

## I Le dossier – Scanner et IRM en cardiologie

# Place du scanner cardiaque en pratique clinique dans les pathologies structurelles

**RÉSUMÉ:** Depuis le développement du remplacement valvulaire percutané aortique et sa large utilisation, le scanner cardiaque est devenu l'examen de référence en pré-procédure des pathologies cardiaques structurelles : valvulaire aortique, mitrale et tricuspide, maladie du septum interauriculaire et fermeture d'auricule. Il est aussi utilisé plus largement dans l'évaluation des sténoses aortiques et dans l'étude des dysfonctions de prothèse valvulaire.



**T. HOVASSE, B. CHEVALIER**

Institut Cardiovasculaire Paris Sud – ICPS,  
Hôpital Privé Jacques Cartier, RAMSAY Santé,  
MASSY.

L'imagerie cardiovasculaire non invasive – le scanner cardiaque en particulier – joue un rôle central dans l'évaluation préopératoire des patients candidats à une intervention structurelle, qu'elle soit valvulaire, fermeture d'auricule ou du septum interatrial. Le scanner fournit en effet un large éventail d'informations cruciales pour sélectionner les patients qui en bénéficieront le plus et dont la procédure se fera avec un maximum de sécurité.

Les protocoles de tomodynamométrie doivent être optimisés en fonction de la technologie disponible : par exemple, pour le remplacement valvulaire aortique percutané (TAVI), deux acquisitions distinctes sont souvent nécessaires pour couvrir une large plage anatomique allant des axes sous-claviers aux artères fémorales, ainsi qu'une acquisition de la racine aortique synchronisée sur l'ECG. Pour la pathologie mitrale, tricuspide et les maladies du septum atrial (foramen ovale perméable [FOP] et communication interauriculaire [CIA]), on fera une acquisition injectée du massif cardiaque synchronisé à l'ECG. Pour la fermeture d'auricule, on fera également une acqui-

sition au temps tardif (60 à 90 secondes après l'injection) [1].

Les images doivent être reconstruites à 1,0 mm ou moins pour permettre des études multiplanaires précises. Par conséquent, un scanner avec 64 détecteurs minimum ou à double source est requis.

Bien que la réduction de la dose de rayonnement soit toujours un objectif, dans la population de patients fragiles évaluée pour le TAVI, la réduction de la dose de contraste iodé prévaut. En effet, le risque d'une qualité d'image insuffisante à cause d'une irradiation trop faible est important. La nécessité de refaire le scanner et de réinjecter du contraste dans cette population fragile est potentiellement très délétère [2].

### Scanner cardiaque, sténose aortique et TAVI

Le scanner cardiaque est de plus en plus souvent demandé pour une étude de la valve aortique : il permet de préciser le caractère tricuspide ou bicuspidé, le degré de calcification ou le risque de

*mismatch* avant chirurgie dans tous les cas où l'échographie est difficile et ne permet pas de trancher formellement ces questions. Il est donc utile, même lorsque le TAVI n'est pas la solution thérapeutique envisagée [3, 4].

Bien que la quantification des calcifications de la valve aortique ne soit pas effectuée systématiquement dans la plupart des centres, elle peut être envisagée lorsque les résultats de l'échocardiographie sont discordants avec le diagnostic présumé de sténose aortique (SA). Chez ces patients, la quantification des calcifications valvulaires aortiques à l'aide de la méthode Agatston, basée sur un scanner sans contraste, peut résoudre des problèmes car la gravité de la SA est associée à la charge de calcification valvulaire et fournit une valeur diagnostique supplémentaire au-delà de l'évaluation échocardiographique.

Différentes valeurs seuils du score d'Agatston qui rendent probable une SA sévère ont été proposées telles que  $\geq 2000$  pour les hommes et  $\geq 1200$  pour les femmes, car les femmes ont une SA plus sévère pour la même charge en calcium que les hommes [5]. Des scores de  $\geq 3000$  pour les hommes et  $\geq 1600$  pour les femmes sont considérés comme rendant la SA très probable. Le protocole de tomographie est généralement similaire à celui utilisé pour le marquage calcique des artères coronaires qui, par convention, est effectué à 120 KV et avec des reconstructions axiales de 2 mm d'épaisseur. Seules les calcifications sur les feuillets valvulaires aortiques doivent être incluses dans le calcul. Bien que la planimétrie directe de l'ouverture valvulaire aortique en phase systolique soit en corrélation avec la surface aortique dérivée du Doppler, elle n'a pas de rôle direct dans la quantification. Elle est néanmoins calculée fréquemment, surtout dans les cas de dysfonction ventriculaire gauche et/ou de bas débit.

Le remplacement valvulaire aortique percutané (TAVI) est une alternative peu

invasive au remplacement valvulaire aortique conventionnel chez les patients symptomatiques présentant une sténose aortique sévère et des contre-indications à la chirurgie ou un haut risque opératoire. Il a été démontré que la procédure améliore la qualité de vie des patients et prolonge la survie à court et à moyen terme chez les personnes à haut risque, devenant une option thérapeutique largement acceptée qui a été intégrée dans les directives cliniques actuelles pour la prise en charge de la valvulopathie. Plus récemment, les patients à risque intermédiaire et à bas risque ont également été retenus comme pouvant bénéficier d'un TAVI [6-11].

Néanmoins, tous les patients ne sont pas de bons candidats pour le TAVI. Outre la sélection clinique, qui est généralement établie par la Heart Team, certains critères techniques et anatomiques doivent être remplis. Le scanner est la pierre angulaire de cette analyse. Il va permettre d'évaluer le taux de calcification de la valve et sa distribution symétrique ou asymétrique ainsi qu'une éventuelle extension vers la mitrale (coulée calcaire

aorto-mitrale). Il permet de caractériser l'anatomie de la valve (tricuspide, bicuspidale et son type), de mesurer les diamètres, la surface, le périmètre de l'anneau aortique, des sinus de Valsalva et de la chambre de chasse, de localiser et mesurer d'éventuelles calcifications annulaires potentiellement dangereuses pour la procédure TAVI, de mesurer la hauteur des ostia coronaires par rapport à l'anneau aortique, la hauteur de la jonction sino-tubulaire, son diamètre et de voir des calcifications à ce niveau. Il permet une analyse précise des diamètres aortiques ainsi que le dépistage de calcifications ou d'athérome aortique protrusif et de tout le trajet entre le point de ponction (fémoral le plus souvent, sinon carotidien ou sous-clavier) et l'anneau aortique. Les incidences de travail de la procédure TAVI sont également obtenues par le scanner et permettent aux opérateurs d'avoir directement les vues perpendiculaires à l'anneau sans injection de contraste préalable (*fig. 1*) [12].

Le scanner peut donc refaire basculer un patient vers un remplacement chirurgi-



**Fig. 1 :** Confirmation du caractère bicuspidale de la valve aortique type 1 L-R (en haut à gauche). Mesure de l'anneau avec présence d'une petite calcification postérieure (en bas à gauche). Score calcique de la valve aortique mesuré à 4506 en faveur d'une valve très calcifiée (à droite).

## Le dossier – Scanner et IRM en cardiologie

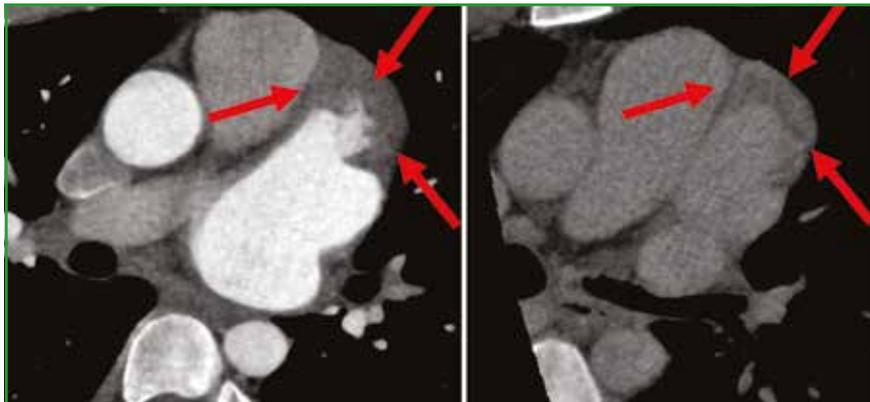
cal en cas d'anatomie "hostile" : bicuspidie massivement calcifiée, calcifications annulaires sévères ou tout simplement anatomie trop grande pour les prothèses disponibles. De même, les renseignements donnés par le scanner permettent, si l'indication de TAVI est retenue, de choisir le type et la taille de prothèse. Dans une majorité de cas, plusieurs types de valve peuvent être utilisés. Dans certains cas, le scanner oriente clairement vers un type de prothèse en particulier.

La maladie coronarienne est fréquente (40 à 75 %) chez les patients bénéficiant d'un TAVI et, en l'absence d'informations à jour concernant l'état des artères coronaires (moins de 3 mois), une investigation plus approfondie est nécessaire. En général, l'évaluation des artères coronaires est effectuée à l'aide d'une angiographie invasive classique. À l'heure actuelle, il n'est pas recommandé d'utiliser systématiquement la tomodensitométrie pour l'évaluation pré-procédurale des artères coronaires car la population étudiée est moins appropriée (plus forte prévalence des calcifications des artères coronaires et de l'arythmie cardiaque) pour la tomodensitométrie coronarienne.

De plus, l'utilisation de trinitrine sublinguale et bêtabloquants largement utilisés pour améliorer la qualité des scanners coronaires est contre-indiquée chez les patients porteurs d'une sténose aortique sévère. Néanmoins, compte tenu des progrès de la technologie de tomodensitométrie, avec une qualité d'image de plus en plus fiable dans un plus large éventail de conditions, la tomodensitométrie peut être envisagée au cas par cas pour exclure la maladie coronarienne obstructive, sur la base de l'équipement et de l'expertise disponibles localement.

### Scanner pré- et post-fermeture d'auricule

Le scanner cardiaque pré- et post-procédurale pour la fermeture de l'auricule



**Fig. 2 :** Auricule gauche, temps précoce à gauche avec forte suspicion de thrombus apical, confirmé au temps tardif à droite.

gauche est essentiel pour identifier les contre-indications, dimensionner avec précision le dispositif et minimiser les complications.

La fermeture de l'appendice auriculaire transcathéter (FAG) est une alternative au traitement anticoagulant à long terme chez certains patients atteints de fibrillation auriculaire non valvulaire présentant un risque accru d'accident vasculaire cérébral [13, 14]. L'imagerie pré-procédurale est essentielle pour identifier les contre-indications, dimensionner avec précision l'auricule et minimiser les complications. L'échocardiographie transœsophagienne (ETO) a été la modalité d'imagerie standard de référence pour évaluer l'anatomie pour la FAG et pour fournir un guidage procédural. Cependant, la tomodensitométrie est apparue comme une alternative moins invasive à l'ETO pour l'imagerie pré- et post-procédurale [15]. La tomodensitométrie est comparable à l'ETO pour l'exclusion du thrombus (**fig. 2**), mais elle est supérieure à la l'ETO pour l'évaluation des anatomies complexes de FAG, la mesure de la taille des dispositifs et l'évaluation des structures veineuses et extracardiaques pulmonaires.

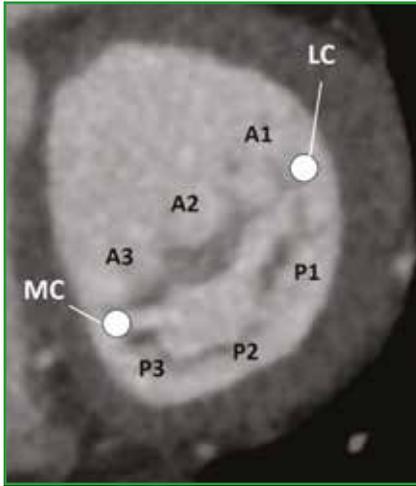
Le scanner fournit des mesures précises du diamètre de l'ostium, du diamètre de la zone d'atterrissage et de la longueur de l'auricule, qui sont essentielles pour un

dimensionnement précis de la prothèse. La tomodensitométrie permet d'évaluer la relation avec les veines pulmonaires et d'autres structures adjacentes susceptibles d'être lésées pendant la procédure. De même, la tomodensitométrie simule les angles fluoroscopiques procéduraux et permet d'évaluer le septum interauriculaire, qui est perforé pendant la FAG. La tomodensitométrie fournit aussi une méthode plus pratique pour l'évaluation des complications post-procédurales telles qu'une fermeture incomplète, les fuites paraprothétiques, les thrombus liés au dispositif et le délogement du dispositif.

### Évaluation de la valve mitrale par scanner

Le traitement des fuites mitrales par voie percutanée est devenu une alternative largement utilisée chez les patients à risque opératoire élevé [16, 17]. Le traitement est réalisé par la mise en place d'un ou plusieurs clips par voie transseptale ou par la mise en place d'une prothèse. L'étude du mécanisme de la régurgitation et de l'anatomie de la valve est cruciale pour vérifier la faisabilité de la procédure (**fig. 3**).

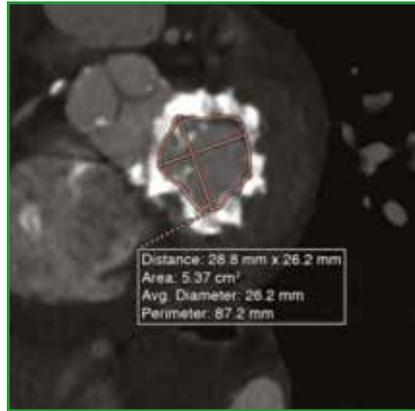
Une approche directe de la segmentation de la valve mitrale consiste à dessiner les contours de l'anneau mitral en forme de selle sur des vues conventionnelles, en



**Fig. 3 :** Anatomie de la valve mitrale et de l'appareil sous-valvulaire. L'image scanner en petit axe montre les feuillets de la valve mitrale, antérieure (A1-A3) et postérieure (P1-P3), et des commissures (commissure médiane [MC] et commissure latérale [LC]).

plaçant des points le long de l'insertion mitrale postérieure et de la continuité fibreuse. Cependant, la segmentation à l'aide de cette approche peut prendre beaucoup de temps et être difficile en raison de la forme non plane de l'anneau mitral. Une méthode plus simple mise au point par Blanke *et al.* (modèle simplifié en forme de D) consiste à assimiler l'anneau mitral à une forme en D planaire en reliant les deux trigones fibreux le long d'une ligne droite virtuelle, excluant ainsi la corne antérieure. Le diamètre maximal et minimal, le périmètre et la surface de l'anneau de la valve mitrale, ainsi que les distances septo-latérale et trigone-trigone, doivent être mesurés.

La calcification annulaire mitrale (MAC) est le résultat d'une calcification lente et progressive de la composante fibreuse de l'anneau mitral. Elle affecte plus souvent la partie postérieure de l'anneau. Les facteurs de risque de développement de la MAC comprennent l'âge avancé, le sexe féminin, la maladie rénale chronique, l'hypertrophie ventriculaire gauche (par exemple, en raison de l'hypertension systémique et de la sténose aortique), les maladies métaboliques, l'irradiation thoracique antérieure et la maladie de Barlow.



**Fig. 4 :** Calcification mitrale circonférentielle, mesure des diamètres et de la surface avant procédure de valve-in-MAC par voie transseptale.

Bien que la MAC soit généralement confinée à l'anneau mitral et à la base des feuillets, dans certains cas, elle peut s'étendre plus loin dans les feuillets jusqu'aux cordages, aux muscles papillaires et au myocarde. La MAC peut entraîner une sténose mitrale qui, dans certains cas, peut relever de l'implantation d'une valve percutanée par voie transseptale [18]. Le scanner permet alors de choisir la taille de la prothèse en fonction des diamètres mesurés et on peut modéliser les différentes prothèses en position mitrale afin d'évaluer les rapports anatomiques, et notamment prédire une obstruction de la chambre de chasse (*fig. 4*).

La présence de calcifications des feuillets doit également être signalée, car elle entraîne un risque plus élevé d'embolisation, et surtout les calcifications volumineuses de la valve mitrale antérieure peuvent être poussées dans la chambre de chasse, entraînant alors une obstruction.

La perméabilité de l'artère circonflexe et son trajet le long du sillon auriculo-ventriculaire gauche doivent être évalués en raison de sa relation spatiale étroite avec la fixation mitrale postérieure. Une distance extrêmement courte entre l'anneau mitral et l'artère circonflexe est une contre-indication à certaines procédures d'annuloplastie mitrale transcathéter en raison du

risque d'endommager le vaisseau lors de la mise en place du dispositif.

## ■ Scanner et prothèse valvulaire

Le scanner est également devenu un examen incontournable en complément de l'échographie pour l'évaluation des dysfonction/dégénérescence de prothèse valvulaire.

Pour les prothèses mécaniques où le diagnostic échographique n'est pas toujours simple compte tenu du cône d'ombre lié à la structure métallique, le scanner permet de visualiser la mobilité des ailettes, l'existence d'un pannus, d'un thrombus ou de végétations. Dans le cas d'une suspicion d'endocardite infectieuse, on peut aussi visualiser la présence d'un abcès péri-annulaire.

Pour les bioprothèses, ces mêmes diagnostics peuvent être réalisés et complétés par les mesures pré-procédure valve-in-valve si une intervention percutanée est envisagée. Dans ce cas, ce sont les rapports avec les ostia coronaires qui sont fondamentaux (hauteur des ostia, capacité des sinus, longueur des feuillets) car le risque d'obstruction coronaire est plus élevé que lors de la procédure sur valve native (*fig. 5*) [19].

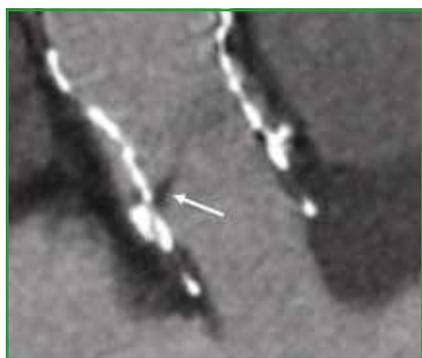


**Fig. 5 :** Étude d'une bioprothèse chirurgicale avec élévation de gradient: hypodensité circonférentielle de la base des feuillets en faveur d'un thrombus entraînant une restriction de mouvement.

## Le dossier – Scanner et IRM en cardiologie

### Scanner post-TAVI

Plusieurs publications ont fait état de thromboses précoces des feuillets valvulaires en post-TAVI. Elles sont le plus souvent infracliniques et actuellement, en l'absence de symptômes et avec une échographie de contrôle normale, il n'est pas recommandé de pratiquer un scanner à titre systématique. En revanche, devant des symptômes d'embolie et/ou une élévation du gradient transvalvulaire, il est utile de réaliser un scanner de contrôle pour rechercher une réduction de mobilité des feuillets et la présence de thrombus qui fera indiquer le plus souvent un traitement anticoagulant (**fig. 6**) [20].



**Fig. 6 :** Épaissement hypodense de la base d'un feuillet à 3 mois post-TAVI en faveur d'un thrombus.

### Conclusion

Le scanner cardiaque est devenu la pierre angulaire diagnostique mais aussi pré- et post-thérapeutique dans la pathologie structurelle. Il permet, grâce à sa résolution spatiale et à l'analyse multiplanaire, une visualisation et des mesures précises des différentes structures cardiaques. Il peut compléter l'échographie en cas de doute ou d'examen difficile. Il est indispensable dans le bilan préopératoire des patients éligibles à un TAVI. Enfin, il est de plus en plus réalisé dans le bilan des autres valvulopathies et des fermetures d'auricule.

### BIBLIOGRAPHIE

1. FRANCONI M, BUDDÉ RPJ, BREMERICH J *et al.* CT and MR imaging prior to transcatheter aortic valve implantation:

- standardisation of scanning protocols, measurements and reporting—a consensus document by the European Society of Cardiovascular Radiology (ESCR). *Eur Radiol*, 2020;30:2627-2650.
2. SCHERNER M, WAHLERS T. Acute kidney injury after transcatheter aortic valve implantation. *J Thorac Dis*, 2015;7:1527-1535.
3. CLAVEL MA, MESSIKA-ZEITOUN D, PIBAROT P *et al.* The complex nature of discordant severe calcified aortic valve disease grading: new insights from combined Doppler echocardiographic and computed tomographic study. *J Am Coll Cardiol*, 2013;62:2329-2338.
4. CLAVEL MA, PIBAROT P, MESSIKA-ZEITOUN D *et al.* Impact of aortic valve calcification, as measured by MDCT, on survival in patients with aortic stenosis: results of an international registry study. *J Am Coll Cardiol*, 2014;64:1202-1213.
5. AGGARWAL SR, CLAVEL MA, MESSIKA-ZEITOUN D *et al.* Sex differences in aortic valve calcification measured by multidetector computed tomography in aortic stenosis. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2013;6:40-47.
6. CRIBIER A, ELTCHANINOFF H, BASH A *et al.* Percutaneous transcatheter implantation of an aortic valve prosthesis for calcific aortic stenosis: first human case description. *Circulation*, 2002;106:3006-3008.
7. NISHIMURA RA, OTTO CM, BONOW RO *et al.* 2014 AHA/ACC guideline for the management of patients with valvular heart disease: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation*, 2014;129:2440-2492.
8. VAHANIAN A, ALFIERI O, ANDREOTTI F *et al.* (2012) Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012): the Joint Task Force on the management of valvular heart disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur J Cardiothorac Surg*, 2012;42:S1-S44.
9. REARDON MJ, VAN MIEGHEM NM, POPMA JJ *et al.* Surgical or transcatheter aortic-valve replacement in intermediate-risk patients. *N Engl J Med*, 2017;376:1321-1331.
10. LEON MB, SMITH CR, MACK MJ *et al.* Transcatheter or surgical aortic-valve replacement in intermediate-risk patients. *N Engl J Med*, 2016;374:1609-1620.
11. BAUMGARTNER H, FALK V, BAX JJ *et al.* 2017 ESC/EACTS guidelines for the

management of valvular heart disease. *Eur Heart J*, 2017;38:2739-2791.

12. HELL MM, BIBURGER L, MARWAN M *et al.* Prediction of fluoroscopic angulations for transcatheter aortic valve implantation by CT angiography: influence on procedural parameters. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2017;18:906-914.
13. HOLMES DR, KAR S, PRICE MJ *et al.* Prospective randomized evaluation of the Watchman Left Atrial Appendage Closure device in patients with atrial fibrillation versus long-term warfarin therapy: the PREVAIL trial. *J Am Coll Cardiol*, 2014;64:1-12 [Published correction appears in *J Am Coll Cardiol*, 2014;64:1186].
14. HOLMES DR JR, DOSHI SK, KAR S *et al.* Left Atrial Appendage Closure as an Alternative to Warfarin for Stroke Prevention in Atrial Fibrillation: A Patient-Level Meta-Analysis. *J Am Coll Cardiol*, 2015;65:2614-2623.
15. KORSHOLM K, BERTI S, IRIART X *et al.* Expert recommendations on cardiac computed tomography for planning transcatheter left atrial appendage occlusion. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020;13:277-292.
16. STONE GW, LINDENFELD J, ABRAHAM WT *et al.* Transcatheter Mitral-Valve Repair in Patients with Heart Failure. *N Engl J Med*, 2018;379:2307-2318.
17. FELDMAN T, FOSTER E, GLOWER DD *et al.* Percutaneous repair or surgery for mitral regurgitation. *N Engl J Med*, 2011;364:1395-1406.
18. GUERRERO M, ELEID M, FOLEY T *et al.* Transseptal transcatheter mitral valve replacement in severe mitral annular calcification (transseptal valve-in-MAC). *Ann Cardiothorac Surg*, 2018;7:830-833.
19. BLANKE P, SOON J, DVIR D *et al.* Computed tomography assessment for transcatheter aortic valve in valve implantation: the Vancouver approach to predict anatomical risk for coronary obstruction and other considerations. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2016;10:491-499.
20. RASHID HN, MICHAEL M, IHDAYHID AR *et al.* Clinical predictors and sequelae of computed tomography defined leaflet thrombosis following transcatheter aortic valve replacement at medium-term follow-up. *Heart Vessels*, 2021;36:1374-1383.

Les auteurs ont déclaré ne pas avoir de liens d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.