est par exemple le cas avec un facteur de risque comme le LDL-cholestérol.

Il en ressort globalement qu'un score calcique à zéro apparaît protecteur par rapport à un score calcique supérieur à zéro [12]

comme en atteste une étude montrant qu'à 14,6 ans de suivi moyen, la mortalité dans le groupe de patients ayant un score calcique initialement à 0 UA était de 4,9 % contre une mortalité à 16,3 % pour les patients ayant un score calcique > 0 UA ($p < 0,001$). Les auteurs en concluaient à une sorte de garantie du score calcique calculé à zéro car, en divisant la mortalité par les 15 ans de suivi, ce résultat est inférieur à 1 % par an dans le groupe de score calcique à zéro. Les auteurs appelaient cela la « garantie zéro ». De façon pragmatique, parmi l'hétérogénéité des études réalisées, et en se basant principalement sur les études de la Multi Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA) [13], les recommandations ESC 2019 [8] ont choisi un seuil de 100 Unités Agatston (UA) de score calcique pour augmenter d'une catégorie de risque le patient asymptomatique screené. Un patient à « faible risque » deviendra ainsi un patient à « risque intermédiaire ». Un patient à « risque intermédiaire » deviendra ainsi à « haut risque ». De façon pratique, cela implique qu'une statine sera dans tous les cas nécessaire si le score calcique est supérieur à 100 UA puisque pour le « risque faible » l'objectif ESC 2019 [8] est déjà un $\text{LDLc} < 1,16 \text{ g/L}$ (avez-vous beaucoup de patients avec un LDLc spontanément inférieur à $1,16 \text{ g/L}$ dans votre patientèle ?), que pour le « risque intermédiaire » l'objectif de LDLc est $< 1,0 \text{ g/L}$ et que pour le « risque élevé » l'objectif de LDLc est $< 0,70 \text{ g/L}$. La moyenne gaussienne étant, dans la population française comme occidentale en général, autour de $1,30 \text{ g/L}$ pour le LDLc , il faudra nécessairement faire baisser ce dernier. Mais on peut se demander s'il ne serait au final pas plus pertinent de retenir le seuil de 1 UA [14] pour classer ces patients. En effet, dès que l'on sait que du calcaire est présent dans les coronaires, donc que nous avons une preuve d'athérosclérose coronaire chez un patient, sommes-nous encore en prévention primaire ?

2.2.5. Dépistage cardiovasculaire et irradiation

À ce stade, il est nécessaire de se poser la question de la balance bénéfice-risque du scanner cardiaque. Le coût de l'irradiation est-il acceptable pour dépister l'athérosclérose coronaire ? Nous savons que des examens non-irradiants peuvent dépister l'athérosclérose à d'autres localisations et l'on pense bien évidemment à l'échodoppler des troncs supra-aortiques et de l'aorte ainsi que des membres inférieurs qui visualisent des plaques athéromateuses calcifiées ou non.

Il n'existe pas pour le moment d'examen morphologique coronaire non-irradiant fiable, la résolution de l'IRM cardiaque ne permettant actuellement pas d'évaluer des artères de calibre compris entre 1 et 4 mm (voxel compris entre 1 et 2 mm). Cependant, le scanner coronaire a tellement progressé en termes d'irradiation en dix ans [15] qu'il n'y a plus aujourd'hui de frein à son utilisation large. Il traîne tel une boulet sa réputation d'examen « trop irradiant et peu performant » alors que les doses ont été divisées par un facteur 10 à 20 en dix ans et que sa résolution a tellement progressé qu'elle lui permet de détecter des plaques athéromateuses et des sténoses sur les sous-branches coronaires (diagonales, marginales, interventriculaire postérieure ou rétroventriculaire postérieure). Sans parler des protocoles en cours d'évaluation qui, à performance diagnostique égale, ont montré diminuer encore la dosimétrie de 30 %, ou bien, à dosimétrie égale, permettent d'augmenter la performance diagnostique de 30 %. Aujourd'hui, réserver cet examen à un patient jeune et mince à risque nul de coronaropathie est comme utiliser une voiture de sport pour son allume-cigarette.

L'ironie est que le coroscanner peut aujourd'hui être moins irradiant que le score calcique, alors même que ce dernier a bâti sa réputation sur sa faible irradiation ! L'irradiation d'un coroscanner prospectif est habituellement de 1 mSv soit l'équivalent d'une mammographie, environ 20 fois moins qu'une scintigraphie myocardique. La dosimétrie d'un coroscanner prospectif réalisé dans de bonnes conditions est équivalente, voire inférieure à celle du score

calcique avec une dose minimum de 0,3 mSv pour le coroscanner et de 0,7 mSv pour le score calcique. On ne peut donc plus, en 2020, considérer l'irradiation comme un frein à l'utilisation du coroscanner en dépistage à grande échelle de la maladie coronaire quel que soit son stade d'évolution. Un programme national de dépistage de masse pour les hommes à partir de 40 ans et les femmes à partir de 50 ans pourrait même se discuter, à l'image du dépistage du cancer du sein chez la femme et du cancer du côlon chez l'homme et la femme. En effet, pour remplir les conditions d'un programme de dépistage, il faut qu'il y ait une maladie potentiellement grave, voire mortelle, que son diagnostic précoce permette d'améliorer le pronostic, qu'il existe un moyen de dépister précocement cette maladie et que le moyen diagnostique soit acceptable en termes de balance bénéfice/risque ; et enfin qu'il existe un traitement curatif. La maladie coronaire et le coroscanner ne remplissent-ils pas ces conditions ?

2.2.6. Limites techniques du scanner cardiaque

Comme tout examen, le coroscanner a ses limites, cependant ces limites de faisabilité ont été très largement repoussées en dix ans et un patient pour lequel l'examen aurait été impossible il y a encore quelques années est tout à fait éligible aujourd'hui pour sa réalisation. Plus le matériel est performant, mieux votre patient est préparé, plus le nombre de patients éligibles s'approche des 100 %. Evidemment, les patients ayant une insuffisance rénale sévère ou un antécédent d'allergie grave à un produit de contraste iodé ne seront pas éligibles.

En revanche, les autres contre-indications ou non-indications classiques ont globalement disparu. Ainsi, il n'y a aucune limite d'âge pour la réalisation du coroscanner car l'âge n'est pas forcément synonyme de calcifications coronaires et même lorsque des calcifications sont présentes elles ne gênent pas nécessairement l'interprétation globale de l'examen. Tout au plus peut-on avoir 10 % à 15 % du territoire coronaire non-conclusif dans certains cas.

De même, il n'y a plus aujourd'hui aucun rationnel pour effectuer un score calcique en premier et décider, en fonction de son résultat, de la réalisation ou non d'un coroscanner. Un score calcique élevé ne rend pas l'examen ininterprétable, tout dépend de comment le calcium est réparti et, de plus, sa réalisation ajoute de l'irradiation inutile. Rappelons-nous que le coroscanner prospectif est aujourd'hui aussi irradiant, voire moins irradiant, que le score calcique. Ajouter un score calcique à un coroscanner, c'est doubler volontairement la dose de rayons X administrée au patient. Si l'on veut un marqueur de risque statistique on réalise un score calcique. Si on veut rechercher de l'athérome, voire des sténoses coronaires on réalise un coroscanner.

L'arythmie, telle la fibrillation auriculaire, n'est plus une contre-indication à la réalisation d'un coroscanner, mais elle impose soit de disposer d'un scanner multi-détecteurs (256 à 300 barrettes) pour faire l'acquisition sur un seul battement cardiaque, soit d'effectuer une acquisition rétrospective (donc beaucoup plus irradiante) et reconstruire secondairement les images en fonction des systoles imprévisibles du patient, avec une qualité sub-optimale. Pour les patients en arythmie, il faut donc privilégier les centres équipés d'un scanner multi-détecteurs.

La présence de sondes de Pace-Maker peut éventuellement gêner un peu l'interprétation de la coronaire droite mais les artefacts sont généralement assez modérés pour ne pas compromettre l'interprétation globale de l'examen.

La claustrophobie n'est généralement pas problématique au scanner comme elle l'est pour les IRM. Cependant, le patient incapable de rester immobile et de tenir une apnée ne pourra pas réaliser l'examen, par exemple un patient dément ou confus ou dont l'état respiratoire est trop précaire pour envisager une apnée d'une dizaine de secondes.

2.2.7. Prévention cardiovasculaire secondaire et Coroscanner

Chez les patients ayant déjà bénéficié d'une revascularisation coronaire par stent ou pontage, le coroscanner permet d'apporter une information morphologique mais non-fonctionnelle (pour le moment, l'étude fonctionnelle étant en cours). La visualisation des stents est généralement bonne, ainsi que celle de leur lumière, notamment pour les stents d'au moins 2 mm de diamètre. Le suivi des pontages est aisément réalisable, leur anastomose distale est bien visualisée ainsi que les différents « montages » effectués par le chirurgien. La stratégie consistant à réaliser un coroscanner avant une coronarographie permet d'ailleurs de réduire la dosimétrie et la dose d'iode totale dans l'étude des pontages coronaires, le coronarographe sachant déjà où il va [16]. Cependant, pour suivre l'intégralité des pontages mammaires internes, la fenêtre d'exploration est nettement plus importante puisqu'il faut aller chercher la naissance des artères mammaires internes au niveau des artères sous-clavières et donc l'irradiation augmente en conséquence, nécessitant de débuter l'acquisition au-dessus des clavicules.

En prévention secondaire, le coroscanner sert donc à vérifier l'absence de signe d'obstruction d'un stent ou la sténose d'un pontage, pour éviter une dosimétrie importante en coronarographie. Les tests d'ischémie localisateurs font aussi bien, voire mieux que le coroscanner puisqu'une zone d'ischémie oriente plus clairement chez ces patients vers la nécessité d'une éventuelle revascularisation que l'étude morphologique artérielle coronaire seule.

Pour se projeter vers le futur, le coroscanner est actuellement étudié dans l'indication de test d'ischémie. Le protocole comprend une première acquisition morphologique classique permettant de visualiser les artères coronaires. Puis une épreuve d'ischémie sous Persantine (comme une IRM de stress ou une scintigraphie de stress) avec des acquisitions successives en mode perfusion lors d'une seconde administration de produit de contraste, de façon identique à une IRM de stress par exemple. La sommation informatique des densités d'images cardiaques lors de l'arrivée du produit de contraste iodé permet de mettre en place une cartographie de perfusion du myocarde avec un code couleur. L'exemple ci-dessous illustre une hypoperfusion dans le territoire de l'IVA, sténosée. L'avantage est de pouvoir ainsi faire un tout-en-un c'est-à-dire de bénéficier d'un examen morphologique et fonctionnel (comme une coronarographie avec FFR). Les inconvénients sont la seconde dose d'iode administrée ainsi que des doses de rayons supplémentaires pour l'acquisition de la séquence de perfusion. Il faudra attendre les résultats des études en cours pour envisager cette technique parmi la panoplie des possibilités du coroscanner (Fig. 4-6).

3. Le scanner cardiaque avant procédure d'ablation de fibrillation auriculaire

3.1. Introduction sur l'ablation de fibrillation auriculaire

L'isolement des veines pulmonaires par cathéter est devenu un traitement accepté de la fibrillation atriale (FA) [17], basé sur l'observation que l'activité électrique dans les veines pulmonaires peut servir à déclencher la FA [18]. Pour effectuer cette procédure avec succès et en toute sécurité, il faut connaître l'anatomie de l'oreillette gauche (OG) et des veines pulmonaires (VP). Les premières procédures d'ablation utilisaient la fluoroscopie (parfois aidée par une injection de contraste), fournissant des détails anatomiques limités en ce qui concerne l'anatomie des structures pertinentes. Au fur et à mesure de l'évolution de l'ablation par cathéter pour la FA, il est devenu de plus en plus clair qu'une compréhension détaillée de l'anatomie des OG et des VP d'un patient pouvait faciliter la procédure d'ablation et réduire le risque

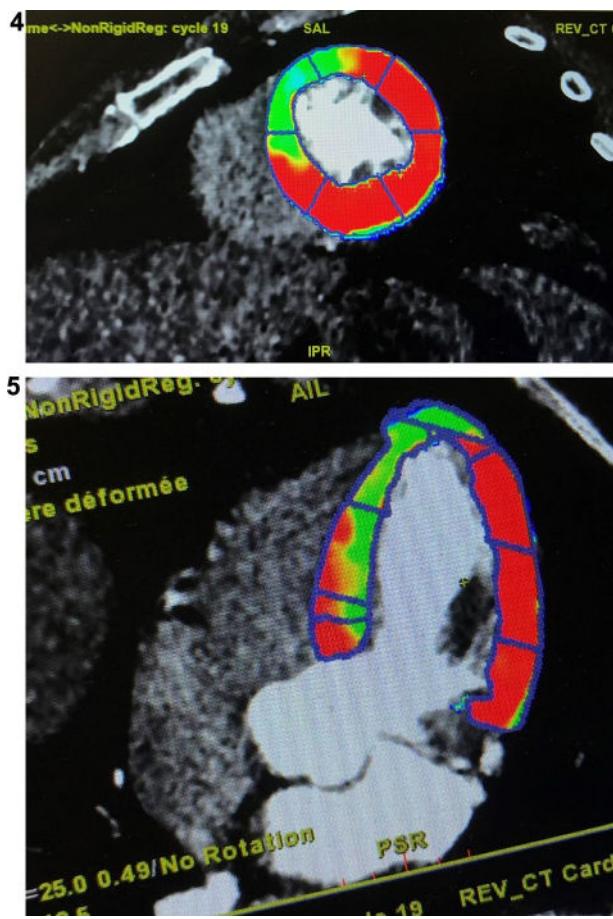


Fig. 4 et 5. Coroscaner, mode reformat : exemple de coroscaner sous Persantine avec évaluation fonctionnelle de la perfusion myocardique. En rouge une perfusion myocardique normale, en vert une hypoperfusion dans le territoire de l'IVA.

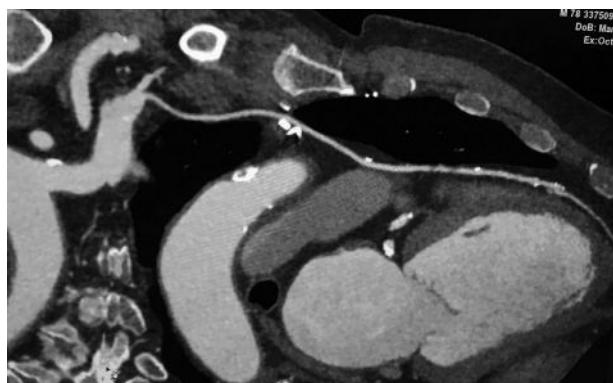


Fig. 6. Coroscaner, mode curviligne : image représentant un pontage utilisant une artère mammaire interne gauche anastomosée sur IVA chez un patient de 78 ans. Le trajet du pontage ainsi que l'anastomose distale sont bien visualisés.

de complications telles que la sténose de la veine pulmonaire. L'investigation par résonance magnétique (IRM) et la tomographie par ordinateur (TDM) aussi nommée scanner, peuvent produire des images très précises délimitant l'anatomie des OG, des VP et des structures environnantes. Les progrès récents dans l'intégration d'images ont permis la fusion des images OG/VP de l'IRM ou du scanner préprocédural avec des cartes électroanatomiques en temps réel, permettant la visualisation directe de la position du cathéter dans les images IRM ou TDM [19]. Des variantes ana-

tomiques des OG et des VP ont été identifiées par ces études d'imagerie qui ont des implications concrètes pour la procédure d'ablation par cathéter. Dans cette revue, nous résumons l'anatomie commune et rare de l'OG et des VP, et décrivons également les stratégies d'ablation qui peuvent être utilisées lorsque ces variantes anatomiques sont rencontrées.

3.2. Structure typique des veines pulmonaires

L'anatomie des veines pulmonaires la plus courante implique 4 veines pulmonaires : 2 à gauche et 2 à droite. Ce schéma a été rapporté dans diverses séries chez : 56 % des 105 patients atteints de FA imagés par IRM [20], 62 % des 55 patients (environ 1/2 atteints de FA) imagés par IRM [21], et 81 % des 58 patients atteints de FA imagés par TDM [22]. En règle générale, les veines pulmonaires supérieures (gauche et droite) sont plus dirigées vers l'avant par rapport aux veines pulmonaires inférieures (Fig. 7).

3.3. Taille et type de veine pulmonaire

La plupart des études de taille VP ont rapporté des diamètres ostiaux allant d'environ 7 à 25 mm dans le cadre de l'anatomie VP typique [20–26]. Certaines études ont rapporté que les veines supérieures ont un diamètre ostial plus grand que les veines inférieures [20,22–24] tandis que d'autres études ont rapporté une taille ostiale similaire pour l'ostium veineux supérieur versus inférieur [21,25]. Lorsque l'anatomie des VP est typique, les ostias de la veine pulmonaire droite ont été rapportés comme légèrement plus grands qu'à gauche dans la plupart des études [20,23–25] et comparables dans une autre étude [21], bien qu'une comparaison statistique rigoureuse n'ait pas été effectuée entre les veines ostiales gauche et droite. Certains écarts pourraient être expliqués par la constatation qu'il existe une ovalité substantielle des ostias de la veine pulmonaire [24–26] qui pourrait affecter la mesure du diamètre ostial en fonction de l'axe utilisé pour la mesure. Il a également été constaté qu'il y avait une plus grande ovalité des veines gauches par rapport à la droite, avec des rapports d'ovalité de 1,4 à 1,5 à gauche contre 1,2 à droite [24], peut-être liée à un effet « compressif » de la crête séparant les veines pulmonaires gauches de l'appendice atrial gauche (AurG), ainsi que la compression des veines pulmonaires gauches (en particulier la veine pulmonaire inférieure gauche) par l'aorte (Fig. 8, 9).

Il existe également une variation substantielle de la distance entre les veines pulmonaires droite et gauche. La distance entre l'orifice de la veine pulmonaire supérieure droite (VPSD) et de la veine pulmonaire supérieure gauche (VPSG) est en moyenne de 33 ± 11 mm, mais avec une grande variation entre les patients atteints de FA, allant de 10 à 66 mm. La distance entre l'orifice de la veine pulmonaire inférieure droite (VPID) et de la veine pulmonaire inférieure gauche (VPIG) est similaire soit 39 ± 12 mm et montre également une grande variabilité interpatient, allant de 17 à 71 mm [24].

3.4. Les stratégies d'ablation de FA

Avec une anatomie des VP typique, des encerclements sont généralement réalisés autour de l'antre de chaque ensemble de veines pulmonaires, dans le but d'obtenir une isolation électrique de ces veines. Si les crêtes séparant les veines pulmonaires supérieures et inférieures sont suffisamment larges, une autre ablation linéaire peut être effectuée le long de ces crêtes pour séparer électriquement les veines supérieure et inférieure du côté gauche et/ou du côté droit. Alternativement, une « lésion en boîte » peut être réalisée autour des 4 veines pulmonaires, en les isolant en bloc du reste de l'oreillette gauche [27]. Cette lésion « en boîte » a comme

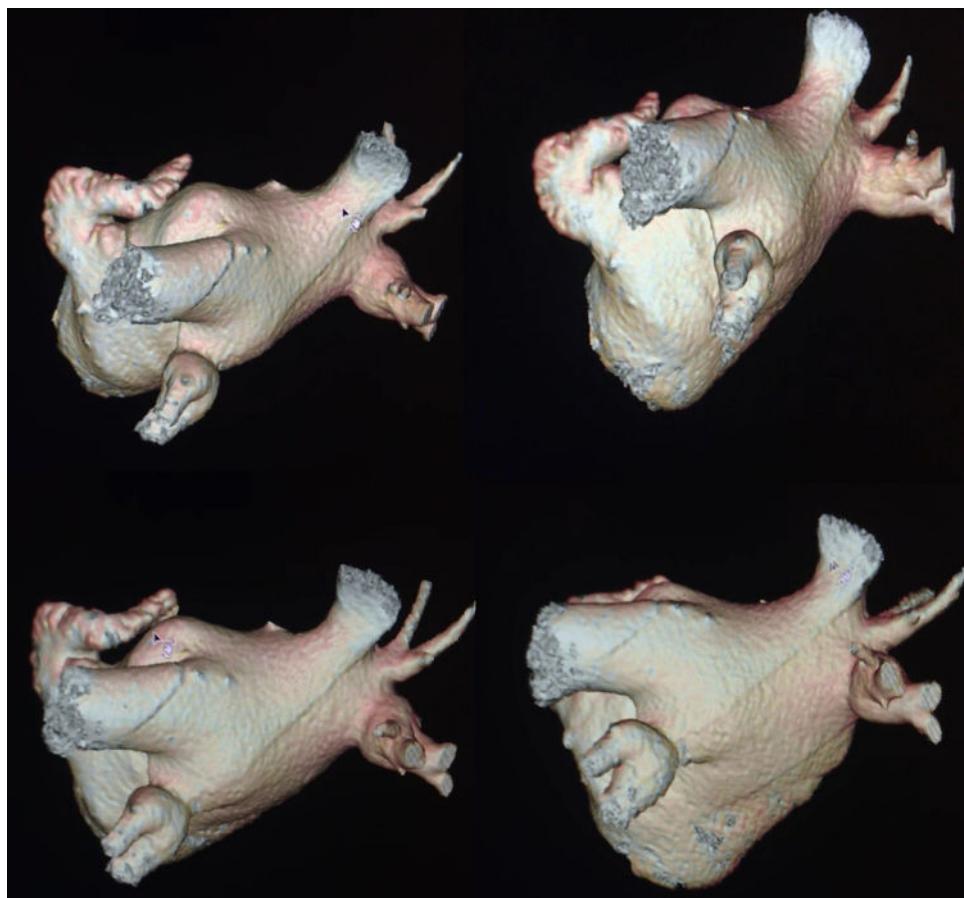


Fig. 7. Oreillette gauche visualisée en trois dimensions au scanner, permettant d'identifier une veine surnuméraire droite. Bonne visualisation, par ailleurs, de l'auricule gauche.

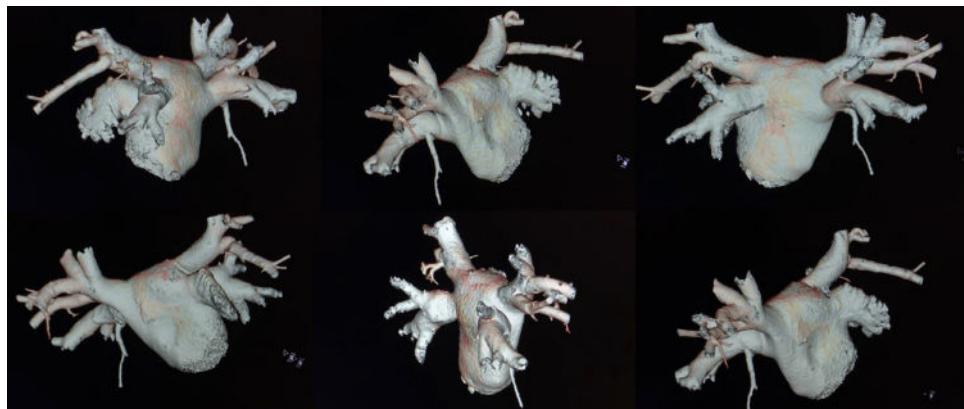


Fig. 8. Visualisation scannographique en trois dimensions de l'oreillette gauche et des veines pulmonaires avec un volumineux auricule gauche.

avantages potentiels qu'une plus grande région de l'oreillette postérieure gauche est isolée par rapport à l'ensemble traditionnel de lésions, et moins de lésions d'ablation sont délivrées le long de l'oreillette postérieure gauche, dans les régions qui peuvent être adjacentes à l'œsophage. La « lésion en boîte » peut être particulièrement souhaitable lorsqu'il y a une distance relativement faible séparant les veines pulmonaires droite et gauche, alors qu'il peut être plus difficile d'obtenir une isolation électrique en utilisant la « lésion en boîte » lorsque cette distance est très grande.

3.5. Veine pulmonaire moyenne droite

Une seule veine pulmonaire moyenne droite (VPintD) (soit 3 veines pulmonaires au total du côté droit) est la variante de veines pulmonaires la plus fréquemment rencontrée dans la plupart des séries rapportées, avec une incidence allant de 9,5 % [26] à 27 % [20]. Lorsqu'elle est présente, cette veine est presque toujours plus petite que les veines pulmonaires typiques, avec un diamètre ostial rapporté allant de $7,5 \pm 2,1$ mm [20] à $9,9 \pm 1,9$ mm [22]. La VPintD peut se projeter soit en avant, soit en arrière, selon le seg-

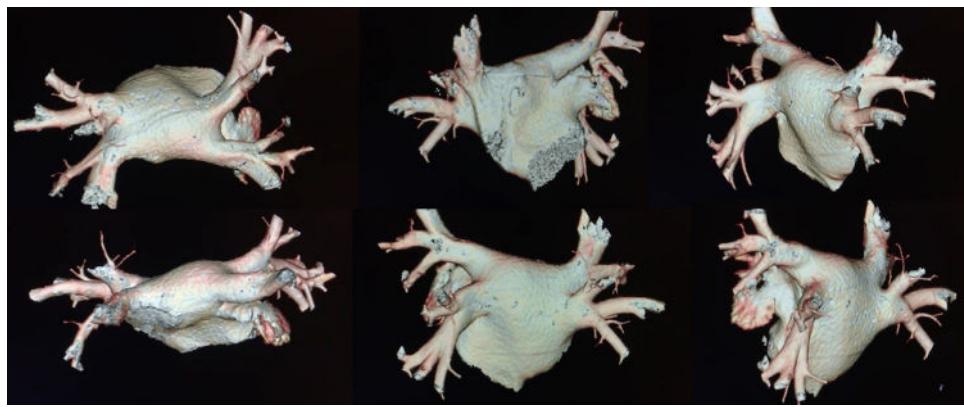


Fig. 9. Visualisation scannographique en trois dimensions de l'oreillette gauche avec les veines pulmonaires.

ment du poumon qu'il draine [20]. Les crêtes séparant les veines pulmonaires droites sont généralement assez étroites en cas de VPintD (< 2 mm dans la largeur la plus étroite chez > 50 % des patients) [28]. Parce que ces crêtes sont généralement étroites en présence d'une VPintD, nous évitons généralement l'ablation par cathéter le long de ces crêtes lorsque cette variante est rencontrée, pour réduire le risque d'ablation par inadvertance dans les veines pulmonaires, car la stabilité du cathéter le long de ces crêtes est généralement mauvaise. À noter, une veine pulmonaire moyenne gauche n'a été rapportée que rarement, dans 0 à 3 % des cas dans une étude [24] et pas du tout décrite dans de nombreuses autres séries similaires.

3.6. Plusieurs veines pulmonaires moyennes droites

Plusieurs (> 2) veines pulmonaires moyennes droites sont également rencontrées dans l'OG. L'incidence de cette variante a été rapportée dans diverses séries de 2 % [21] à 4 % [29], voire 4–5 % [24]. Ces variantes peuvent être sous-classées en fonction de l'existence de 2 ou 3+ veines pulmonaires moyennes droites et du schéma de ramifications [29], mais les séries actuellement rapportées ont un échantillon trop faible pour estimer avec précision la fréquence relative de ces sous-variantes. Bien qu'aucun rapport publié ne soit disponible sur les dimensions des crêtes séparant plusieurs veines pulmonaires droites, nous avons constaté que les largeurs de ces crêtes (ainsi que les diamètres des ostias veineux) ont tendance à être assez petites [30]. Par peur de la survenue d'une sténose de la veine pulmonaire si l'ablation est effectuée par inadvertance dans ces petites veines, nous évitons généralement l'ablation le long des crêtes séparant plusieurs veines pulmonaires moyennes droites.

3.7. Veine pulmonaire commune gauche

La deuxième variante de veine pulmonaire la plus courante rapportée dans la plupart des études est un tronc commun veineux pulmonaire gauche (TCVPG), qui a un seul ostium dans l'OG, puis se divise généralement distalement en branches supérieures et inférieures. L'incidence du TCVPG a été rapportée comme étant aussi rare que 3,4 % des patients [22] alors qu'une autre étude a rapporté cette variante chez 32 % des patients atteints de FA [21]. D'autres études ont rapporté une incidence du TCVPG de 9,5 % [26], 14 % [29], 17 % [25,30], et 6 % chez les patients atteints de FA et 20 % chez les patients sans FA [24]. À noter que dans l'étude décrivant une incidence de 32 % du TCVPG chez les patients atteints de FA, 7 % ont été décrits comme un TCVPG avec un « tronc long » et les 25 % restants avec un « tronc court » [21]. Il est

possible que certains chercheurs décrivent une anatomie particulière comme comprenant des veines pulmonaires supérieures et inférieures gauches séparées, tandis que d'autres pourraient classer cette même anatomie comme un TCVPG avec un « tronc court », ce qui peut contribuer aux écarts signalés dans l'incidence de TCVPG. Étant donné que cette veine unique doit drainer tout le poumon gauche, il n'est pas surprenant qu'elle ait généralement un ostium qui soit sensiblement plus grand que les ostias des veines pulmonaires typiques. Le diamètre ostial moyen du TCVPG a été rapporté à $19,4 \pm 5,3$ mm [25], $26,0 \pm 4,0$ mm [20] et $32,5 \pm 0,5$ mm [22]. Des études qui mesuraient les ostias du TCVPG en 2 dimensions ont noté qu'il avait une ovalité significativement plus grande que les autres veines pulmonaires [24,26], et donc l'axe de mesure peut expliquer les écarts de diamètre rapportés de cette veine.

3.8. Isolation du tronc commun veineux pulmonaire gauche

En règle générale, nous essayons d'isoler un TCVPG par encerclement autour de l'antre entier de la veine commune. Il convient de noter que les cathéters « lasso » disponibles dans le commerce sont souvent plus petits que l'orifice d'un TCVPG typique et glisseront souvent profondément dans cette veine. Une imagerie efficace de cette veine, avec TDM/IRM préprocédurale et/ou échographie intracardiaque (ICE) intraprocedurale, peut aider à prévenir l'ablation par inadvertance dans un TCVPG. L'ablation dans le TCVPG (le long de la crête entre les branches supérieure et inférieure) est généralement évitée étant donné le risque de sténose de la veine pulmonaire lors de l'ablation dans une veine. D'après notre expérience, il est généralement plus difficile d'isoler un TCVPG avec cette approche par rapport à l'isolement des VPSG et VPIG séparées. Dans certains cas, en particulier lorsqu'un TCVPG a un « tronc très court » avant la ramifications, une ablation limitée est effectuée avec soin entre les branches supérieures et inférieures afin d'obtenir l'isolement de la veine pulmonaire commune gauche (TCVPG) (Fig. 10).

3.9. Le tronc commun veineux pulmonaire droit

Un tronc commun veineux pulmonaire droit (TCVPD) soit un seul ostium de la veine pulmonaire droite, se séparant généralement ensuite en branches supérieures et inférieures, est moins fréquemment rencontré qu'un TCVPG. Cette variante a été rapportée chez 0 à 2 % [24] et 2 % [29] des patients selon les séries, tandis que d'autres études avec un nombre similaire de patients n'ont pas rapporté cette variante [22,25,26,30]. Comme pour un TCVPG, il peut y avoir un certain degré de discréption de l'observateur dans l'identification d'un TCVPD avec un « tronc court » par rapport à

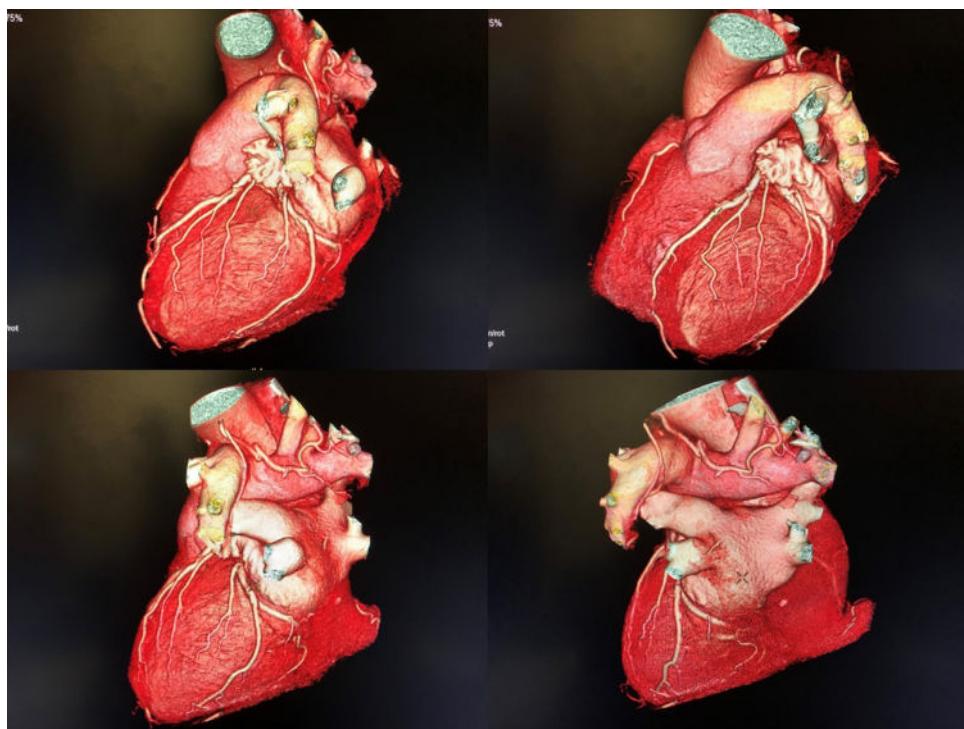


Fig. 10. Visualisation cardiaque en 3 dimensions permettant de situer les structures adjacentes aux veines pulmonaires en vue de la procédure d'ablation.

une anatomie typique comprenant des VPSD et VPID séparés. Nous prévoyons généralement une stratégie d'ablation similaire pour un TCVPD à celle pour un TCVPG, avec des tentatives d'isoler la veine entière en bloc avec un encerclement antral. Nous réservons l'ablation à la crête entre les branches supérieure et inférieure d'un TCVPD uniquement pour les cas où la crête est large, la stabilité du cathéter sur la crête est bonne, et si l'ablation à ce site est nécessaire pour isoler complètement la veine après qu'une ablation antrale complète ait été effectuée.

3.10. Veine pulmonaire inférieure commune

Une variante rare de drainage pour les lobes inférieurs des deux poumons est une veine pulmonaire inférieure commune (VPIC), qui se vide généralement via un ostium commun dans la région centrale du OG inféropostérieur. La véritable incidence de cette variante rare n'est pas claire, mais elle semble être rencontrée chez moins de 1 % des patients, reléguant sa description à des rapports de cas uniques [31,32]. Comme un TCVPG ou un TCVPD, il est possible d'isoler une VPIC en bloc par un seul cercle autour de l'ostium commun, réduisant le risque de sténose pulmonaire qui existerait avec une ablation plus profonde dans chaque veine.

3.11. Veine pulmonaire « top » droite

Une autre variante rare de la veine pulmonaire est la veine pulmonaire dite « top droite » (VPtopD). Elle est caractérisée par une seule veine pulmonaire, généralement petite, drainant les régions supérieures du poumon droit et se vidant dans le toit de l'oreillette droite, supérieure à la VPSD qui est généralement plus grande. Son incidence a été rapportée comme 3 des 91 sujets dans une série [33], bien que d'autres séries similaires ne l'aient pas rapporté, et donc sa véritable incidence est quelque peu incertaine. Il est important d'identifier cette variante en imagerie préprocédurale, car son ostium est supérieur à l'antrre de la VPSD, dans une région qui est généralement ablatée lors de l'ablation cir-

conférentielle des veines pulmonaires droites. Il est également possible qu'un VPtopD puisse être identifié par cartographie électroanatomique ou échocardiographie intracardiaque si l'imagerie préprocédurale n'était pas réalisée, mais il y aurait un risque beaucoup plus grand de ne pas identifier cette veine par ces modalités, surtout si sa présence n'était pas activement recherchée. Compte tenu de la taille généralement petite du VPtopD, le risque de sténose de cette veine pulmonaire est présumé élevé si l'ablation est effectuée par inadvertance dans cette veine. Lorsque cette variante est rencontrée, la modification de la ligne d'ablation pour éviter l'ablation dans cette veine (éventuellement en prolongeant la ligne d'ablation plus loin sur le toit de OG pour incorporer le VPtopD dans l'encerclement des autres VPD) semble être un choix prudent.

3.12. Crêtes veineuses pulmonaires

Les dimensions des crêtes séparant les veines pulmonaires entre elles et séparant les veines pulmonaires gauches de l'appendice atrial gauche (AurG) sont très pertinentes pour la procédure d'ablation. L'ablation le long de ces crêtes peut faciliter l'isolement des veines. Des crêtes plus larges permettent généralement une plus grande stabilité du cathéter avec moins de risque de glissement accidentel de celui-ci dans les veines pulmonaires. Il est difficile d'évaluer avec précision ces crêtes, même avec une cartographie électro-anatomique très détaillée utilisée seule. Cependant, les dimensions de ces crêtes peuvent être évaluées avec une grande précision par IRM ou TDM préprocédurale et peuvent également être évaluées par échocardiographie intracardiaque. L'échocardiographie intracardiaque (éventuellement utilisée en conjonction avec l'imagerie préprocédurale) peut également fournir des informations importantes en temps réel sur la position du cathéter par rapport à ces crêtes veineuses pulmonaires.

Les crêtes veineuses pulmonaires pertinentes pour la procédure d'ablation ont des largeurs minimales moyennes comprises entre 2 et 8 mm [28]. La largeur moyenne des arêtes séparant les VPD

(en présence d'un VPintD) est nettement inférieure à la largeur moyenne des arêtes séparant la VPSG de la VPIG. La largeur de la crête séparant les VPG de l'AurG a tendance à se rétrécir à mesure que la crête monte de la VPIG à la VPSG. Comme un TCVPG est relativement rare, la largeur de la crête séparant le TCVPG de l'AurG n'a pas été décrite. Cependant, ces généralités ne peuvent pas pleinement tenir compte des différences spécifiques au patient dans les dimensions des crêtes, et une imagerie précise est utile pour délimiter les crêtes chez chaque patient et guider ainsi la procédure d'ablation.

3.13. Morphologie du toit atrial gauche

Une variété de morphologies du toit OG ont été décrites, y compris plat, convexe et concave [34]. Bien que la stratégie d'ablation au niveau du toit de l'OG ne soit pas sensiblement différente pour ces variantes, l'identification de la morphologie du toit de l'OG d'un patient individuel peut faciliter le contact du cathéter le long du toit de l'OG et minimiser le risque de perforation. Des poches issues du toit de l'OG ont également été décrites, ce qui peut augmenter la difficulté de créer une isolation électrique complète le long d'une « ligne de toit » reliant les lignes d'ablation antrales des veines pulmonaires supérieures gauche et droite. Il convient de noter que l'artère pulmonaire droite passe souvent très près du toit de OG et pourrait donc être potentiellement blessée par ablation sur ce site [34]. Cependant, une lésion de l'artère pulmonaire n'a pas encore été signalée comme une complication possible de l'ablation par cathéter de la FA, et cela peut être lié à l'effet de refroidissement d'un flux sanguin à débit élevé dans cette structure.

3.14. Œsophage

L'œsophage court à proximité immédiate de l'oreillette gauche et une lésion de l'œsophage lors de l'ablation de la FA a déjà pu entraîner la complication rare mais potentiellement mortelle de la formation d'une fistule auriculo-œsophagienne [35,36]. La relation entre l'œsophage et l'oreillette gauche peut être identifiée par tomodensitométrie cardiaque préprocédurale [37] et par IRM, fourniissant un outil potentiel pour identifier les sites de l'OG qui sont à proximité immédiate de l'œsophage. Il a cependant été noté que l'œsophage peut migrer d'un site adjacent aux VP gauches vers un site adjacent aux VP droites pendant une procédure d'ablation [38]. Pour cette raison, l'évaluation en temps réel de la localisation œsophagienne par des méthodes telles que la surveillance de la température œsophagienne [39], la déglutition barytée [40] ou l'échocardiographie intracardiaque [41] peut être plus utile pour minimiser le risque de lésion œsophagienne que l'évaluation préprocédurale de emplacement œsophagien.

3.15. Appendice atrial gauche

L'appendice atrial gauche (AurG) se trouve à proximité des veines pulmonaires gauches. Il est rare de cibler l'ablation dans l'AurG pendant les procédures d'ablation typiques pour la FA, bien que des tachycardies atriales aient été rapportées qui ont été ablatées avec succès dans l'AurG ou bien à l'antre de l'AurG [42]. La crête séparant l'AurG des veines pulmonaires gauches est une cible pour l'ablation lors de l'isolement des veines pulmonaires gauches et la stabilité du cathéter permettant la formation efficace de lésions sans ablation accidentelle dans l'AurG ou dans les veines du côté gauche peut être difficile à ce site. L'imagerie cardiaque préprocédurale peut être utile pour définir cette crête, y compris la longueur, la largeur et l'orientation, et l'intégration de la cartographie électro-anatomique avec les images résultantes peut faciliter l'ablation le long de cette crête [28]. L'imagerie préprocédurale peut également définir la taille et les dimensions de l'AurG de manière très détaillée,

avec des différences interpatients substantielles documentées dans la taille de l'AurG [43]. Cela peut également s'avérer utile pour diriger l'occlusion de l'AurG à l'aide d'un dispositif percutané, qui est actuellement une stratégie thérapeutique pour réduire les complications thrombo-emboliques de la FA [44,45].

3.16. Limitations de l'imagerie préprocédurale

Il existe plusieurs limitations concernant la capacité de l'imagerie préprocédurale à diriger avec précision l'ablation par cathéter de la FA. Il est possible que des changements de volume se produisent dans les oreillettes entre le moment de l'imagerie et le moment de l'ablation, ce qui peut entraîner des différences entre les images pré-acquises et la cartographie en temps réel. L'angiographie OG rotationnelle tridimensionnelle a été décrite, ce qui permet une imagerie OG immédiatement avant la cartographie du cathéter [46], mais cette technologie manque actuellement de la résolution spatiale possible avec l'imagerie TDM ou IRM. La concordance de la synchronisation du cycle cardiaque entre l'imagerie TDM ou IRM préprocédurale et la cartographie en temps réel n'a pas été universellement réalisée, ce qui peut conduire à une erreur d'enregistrement de l'image. De plus, la déformation cardiaque par contact du cathéter peut créer des distorsions lors de la cartographie du cathéter en temps réel qui ne sont pas identifiées par l'imagerie préprocédurale. Les stratégies d'imagerie en temps réel, telles que l'échocardiographie intracardiaque (actuellement disponible) ou l'imagerie IRM interventionnelle (actuellement expérimentale) pendant la procédure d'ablation, peuvent fournir des détails encore plus précis de la position du cathéter par rapport à l'anatomie complexe de l'OG.

3.17. Conclusions sur l'OG

L'OG est une structure complexe, avec une grande variabilité interpatient. Une compréhension détaillée de l'anatomie de l'OG d'un patient individualisé peut améliorer la capacité d'isoler efficacement les veines pulmonaires et de produire d'autres lignes et lésions d'ablation souhaitées dans l'OG. Cela peut également réduire le risque de complications telles que la perforation cardiaque et les dommages aux structures environnantes, y compris l'œsophage et les veines pulmonaires. Le scanner cardiaque préprocédural ou l'imagerie par résonance magnétique peut produire des représentations très détaillées de l'anatomie de chaque patient dans l'OG et par rapport aux structures environnantes. Ceci permet une stratégie d'ablation adaptée à chaque patient afin de maximiser à la fois l'efficacité et la sécurité périprocédurale.

4. Conclusions

Le scanner cardiaque est un examen qui s'est développé et dont les indications continuent de s'élargir en cardiologie. Les doses sont devenues totalement acceptables à condition de pouvoir le réaliser en mode prospectif. Des centres experts existent déjà et d'autres existeront dans l'avenir afin de pouvoir réaliser un nombre élevé d'exams, permettant, d'une part, d'avoir des opérateurs experts dans leur interprétation et, d'autre part, de répondre à une demande qui devrait logiquement beaucoup augmenter au fur et à mesure que les praticiens l'intégreront à leur pratique. Les procédures d'ablation de fibrillation auriculaire nécessitent désormais la réalisation d'une imagerie cardiaque pré-ablation, d'une part, pour identifier l'une des multiples variantes anatomiques de l'oreillette gauche et de ses veines pulmonaires guidant les gestes d'ablation et, d'autre part, pour servir de support d'exploration tridimensionnel couplé à la cartographie électro-anatomique lors de la procédure d'ablation.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Knuuti J, Wijns W, Saraste A, Capodanno D, Barbato E, Funck-Brentano C, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J* 2020;41(3):407–77.
- [2] Linde JJ, Kelbæk H, Hansen TF, Sigvardsen PE, Torp-Pedersen C, Bech J, et al. Coronary CT angiography in patients with non-ST-segment elevation acute coronary syndrome. *J Am Coll Cardiol* 2020;75(5):453–63.
- [3] SCOT-HEART Investigators Newby DE, Adamson PD, Berry C, Boon NA, Dweck MR, et al. Coronary CT angiography and 5-year risk of myocardial infarction. *N Engl J Med* 2018;379(10):924–33.
- [4] Downs JR, Clearfield M, Weis S, Whitney E, Shapiro DR, Beere PA, et al. Primary prevention of acute coronary events with lovastatin in men and women with average cholesterol levels: results of AFCAPS/TexCAPS. Air Force/Texas Coronary Atherosclerosis Prevention Study. *JAMA* 1998;279(20):1615–22.
- [5] Nakamura H, Arakawa K, Itakura H, Kitabatake A, Goto Y, Toyota T, et al. Primary prevention of cardiovascular disease with pravastatin in Japan (MEGA Study): a prospective randomised controlled trial. *Lancet Lond Engl* 2006;368(9542):1155–63.
- [6] CT coronary angiography in patients with suspected angina due to coronary heart disease (SCOT-HEART): an open-label, parallel-group, multicentre trial. *The Lancet* 2015;385(9985):2383–91.
- [7] Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S, Albus C, Brotons C, Catapano AL, et al. 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: the Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts) developed with the special contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). *Eur Heart J* 2016;37(29):2315–81.
- [8] Mach F, Baigent C, Catapano AL, Koskinas KC, Casula M, Badimon L, et al. 2019 ESC/EAS Guidelines for the management of dyslipidaemias: lipid modification to reduce cardiovascular risk. *Eur Heart J* 2020;41(1):111–88.
- [9] Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, Zusmer NR, Viamonte M, Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1990;15(4):827–32.
- [10] Hecht HS. Coronary artery calcium scanning: past, present, and future. *JACC Cardiovasc Imaging* 2015;8(5):579–96.
- [11] Janowitz WR, Agatston AS, Kaplan C, Viamonte M. Differences in prevalence and extent of coronary artery calcium detected by ultrafast computed tomography in asymptomatic men and women. *Am J Cardiol* 1993;72(3):247–54.
- [12] Valenti V, Ó Hartaigh B, Heo R, Cho I, Schulman-Marcus J, Gransar H, et al. A 15-year warranty period for asymptomatic individuals without coronary artery calcium: a prospective follow-up of 9715 individuals. *JACC Cardiovasc Imaging* 2015;8(8):900–9.
- [13] Mortensen MB, Falk E, Li D, Nasir K, Blaha MJ, Sandfort V, et al. Statin trials, cardiovascular events, and coronary artery calcification: implications for a trial-based approach to statin therapy in MESA. *JACC Cardiovasc Imaging* 2018;11(2 Pt 1):221–30.
- [14] Nasir K, Bittencourt MS, Blaha MJ, Blankstein R, Agatson AS, Rivera JJ, et al. Implications of coronary artery calcium testing among statin candidates according to American College of Cardiology/American Heart Association Cholesterol Management Guidelines: MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis). *J Am Coll Cardiol* 2015;66(15):1657–68.
- [15] Pesenti Rossi D, Fargetas S, Georges J-L, Convers R, Baron N, Gibault-Genty G, et al. Low dose cardiac computed tomography: how to obtain it? *Ann Cardiol Angeiol (Paris)* 2012;61(5):357–64.
- [16] Pesenti-Rossi D, Baron N, Georges J-L, Augusto S, Gibault-Genty G, Livarek B. Assessment of coronary bypass graft patency by first-line multi-detector computed tomography. *Ann Cardiol Angeiol (Paris)* 2014;63(5):284–92.
- [17] European Heart Rhythm Association, Heart Rhythm Society/Fuster V, Rydén LE, Cannom DS, Crijns HJ, et al. ACC/AHA/ESC 2006 guidelines for the management of patients with atrial fibrillation—executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the European Society of Cardiology Committee for Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 2001 Guidelines for the Management of Patients With Atrial Fibrillation). *J Am Coll Cardiol* 2006;48(4):854–906.
- [18] Haïssaguerre M, Jaïs P, Shah DC, Takahashi A, Hocini M, Quiniou G, et al. Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins. *N Engl J Med* 1998;339(10):659–66.
- [19] Kistler PM, Schilling RJ, Rajappan K, Sporton SC. Image integration for atrial fibrillation ablation—pearls and pitfalls. *Heart Rhythm* 2007;4(9):1216–21.
- [20] Mansour M, Holmvang G, Sosnovik D, Migrino R, Abbara S, Ruskin J, et al. Assessment of pulmonary vein anatomic variability by magnetic resonance imaging: implications for catheter ablation techniques for atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2004;15(4):387–93.
- [21] Kato R, Lickfett L, Meininger G, Dickfeld T, Wu R, Juang C, et al. Pulmonary vein anatomy in patients undergoing catheter ablation of atrial fibrillation: lessons learned by use of magnetic resonance imaging. *Circulation* 2003;107(15):2004–10.
- [22] Scharf C, Snider M, Case I, Chugh A, Lai SWK, Pelosi F, et al. Anatomy of the pulmonary veins in patients with atrial fibrillation and effects of segmental ostial ablation analyzed by computed tomography. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2003;14(2):150–5.
- [23] Tsao HM, Yu WC, Cheng HC, Wu MH, Tai CT, Lin WS, et al. Pulmonary vein dilation in patients with atrial fibrillation: detection by magnetic resonance imaging. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2001;12(7):809–13.
- [24] Schwartzman D, Lacomis J, Wigginton WG. Characterization of left atrium and distal pulmonary vein morphology using multidimensional computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2003;41(8):1349–57.
- [25] Wood MA, Wittkamp M, Henry D, Martin R, Nixon JV, Shepard RK, et al. A comparison of pulmonary vein ostial anatomy by computerized tomography, echocardiography, and venography in patients with atrial fibrillation having radiofrequency catheter ablation. *Am J Cardiol* 2004;93(1):49–53.
- [26] Wittkampf FHM, Vonken E-J, Derkens R, Loh P, Velthuis B, Wever EFD, et al. Pulmonary vein ostium geometry: analysis by magnetic resonance angiography. *Circulation* 2003;107(1):21–3.
- [27] Kumagai K, Muraoka S, Mitsutake C, Takashima H, Nakashima H. A new approach for complete isolation of the posterior left atrium including pulmonary veins for atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2007;18(10):1047–52.
- [28] Mansour M, Refaat M, Heist EK, Mela T, Cury R, Holmvang G, et al. Three-dimensional anatomy of the left atrium by magnetic resonance angiography: implications for catheter ablation for atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2006;17(7):719–23.
- [29] Marom EM, Herndon JE, Kim YH, McAdams HP. Variations in pulmonary venous drainage to the left atrium: implications for radiofrequency ablation. *Radiology* 2004;230(3):824–9.
- [30] Mansour M, Holmvang G, Mela T, Keane D, Ruskin J. Anterior and posterior right middle pulmonary veins in a patient undergoing catheter ablation for atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2004;15(10):1231.
- [31] Dukkipati S, Holmvang G, Scorzaro M, D'Avila A, Reddy VY, Mansour M. An unusual confluence of the inferior pulmonary veins in a patient undergoing catheter ablation for atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2006;17(9):1034.
- [32] Lickfett L, Lewalter T, Nickenig G, Naehele P. Common trunk of the right and left inferior pulmonary veins: previously unreported anatomic variant with implications for catheter ablation. *Heart Rhythm* 2007;4(9):1244–5.
- [33] Lickfett L, Kato R, Tandri H, Jayam V, Vasamreddy CR, Dickfeld T, et al. Characterization of a new pulmonary vein variant using magnetic resonance angiography: incidence, imaging, and interventional implications of the « right top pulmonary vein ». *J Cardiovasc Electrophysiol* 2004;15(5):538–43.
- [34] Wongcharoen W, Tsao H-M, Wu M-H, Tai C-T, Chang S-L, Lin Y-J, et al. Morphologic characteristics of the left atrial appendage, roof, and septum: implications for the ablation of atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2006;17(9):951–6.
- [35] Pappone C, Oral H, Santinelli V, Vicedomini G, Lang CC, Manguso F, et al. Atrio-esophageal fistula as a complication of percutaneous transcatheter ablation of atrial fibrillation. *Circulation* 2004;109(22):2724–6.
- [36] D'Avila A, Ptaszek LM, Yu PB, Walker JD, Wright C, Noseworthy PA, et al. Images in cardiovascular medicine. Left atrial-esophageal fistula after pulmonary vein isolation: a cautionary tale. *Circulation* 2007;115(17):e432–3.
- [37] Cury RC, Abbara S, Schmidt S, Malchanov ZJ, Neuzil P, Weichert J, et al. Relationship of the esophagus and aorta to the left atrium and pulmonary veins: implications for catheter ablation of atrial fibrillation. *Heart Rhythm* 2005;2(12):1317–23.
- [38] Good E, Oral H, Lemola K, Han J, Tamirisa K, Igic P, et al. Movement of the esophagus during left atrial catheter ablation for atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol* 2005;46(11):2107–10.
- [39] Aryana A, Heist EK, D'Avila A, Holmvang G, Chevalier J, Ruskin JN, et al. Pain and anatomical locations of radiofrequency ablation as predictors of esophageal temperature rise during pulmonary vein isolation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2008;19(1):32–8.
- [40] Han J, Good E, Morady F, Oral H. Images in cardiovascular medicine. Esophageal migration during left atrial catheter ablation for atrial fibrillation. *Circulation* 2004;110(24):e528.
- [41] Ren J-F, Lin D, Marchlinski FE, Callans DJ, Patel V. Esophageal imaging and strategies for avoiding injury during left atrial ablation for atrial fibrillation. *Heart Rhythm* 2006;3(10):1156–61.
- [42] Yamada T, Murakami Y, Yoshida Y, Okada T, Yoshida N, Toyama J, et al. Electrophysiologic and electrocardiographic characteristics and radiofrequency catheter ablation of focal atrial tachycardia originating from the left atrial appendage. *Heart Rhythm* 2007;4(10):1284–91.
- [43] Heist EK, Refaat M, Danik SB, Holmvang G, Ruskin JN, Mansour M. Analysis of the left atrial appendage by magnetic resonance angiography in patients with atrial fibrillation. *Heart Rhythm* 2006;3(11):1313–8.

- [44] Sick PB, Schuler G, Hauptmann KE, Grube E, Yakubov S, Turi ZG, et al. Initial worldwide experience with the WATCHMAN left atrial appendage system for stroke prevention in atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol* 2007;49(13): 1490–5.
- [45] Syed TM, Halperin JL. Left atrial appendage closure for stroke prevention in atrial fibrillation: state of the art and current challenges. *Nat Clin Pract Cardiovasc Med* 2007;4(8):428–35.
- [46] Orlov MV, Hoffmeister P, Chaudhry GM, Almasry I, Gijsbers GHM, Swack T, et al. Three-dimensional rotational angiography of the left atrium and esophagus – A virtual computed tomography scan in the electrophysiology lab? *Heart Rhythm* 2007;4(1):37–43.