

IMAGERIE NON INVASIVE ET CARDIOLOGIE INTERVENTIONNELLE

DAVIN L (1), DULGERU R (1), MARCHETTA S (1), LANCELOTTI P (2)

RÉSUMÉ : Au cours des dernières décennies, la cardiologie interventionnelle s'est rapidement développée, et est devenue une alternative efficace à la chirurgie pour le traitement de plusieurs maladies congénitales et acquises. L'imagerie apporte des solutions à la plupart des besoins cliniques, du diagnostic au pronostic et à la stratification du risque, en passant par l'évaluation anatomique et fonctionnelle. Dans cet article, nous présentons les dernières innovations en matière d'imagerie médicale pour les maladies cardiaques structurelles et des artères coronaires, en soulignant les progrès réalisés dans le domaine de l'imagerie multimodale. Le guidage intra-procédural peut être facilité par une imagerie cardiaque multi-modalité telle que l'échocardiographie transoesophagienne 2D et 3D, ainsi que par de nouvelles techniques telles que la superposition d'écho-fluoroscopie et la fusion par imagerie 3D. La tomographie par CT scanner et l'imagerie par résonance magnétique sont particulièrement utiles pour l'évaluation pré-procédure de la morphologie et le dimensionnement des prothèses. La réussite de la planification, des performances et du suivi des interventions dépend, en grande partie, d'une imagerie précise pour les maladies cardiaques structurelles et les maladies coronariennes complexes.

MOTS-CLÉS : *Imagerie - Valvulopathie - Maladie coronaire - Bilan*

NON-INVASIVE IMAGING AND INTERVENTIONAL CARDIOLOGY

SUMMARY : In the last decades, interventional cardiology has received fast and wide implementation as an effective alternative treatment to surgery for several congenital and acquired diseases. Imaging provides solutions for most clinical needs, from diagnosis to prognosis and risk stratification, as well as anatomical and functional assessment. In this article, we present recent innovations in medical imaging for structural heart disease and coronary artery disease, emphasizing the progress achieved in the field of multimodality imaging. Intra-procedural guidance can be facilitated by established multimodality cardiac imaging such as transesophageal 2D and 3D echocardiography and by novel techniques as echo-fluoroscopy overlay and 3D imaging fusion. Computed tomography and magnetic resonance imaging are particularly helpful for preprocedural morphology assessment and device sizing. Successful planning, guidance, and monitoring of interventions depend heavily on accurate imaging for both structural heart disease and complex coronary artery disease.

KEYWORDS : *Imaging - Valvular heart disease - Coronary artery disease - Diagnostic work-up*

INTRODUCTION

Les techniques d'imagerie cardiovasculaire se sont considérablement améliorées au cours des dernières années. Utiles, non seulement dans le diagnostic et l'évaluation de l'ensemble des pathologies cardiovasculaires, elles ont progressivement investi la salle de cathétérisme interventionnel, permettant d'améliorer la mise en oeuvre des différents traitements endovasculaires des maladies coronaires et structurelles complexes (1). En raison de l'augmentation de prise en charge de patients âgés, ces pathologies sont souvent associées à une fréquence plus élevée de comorbidité. Par conséquent, un pourcentage non négligeable de patients âgés peut être réorienté et éviter une chirurgie jugée à trop haut risque. Ces avancées en imagerie non invasive permettent, aussi, un suivi précis des patients après leur intervention. Même si l'échocardiographie conventionnelle transtho-

racique (ETT) ou transoesophagienne (ETO) reste l'outil incontournable dans la plupart de ces affections cardiaques, la tomodensitométrie par scanner multibarrettes (MSCT), la résonance magnétique nucléaire (RMN) et l'imagerie par scintigraphie ont, également, révolutionné la prise en charge des patients traités par cathétérisme interventionnel. Nous allons aborder la place et l'intérêt des derniers progrès en imagerie en ce qui concerne la prise en charge de la maladie coronaire, des valvulopathies et de la fermeture de l'auricule gauche.

LA MALADIE CORONAIRE

Préalablement à tout geste de revascularisation, l'étiologie ischémique doit être identifiée et l'ischémie myocardique démontrée. Cette dernière est le résultat d'une perte de l'équilibre entre besoin et apport en oxygène du myocarde. Les vaisseaux épicardiques, la microvascularisation et le myocarde interviennent dans cet équilibre. L'ischémie résulte de la cascade "typique" d'événements dans laquelle des marqueurs surviennent de façon hiérarchique, bien définie dans le temps. D'abord une hétérogénéité de flux entre le sous-endocarde et le sous-épicarde au début du processus d'ischémie, suivie par des changements métaboliques, des altéra-

1) Chef de Clinique en Cardiologie, CHU Liège, Belgique.

2) Professeur à l'Université de Liège, Chef de Service de Cardiologie, Directeur du GIGA Cardiovasculaire, CHU Liège, Belgique.

tions de la fonction diastolique et de la cinétique régionale puis, plus tardivement, l'apparition de modifications électrocardiographiques et d'une dégradation de la fonction ventriculaire pour, finalement, aboutir aux symptômes d'angine de poitrine (2). Différentes conditions peuvent expliquer une diminution de la réserve coronaire. Les sténoses coronaires peuvent être fixes ou dynamiques (vasospasme) et une maladie microvasculaire peut engendrer un trouble de perfusion limité à la région sous-endocardique.

La coronarographie diagnostique, en tant que méthode invasive, est envisagée dans un autre article (3). Il y a deux approches possibles pour l'imagerie non invasive de la maladie coronaire. La première est de visualiser les conséquences hémodynamiques des lésions coronaires significatives, comme le font l'échocardiographie de stress, la RMN de stress ou les techniques d'imagerie nucléaire (imageries fonctionnelles). La seconde consiste en la visualisation anatomique des lésions coronaires par MSCT.

L'ETT est la technique de première intention et les images de repos peuvent être complétées par une évaluation sous stress pharmacologique (dobutamine, adénosine, dipyridamole) ou à l'effort. De façon assez similaire, l'imagerie nucléaire par scintigraphie ou tomographie à émission de positrons (PET) peut être utilisée. La RMN de stress (dobutamine ou adénosine) offre, aussi, une excellente résolution spatiale, avec une analyse tissulaire particulièrement détaillée (4). La RMN est, aujourd'hui, l'examen de référence pour l'évaluation de l'atteinte cicatricielle du myocarde. La recherche d'une viabilité myocardique est possible par ces différentes techniques en cas de myocarde sidéré ou hibernant. Une approche alternative est de, directement, visualiser les artères coronaires par MSCT. Cette dernière technique bénéficie d'une excellente résolution spatiale et temporelle, lui permettant une description en détail de la paroi des vaisseaux et de la lumière endovasculaire (Figure 1).

La valeur prédictive négative du MSCT est excellente. La coronarographie non invasive par CT scanner peut être, parfois, une alternative ou utilisée en complément aux tests fonctionnels chez certains patients. La composition des plaques d'athérosclérose peut être approchée par cette technique qui peut mesurer la charge calcique et le degré d'instabilité de la plaque (composante fibro-lipidique). Outre son apport dans le diagnostic de la maladie coronaire, ces résultats ont un intérêt pronostique. L'origine ou le trajet anatomique aberrant des coronaires peut facilement être décrit grâce à la reconstruction 3D, autorisée par ce type d'acquisition

Figure 1. MSCT coronaire avec discrètes calcifications pariétales

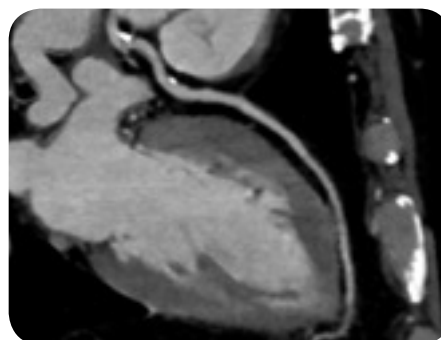


Figure 2. Reconstruction 3D du massif cardiaque après acquisition par MSCT

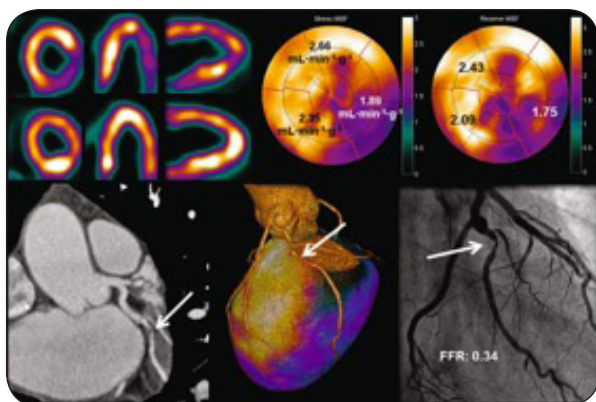


volumétrique de haute résolution (Figure 2). La perméabilité d'éventuels pontages aorto-coronaires, les détails d'une occlusion chronique, mais aussi le réseau veineux coronaire, sont accessibles par cette technique.

Des scanners hybrides, combinant PET ou scintigraphie avec un MSCT de haute résolution, sont devenus le standard de la plupart des systèmes d'imagerie nucléaire commercialisés (Figure 3).

La dernière génération des scanners offre, également, une combinaison du PET avec l'IRM (5). Les scanners hybrides permettent de visualiser l'anatomie du cœur et des artères coronaires, et l'évaluation fonctionnelle, tant sous stress (pour quantifier l'ischémie induite), qu'au repos (pour la viabilité myocardique), en association avec la fonction systolique ventriculaire gauche. Toutes ces images et résultats peuvent alors être transférés en salle de cathétérisme, avec reconstructions et images de fusion ana-

Figure 3. Imagerie de fusion PET et MSCT révélant des sténoses coronaires en relation avec la zone d'ischémie



tomo-fonctionnelles. Ces données peuvent orienter le cardiologue interventionnel dans ses décisions et le choix des approches techniques nécessaires pour un traitement adéquat de revascularisation.

LES VALVULOPATHIES

Une visualisation précise de la valve native ou de la valve prothétique, et de ses relations anatomiques, est cruciale avant, pendant et après une procédure valvulaire percutanée. La sélection du patient et l'évaluation du risque de la procédure interventionnelle sont impératifs avant toute intervention valvulaire par voie percutanée. L'imagerie est essentielle pour l'évaluation fonctionnelle, l'appréciation de l'anatomie valvulaire, la quantification de la sévérité de la valvulopathie, et pour l'analyse des structures adjacentes et des accès vasculaires. Une ETT de routine est la première modalité d'imagerie utilisée pour le diagnostic de la valvulopathie (6). Parfois, en raison d'une qualité d'imagerie sous-optimale, l'ETO est nécessaire. De plus, le MSCT et la RMN peuvent fournir des détails sur la morphologie ou le fonctionnement valvulaire. Pour guider et suivre les interventions percutanées des valvulopathies, la fluoroscopie et l'ETO sont nécessaires. La fluoroscopie peut visualiser une large zone du thorax, avec une excellente résolution spatiale et temporelle. Cependant, de multiples projections sont nécessaires pour obtenir une information sur la localisation précise des structures et matériels dans l'espace 3D, affichés sur l'écran 2D de fluoroscopie. Bien que ces images fluoroscopiques soient essentielles, elles ne permettent pas la visualisation des tissus mous et la localisation précise des

cathéters dans l'espace. Une imagerie avant la procédure, combinant le MSCT avec la fluoroscopie, est une approche qui améliore la qualité des informations au cours de la procédure (7,8). L'ETO 3D fournit une imagerie anatomique en temps réel, sans irradiation, sans produit de contraste. Elle est la technique idéale pour guider et visualiser l'ensemble des structures et des cathéters intracardiaques, offrant précision et sécurité lors de l'intervention (9).

STÉNOSE AORTIQUE ET REMPLACEMENT VALVULAIRE AORTIQUE PERCUTANÉ (TAVI)

Le cathétérisme cardiaque demeure le principal examen dans l'évaluation des patients avant TAVI («Transcatheter Aortic Valve Implantation») (10, 11). Plusieurs modalités d'imagerie comprenant l'échocardiographie, le MSCT et la RMN sont également nécessaires pour apporter les informations requises pour l'intervention. Le diagnostic et l'évaluation de la sténose aortique relèvent essentiellement de l'échocardiographie. En effet, en plus d'une estimation précise de la sévérité de la sténose et de sa morphologie, l'échocardiographie permet l'évaluation de la fonction ventriculaire et la quantification d'une éventuelle régurgitation aortique ou d'une pathologie mitrale concomitante (12).

Différents modèles de valves prothétiques sont actuellement disponibles, mais seulement dans certaines tailles, si bien qu'ils ne peuvent donc pas toujours convenir pour tous les patients. Une situation de discordance («mismatch») entre l'anneau aortique et la prothèse peut impacter négativement l'évolution des résultats ou engendrer des complications sérieuses (Figure 4). En vue de limiter celles-ci comme la migration de prothèse, et pour minimiser le risque d'une régurgitation para-prothétique importante, l'évaluation précise des dimensions de l'anneau valvulaire est essentielle (13). Les nouvelles techniques d'imagerie ETO 3D et MSCT révèlent des diamètres d'anneaux plus grands suggérant que la technique ETO 2D a tendance à sous-estimer ces dimensions, notamment en cas d'anneau elliptique.

Le MSCT, imagerie tridimensionnelle, fournit aussi des informations précises sur les aspects anatomiques de la valve aortique, la racine aortique et les structures adjacentes, comme les artères coronaires, par exemple (Figure 5).

L'importance et la localisation de calcifications étendues permettent d'anticiper une résistance au déploiement parfait de la prothèse. Cela peut entraîner une apposition non circulaire de la nouvelle valve, voire une occlusion

Figure 4. Evaluation par MSCT de l'anneau aortique et des calcifications valvulaires. La vue sagittale (A), qui correspond à la vue parasternale grand axe de l'échographie, mesure un diamètre de l'anneau aortique plus petit que la vue coronale (B), soulignant la forme elliptique de l'anneau valvulaire.

Abréviations : Ao, aorte; OG, oreillette gauche; VG, ventricule gauche; VD, ventricule droit.

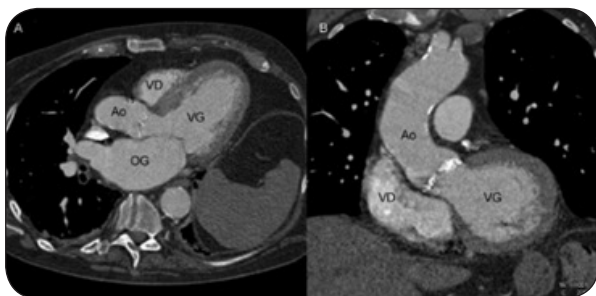
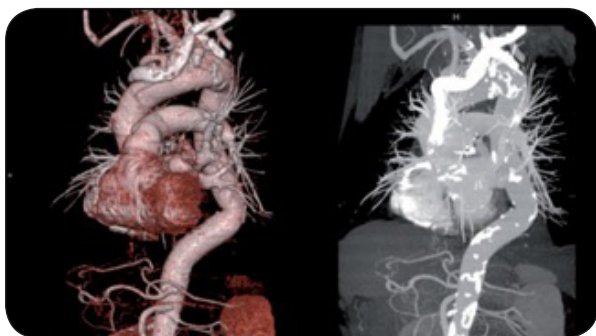


Figure 5: Images tridimensionnelles en MSCT montrant des calcifications diffuses au niveau de la paroi aortique.



coronaire, complication plus rare mais potentiellement mortelle (14). La position de l'origine des ostia coronaires par rapport à l'anneau valvulaire et à la longueur des feuillets doit systématiquement être analysée. Une distance minimum de ≥ 10 mm entre l'anneau aortique et les ostia coronaires est généralement recommandée, dépendant du type et de la taille de la prothèse. La largeur et la hauteur des sinus de Valsalva doivent aussi être rapportées de façon précise pour confirmer que la prothèse valvulaire choisie sera en adéquation avec ces mesures. Le diamètre de la partie proximale de l'aorte ascendante est aussi important à connaître pour certains types de valve (CoreValve® contre-indiquée en cas d'anévrisme > 45 mm). L'aorte et les artères périphériques (l'étendue des calcifications, importance des tortuosités vasculaires, diamètre de l'axe ilio-fémoral $\geq 6-8$ mm requis) peuvent également être analysées de façon détaillée (Figure 6) (15).

Figure 6. Evaluation des artères périphériques et de l'aorte par MSCT. L'étendue des calcifications (flèche A), les diamètres vasculaires et les tortuosités (flèche B) peuvent être quantifiés.

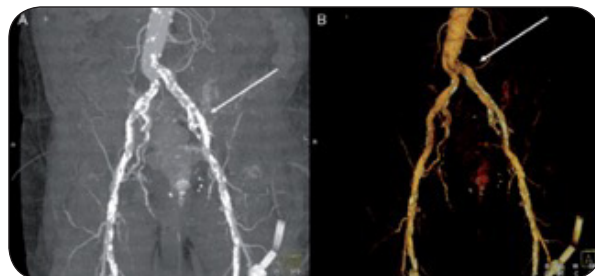
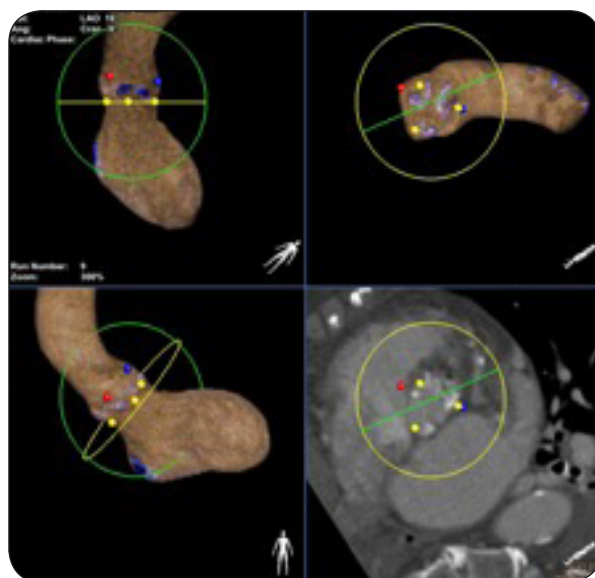


Figure 7. Logiciel de navigation 3D avec fusion d'imagerie angiographique et MSCT



En salle de cathétérisme cardiaque, les images d'ETO 3D ou de MSCT peuvent être importées et fusionnées avec la fluoroscopie conventionnelle (16, 17), ce qui permet une évaluation précise du plan d'implantation de la valve (Figure 7). Il en résulte une économie en termes d'irradiation et d'utilisation de produit de contraste iodé.

STÉNOSE ET INSUFFISANCE MITRALE

Chez les patients atteints d'un rétrécissement valvulaire mitral, le traitement par valvuloplastie mitrale au moyen d'un ballon par voie percutanée a été validé comme une alternative à l'intervention chirurgicale de remplacement valvulaire conventionnel (18). Le score de Wilkins est utilisé pour l'évaluation anatomique de la valve mitrale par ETT et ETO dont la modalité

3D augmente la précision dans la description des commissures et de l'appareil sous-valvulaire (19). Le MSCT constitue une alternative pour le calcul de ce score. L'ETO, en complément à la fluoroscopie, est l'imagerie de choix durant l'intervention pour confirmer l'absence de thrombus intra-auriculaire (très fréquent en cas de sténose mitrale) et ponctionner, de façon précise, le septum inter-auriculaire pour limiter les risques de tamponnade. Ensuite, cette technique d'imagerie permettra le positionnement optimal du ballon d'Inoue (Figure 8) et son inflation progressive et répétée jusqu'à obtenir le meilleur résultat possible en termes de surface d'ouverture valvulaire, de gradients et d'un minimum de fuite résiduelle.

L'ETT est la modalité de choix pour diagnostiquer, évaluer et suivre une insuffisance mitrale (IM), la fonction cardiaque globale et le remodelage ventriculaire. Cependant, l'ETO, notamment 3D, joue un rôle majeur pour affiner le diagnostic et les détails anatomiques nécessaires avant une intervention requise. La description du mécanisme anatomo-fonctionnel de l'IM utilise la classification de Carpentier (type I, II et III). Les techniques en cardiologie interventionnelle de correction de la fuite mitrale par voie percutanée sont multiples; la plus utilisée est le rapprochement bord-à-bord des feuillets mitraux par Mitraclip® (Figure 9). Pour ce faire, elle nécessite des feuillets mobiles (pas de restriction/rétraction majeure) et de longueur suffisante (> 8 mm pour le postérieur), peu remaniés, et sans calcification au niveau de la zone de «grasping». La surface de l'orifice mitral doit idéalement être > 4 cm² afin d'éviter le développement d'une sténose mitrale après le placement du clip (20). Une autre option est l'annuloplastie mitrale par voie percutanée pour réduire la dimension de l'anneau, dilaté, et impliqué dans la fuite mitrale. Elle a pour objectif de reconfigurer l'anneau mitral par l'insertion d'une prothèse, directement au niveau de l'anneau, soit de manière indirecte au sein du sinus coronaire. En complément à l'imagerie radiologique en salle de cathétérisme, l'ETO est l'outil indispensable pour guider l'opérateur dans les différentes phases d'approche et de traitement de la valve mitrale (21). Pour la technique d'annuloplastie, la fluoroscopie et l'échographie sont utilisées pour définir la position finale de la prothèse au sein du sinus coronaire, tout en confirmant par la coronarographie, réalisée pendant son déploiement, que le flux dans l'artère circconflexe, qui court dans le sillon auriculo-ventriculaire, n'est pas compromis (22).

Figure 8. Images de fusion entre fluoroscopie et ETO 3D montrant la position du ballon d'Inoue (Flèches).

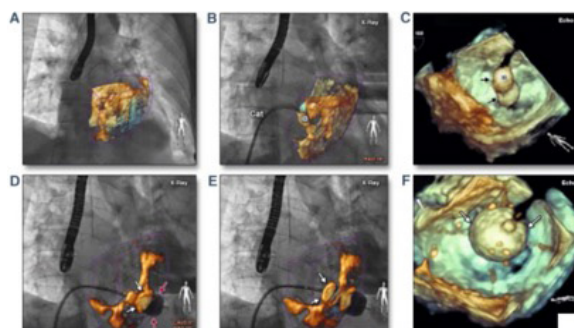


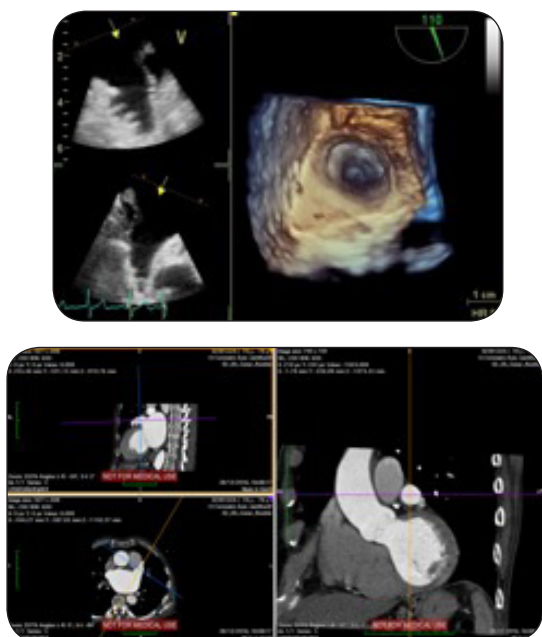
Figure 9. Progression du cathéter et du clip au travers de la valve mitrale en temps réel sous visualisation par ETO per-procédure. Gauche : image ETO. Droite : image fluoroscopique



LA FERMETURE PERCUTANÉE DE L'AURICULE GAUCHE

La fermeture de l'auricule gauche par voie percutanée peut offrir une protection contre les accidents thrombo-emboliques en cas de fibrillation auriculaire (23). L'anatomie de l'auricule peut varier considérablement avec des formes diverses telles que «en manche à air», «aile de poulet», «brocoli», «cactus», avec parfois plusieurs lobes de tailles très différentes. Le succès de la fermeture de l'auricule dépend de sa bonne visualisation. La première étape sera de confirmer l'absence de thrombus au sein de l'oreillette ou de l'auricule gauche. Le diamètre du collet de l'auricule et sa profondeur sont particulièrement importants à déterminer pour calibrer, de façon précise, la taille de la prothèse à implanter. L'ETO et le MSCT sont les deux techniques d'imagerie utilisées pour réaliser le bilan préopératoire avec mesures multiples et description anatomique en 3D de l'auricule, de l'anatomie et mobilité du septum et de leurs relations anatomiques avec les structures adjacentes (aorte, valve mitrale, veines pulmonaires, artère coronaire circconflexe, etc.) (Figure 10).

Figure 10. Evaluation anatomique de l'auricule gauche par ETO (haut) et MSCT (bas)



Pendant la procédure, l'ETO est indispensable et apporte des informations complémentaires à la fluoroscopie. L'angiographie utilise différentes incidences permettant de dérouler, le mieux possible, l'auricule gauche et de mesurer le diamètre maximal du collet, tout en correspondant aux incidences de l'ETO de référence. L'échographie permet aussi d'évaluer la qualité de fermeture de l'auricule, avec visualisation, en flux Doppler couleur de la bonne «étanchéité» du système et absence de flux résiduel au sein de l'auricule. Les contrôles échocardiographiques et angiographiques, à chaque étape de la procédure, permettent d'écarter d'éventuels conflits anatomiques entre la prothèse et la valve mitrale ou la veine pulmonaire supérieure gauche très proche et d'identifier une éventuelle complication (24).

CONCLUSION

Au cours des dernières années, le développement du traitement percutané des pathologies coronaires et structurelles, en particulier valvulaires, a ouvert une nouvelle voie pour la prise en charge de maladies complexes et constitue une alternative validée pour des patients dont le risque opératoire chirurgical est élevé. Les techniques interventionnelles percutanées requièrent une imagerie multi-modalité, réalisée et interprétée par un personnel expérimenté,

pour la sélection des patients, pour la réalisation de la procédure d'intervention en salle de cathétérisme cardiaque, souvent appelée salle hybride, et pour la surveillance lors du suivi des résultats après l'intervention.

BIBLIOGRAPHIE

1. Wunderlich NC, Kùx H, Kreidel F, et al.— The changing paradigm in the treatment of structural heart disease and the need for the interventional imaging specialist. *Interv Cardiol*, 2016, **11**, 135-139.
2. Neumann F-J, Sousa-Uva M, Ahlsson A, et al.— 2018 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J*, 2019, **40**, 87-165.
3. Gach O, Davin L, Lempereur M, et al.— Coronarographie diagnostique. *Rev Med Liege*, 2019, **74**, NHS, 17-21.
4. Mordi IR, Badar AA, Irving RJ, et al.— Efficacy of noninvasive cardiac imaging tests in diagnosis and management of stable coronary artery disease. *Vasc Health Risk Manag*, 2017, **13**, 427-437.
5. Robson PM, Dweck MR, Trivieri MG, et al.— Coronary artery PET/MR imaging: feasibility, limitations, and solutions. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2017, **10**, 1103-1012.
6. Delgado V.— Integrated imaging : a new skill for interventional cardiologists. *EuroIntervention*, 2016, **12**, 7-8.
7. von Spiczak J, Manka R, Gotschy A, et al. — Fusion of CT coronary angiography and whole-heart dynamic 3D cardiac MR perfusion : building a framework for comprehensive cardiac imaging. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2018, **34**, 649-660.
8. Hussain MA, Nabi F.— Complex structural interventions: the role of computed tomography, fluoroscopy, and fusion imaging. *Methodist Debaque Cardiovasc J*, 2017, **13**, 98-105.
9. Shiota T.— Role of echocardiography for catheter-based management of valvular heart disease. *J Cardiol*, 2017, **69**, 66-73.
10. Cahill TJ, Chen M, Hayashida K, et al.— Transcatheter aortic valve implantation : current status and future perspectives. *Eur Heart J*, 2018, **39**, 2625-2634.
11. Martinez C, Gach O, Radermecker M, et al.— Remplacement valvulaire aortique par voie transcathéter : du concept au changement de paradigme dans le traitement des sténoses aortiques. *Rev Med Liege*, 2019, **74**, NHS, 64-72.
12. Baumgartner H, Hung J, Bermejo J, et al.— Recommendations on the echocardiographic assessment of aortic valve stenosis. *Eur Hear J Cardiovasc Imaging*, 2017, **18**, 254-275.
13. Kato N, Shibayama K, Fukui Y, et al.— Value of automated and semi-automated measurement by novel three-dimensional echocardiography software for aortic annulus sizing in candidates of transcatheter aortic valve replacement: comparison with multi-detector computed tomography. *J Am Coll Cardiol*, 2017, **69**, 1633-1638.

14. Leber AW, Kasel M, Ischinger T, et al.— Aortic valve calcium score as a predictor for outcome after TAVI using the CoreValve revalving system. *Int J Cardiol*, 2013, **166**, 652-657.
15. Gurvitch R, Webb JG, Yuan R, et al.— Aortic annulus diameter determination by multidetector computed tomography: reproducibility, applicability, and implications for transcatheter aortic valve implantation. *JACC Cardiovasc Interv*, 2011, **4**, 1235-1245.
16. Vernikouskaya I, Rottbauer W, Seeger J, et al.— Patient-specific registration of 3D CT angiography (CTA) with X-ray fluoroscopy for image fusion during transcatheter aortic valve implantation (TAVI) increases performance of the procedure. *Clin Res Cardiol*, 2018, **107**, 507-516.
17. Bagur R, Rodés-Cabau J, Doyle D, et al.— Usefulness of TEE as the primary imaging technique to guide transcatheter transapical aortic valve implantation. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2011, **4**, 115-124.
18. Lempereur M, R. Dulgheru R, Marchetta S, et al.— Interventions mitrales percutanées. *Rev Med Liege*, 2019, **74**, NHS, 73-81.
19. Gajjala OR, Durgaprasad R, Velam V, et al.— New integrated approach to percutaneous mitral valvuloplasty combining Wilkins score with commissural calcium score and commissural area ratio. *Echocardiography*, 2017, **34**, 1284-1291.
20. 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.
21. Katz WE, Conrad Smith AJ, Crock FW, et al.— Echocardiographic evaluation and guidance for MitraClip procedure. *Cardiovasc Diagn Ther*, 2017, **7**, 616-632.
22. Feldman T, Guerrero M, Salinger MH.— Emerging technologies for direct and indirect percutaneous mitral annuloplasty. *EuroIntervention*, 2016, **12**, 84-89.
23. Lempereur M, Davin L, Dulgheru R, et al.— Fermeture percutanée de l'auricule gauche pour la prévention des complications thromboemboliques en cas de fibrillation auriculaire. *Rev Med Liege*, 2019, **74**, NHS, 97-103.
24. Jungen C, Zeus T, Balzer J, et al.— Left atrial appendage closure guided by integrated echocardiography and fluoroscopy imaging reduces radiation exposure. *PLoS One*, 2015, **10**, e0140386.

Les demandes de tirés à part doivent être adressées au Prof P. Lancellotti, Université de Liège, Service de Cardiologie, CHU Sart Tilman, 4000 Liège, Belgique.
Email : plancellotti@chuliege.be