

I Revues générales

Imagerie multimodalité de l'insuffisance mitrale primaire

RÉSUMÉ : L'insuffisance mitrale primaire est devenue la 2^e valvulopathie la plus fréquente dans les pays occidentaux après la sténose aortique. L'échocardiographie est la méthode de première intention. L'IRM est une méthode d'imagerie non invasive, non irradiante, permettant une évaluation fiable et reproductible de la sévérité de la fuite (par le calcul du volume régurgitant et de la fraction régurgitée), de la FEVG, du remodelage OG et VG (en particulier au cours du suivi des patients asymptomatiques), et de la présence de fibrose myocardique (rehaussement tardif, T1-mapping).

La détection de paramètres associés à des formes arythmogènes est également possible en IRM (fibrose des muscles papillaires, disjonction annulaire mitrale). Le scanner permet à la fois une évaluation des coronaires, la détection des calcifications et l'étude des rapports anatomiques pour les futures techniques de remplacement valvulaire percutanées.



F. LÉVY¹, S. MARÉCHAUX²

¹Centre cardio-thoracique de Monaco.

²Centre des valvulopathies, Laboratoire d'échocardiographie, Service de cardiologie-USIC, Groupement des Hôpitaux de l'Institut Catholique de Lille, Faculté de médecine et maïeutique de Lille, Université Catholique de LILLE.

L'imagerie cardiaque joue un rôle central dans la prise en charge des valvulopathies régurgitantes. L'insuffisance mitrale (IM) primaire est devenue la 2^e valvulopathie la plus fréquente dans les pays occidentaux après la sténose aortique. Sa prise en charge nécessite une étude approfondie de la valve mitrale tant sur le plan du mécanisme lésionnel, de l'estimation de la sévérité que du remodelage cavitaire engendré par la fuite. L'échocardiographie reste la méthode de première intention et permet également de guider le chirurgien ou cardiologue interventionnel dans la réparation de la lésion valvulaire lorsque cela est possible. La place de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) est croissante, tant pour confirmer le mécanisme et la sévérité que pour apporter une mesure fiable et reproductible des dimensions cavitaires. On peut également recourir au scanner cardiaque pour mieux apprécier l'anneau mitral, les calcifications ou les artères coronaires.

Pourquoi recourir à l'imagerie de coupe ?

L'échocardiographie transthoracique (ETT) a révolutionné l'étude des valvulopathies et reste suffisante dans la plupart des cas. Néanmoins, elle peut présenter certaines limites : manque d'échogénicité du patient, difficultés à étudier la zone de convergence dans les fuites très excentrées, incertitudes dans le mécanisme, manque de reproductibilité des mesures lors du suivi, sous-estimation des volumes ventriculaires ou atriaux, variabilité en fonction des conditions de charge.

L'échocardiographie transœsophagienne (ETO) est limitée par son caractère semi-invasif mais apporte une meilleure résolution en résolvant les problèmes d'échogénicité. Néanmoins, l'apport de l'ETO s'est nettement réduit ces dernières années avec l'amélioration de la qualité de l'imagerie de seconde harmonique. En cas de réparation mitrale chirurgicale comme percutanée, l'ETO est la

seule modalité permettant d'analyser précisément et en temps réel la valve, et de guider l'opérateur dans sa procédure.

Il existe néanmoins des situations cliniques où, malgré un examen échocardiographique satisfaisant, il persiste un doute dans la prise en charge : paramètres de quantification de la sévérité de la fuite discordants, IM dans la "zone grise" entre moyenne et sévère, IM non holosystolique moyenne avec dilatation cavitaire ou présence de symptômes, fonction systolique ventriculaire gauche (VG) *bordeline* (entre 55 et 65 %), diminution minimale de la fraction d'éjection ventriculaire gauche (FEVG) au cours du suivi... Le recours à une autre technique d'évaluation indépendante est un atout majeur dans ce type de situation. Récemment, des études remnographiques ont suggéré l'existence d'une zone d'incertitude des paramètres échocardiographiques, différenciant mal les fuites moyennes et sévères, en particulier en cas d'IM mésotélésystoliques ou de fuites complexes avec de multiples jets [1].

L'IRM permet également une étude fiable du remodelage histologique et volumique du massif cardiaque.

Le scanner cardiaque possède, quant à lui, une valeur ajoutée pour l'étude de la présence de calcifications et des rapports anatomiques avec la chambre de chasse ventriculaire gauche.

Apport de l'imagerie par résonance magnétique

L'IRM est une méthode d'imagerie non invasive, non irradiante, permettant une évaluation fiable et reproductible :

- de la sévérité de la fuite (par le calcul du volume régurgité) ;
- du remodelage atrial gauche (OG) et VG (volumes télédiaستولique [VTD], télésystolique [VTS] et fraction d'éjection [FEVG]) ;
- de la présence de fibrose myocardique (rehaussement tardif, T1-mapping).

1. Dans l'évaluation de la sévérité de la fuite mitrale

L'IRM et l'échocardiographie proposent deux approches différentes de l'évaluation de la sévérité d'une fuite mitrale. L'approche échocardiographique est **multiparamétrique**, associant une analyse qualitative, semi-quantitative et quantitative. Alors qu'une grande partie des paramètres quantitatifs échocardiographiques repose sur l'analyse du jet de régurgitation, l'IRM propose une quantification indépendante des caractéristiques du jet, basée sur le calcul de volumes (ventriculaire et aortique).

>>> La quantification échocardiographique du volume régurgité (VR) peut se faire selon plusieurs méthodes :

- la plus utilisée, basée sur la zone de convergence du jet de régurgitation (méthode de la PISA) que l'on nommera VR PISA ;
- d'autres méthodes sont également indépendantes du jet : la méthode des "volumes" (comparant les volumes d'éjection aortique en Doppler pulsé et

le volume d'éjection total calculé à partir des VTD et VTS mesurés en Simpson ou en 3D) ;

– la méthode des "débits", de réalisation parfois difficile (étude de la différence entre le volume d'éjection aortique et mitral en Doppler pulsé).

>>> La quantification en IRM est indépendante des caractéristiques du jet. Le VR obtenu en IRM (VR IRM) est calculé en faisant la différence entre le volume d'éjection systolique total obtenu à partir des séquences SSFP (VTD-VTS) et le volume d'éjection aortique obtenu à partir du contraste de phase (**fig. 1**). La reproductibilité de cette technique est excellente et même supérieure à celle de l'échocardiographie (corrélation intraclasse à 0,9 pour l'IRM vs 0,65 pour l'écho) [1].

>>> Comparaison du VR obtenu en IRM et par la méthode de la PISA

Ces deux approches ne sont pas superposables et des discordances entre l'IRM et l'échographie ont été rapportées. En

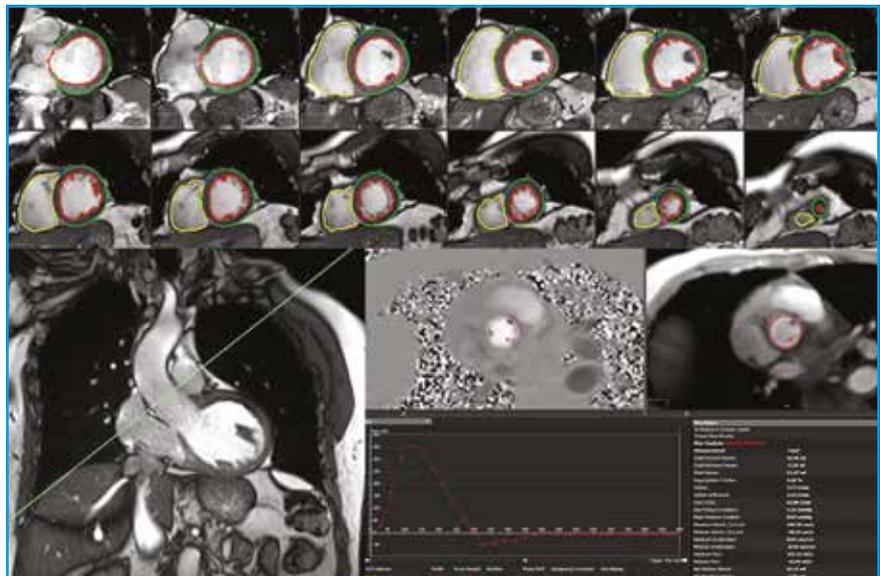


Fig. 1 : Méthode de calcul du volume régurgité en IRM. Les contours endocardiques du ventricule gauche (ligne rouge) sont tracés en diastole et en systole sur une coupe petit axe de la base jusqu'à l'apex. La différence entre le volume télédiaستولique et télésystolique donne le volume d'éjection systolique total. Le volume d'éjection antérograde aortique est obtenu sur une coupe située au-dessus du plan de la valve aortique en contraste de phase. La différence entre le volume d'éjection systolique total et le volume d'éjection aortique représente le volume régurgité de l'insuffisance mitrale.

I Revues générales

2015, une étude multicentrique prospective [1] a remis en question l'évaluation échocardiographique de l'IM en rapportant une adéquation avec l'IRM dans seulement 2/3 des cas. Pire, contrairement au VR IRM, le VR PISA ne prédisait pas le remodelage VG après correction chirurgicale de la fuite.

Ces résultats ne sont en réalité pas surprenants. En effet, selon une récente méta-analyse [2], la corrélation entre les deux méthodes est moyenne ($r = 0,74$), avec une surestimation significative (+5 mL en moyenne) du VR PISA par rapport au VR IRM. Pour mémoire, les seuils de sévérité du VR PISA ont été déterminés avec comme référence l'angiographie ventriculaire gauche [3], qui est semi-quantitative et n'a jamais été elle-même validée rigoureusement [4]. Il existe ainsi un chevauchement important des valeurs de VR PISA et des grades de sévérité angiographiques, amenant à une précision diagnostique imparfaite (fig. 2). Il n'est donc pas surprenant qu'une discordance existe également avec le VR IRM.

Les IM jugées "moyennes à sévères" (ou grade 3) en échographie regroupent ainsi d'authentiques IM sévères bénéficiant d'une correction chirurgicale et des IM moyennes surestimées par les critères de la PISA. Le recours à l'imagerie multimodalité est dans ces cas-là nécessaire pour améliorer la sélection des patients.

Par ailleurs, en l'absence de seuils de sévérité spécifiques pour le VR IRM, les recommandations actuelles préconisent d'utiliser ceux de l'échographie. Il a été proposé d'utiliser plutôt la fraction de régurgitation ou une valeur de VR IRM > 55 mL qui a montré sa valeur prédictive pour le recours à la chirurgie chez des patients porteurs d'une IM asymptomatique [5].

Finalement, l'étude de la zone de convergence reste une méthode robuste dans la plupart des cas, mais qu'il faut impérativement intégrer et pondérer avec les autres méthodes échographiques. La difficulté réside dans le manque de véritable *gold standard* pour la quantification de l'IM, empêchant de conclure

sur la réelle performance diagnostique de chacune des techniques.

>>> Comparaison du VR obtenu en IRM et par les volumes en échocardiographie

En utilisant une méthode volumétrique en échocardiographie 3D, proche de celle de l'IRM, pour quantifier le VR (à partir du volume 3D et du volume d'éjection systolique aortique obtenu en Doppler pulsé), les corrélations avec le VR IRM étaient meilleures qu'avec la PISA (biais 3 mL ; $r = 0,90$) [2, 6]. Cette méthode simple peut être réalisée en échocardiographie 2D chez tous les patients en prenant soin de tracer un contourage des volumes VG "au plus large", excluant largement les trabéculations, ou en utilisant l'écho 3D [6]. Il est donc indispensable lorsque cela est possible, et en particulier dans les cas complexes (IM non holosystoliques ou excentrées), de confronter les résultats obtenus par la PISA à ceux de la méthode des volumes dans l'évaluation échocardiographique.

Au total, il faut retenir que le VR PISA et le VR IRM ne sont pas interchangeables. La limite principale de l'IRM est l'absence de seuils spécifiques. L'utilisation de la fraction de régurgitation ou de valeurs de VR déterminées spécifiquement dans des études multicentriques pronostiques permettront d'améliorer la pertinence de l'IRM.

2. Dans l'évaluation du remodelage cavitaire

Les recommandations américaines et européennes insistent sur l'importance d'évaluer conjointement la sévérité de la régurgitation et celle de ses effets hémodynamiques sur le ventricule et l'oreillette gauche. Ainsi, en dehors de l'IM aiguë, l'absence de dilatation cavitaire gauche ne plaide pas en faveur d'une régurgitation sévère. Le remodelage ventriculaire est bien étudié par les diamètres télédiastolique et télésystolique en échocardiographie. Le diamètre télésystolique prédira bien la

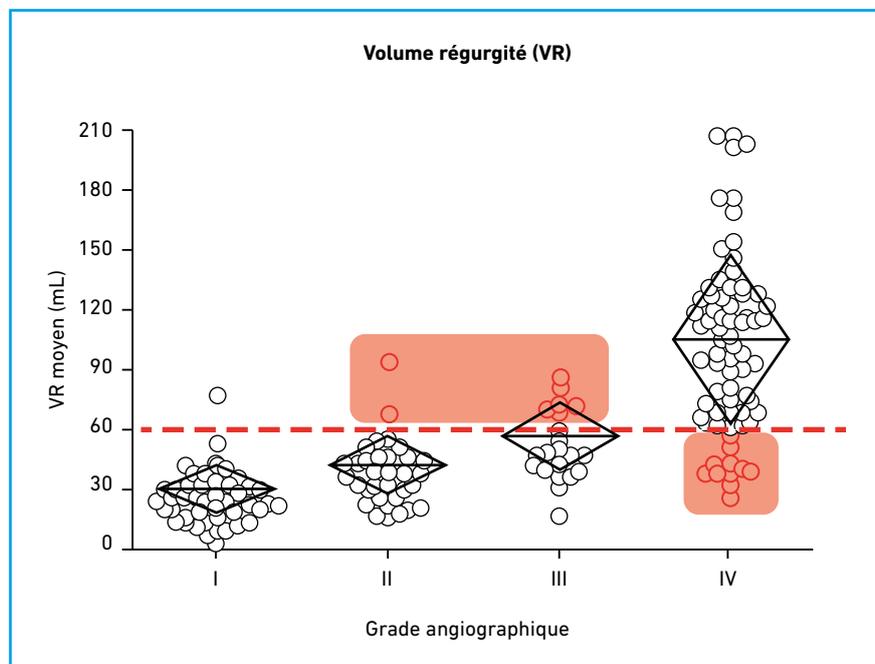


Fig. 2 : Comparaison VR par la PISA et grade angiographique dans l'étude de Dujardin *et al.* [3]. Existence d'un chevauchement important des valeurs, en particulier pour les grades 2 et 3 angiographiques.

fonction systolique postopératoire. Mais ces diamètres ne sont pas très bien corrélés aux volumes ventriculaires compte tenu de la sphéricité du ventricule en cas d'IM sévère.

Même si l'évaluation échocardiographique est la méthode de première intention, l'évaluation des volumes et de la fonction systolique VG par l'IRM est actuellement le **gold standard**, la méthode de référence. En effet, l'échocardiographie bidimensionnelle présente de nombreuses limites comme une sous-estimation des volumes VG en raison du *foreshortening* (troncature) de l'apex ventriculaire ou de la présence de trabéculations. Le volume de l'OG, dont la valeur pronostique a encore été rapportée récemment par la Mayo Clinic [7], est également sous-estimé par l'échographie par rapport à l'IRM.

L'autre avantage de l'IRM par rapport à l'échocardiographie est son excellente reproductibilité qui permettra, lors du suivi d'un patient asymptomatique, d'estimer de manière fiable l'évolution de la dilatation cavitaire au cours du temps.

Enfin, l'étude du mécanisme et la localisation du prolapsus sont possibles en IRM mais l'échocardiographie transœsophagienne, en particulier 3D, reste la référence, permettant de guider la réparation chirurgicale ou percutanée per-procédure (fig. 3).

3. Dans l'étude du myocarde et du risque rythmique

Bien que la maladie de Barlow ait longtemps été considérée comme bénigne, des cas d'arythmie ventriculaire grave et de mort subite ont été rapportés. La

notion de prolapsus valvulaire mitral arythmogène, associant souvent chez une femme jeune la présence d'une valve très myxoïde avec prolapsus bivalvulaire, d'une disjonction annulaire mitrale, de troubles de la repolarisation sur l'ECG de base (inversion des ondes T en inférieur, sous-décalage ST latéral) et d'une hyperexcitabilité ventriculaire au Holter ECG a ainsi été proposée récemment [8, 9] (fig. 4).

La disjonction annulaire de la valve mitrale (MAD) se définit comme une séparation entre la zone d'insertion de la valve mitrale au niveau de la paroi auriculaire et la paroi libre du VG, en dessous de l'anneau mitral postérieur. Cette zone de fibrose serait impliquée dans la genèse des troubles du rythme ventriculaire. Des travaux récents ont montré que sa détection était

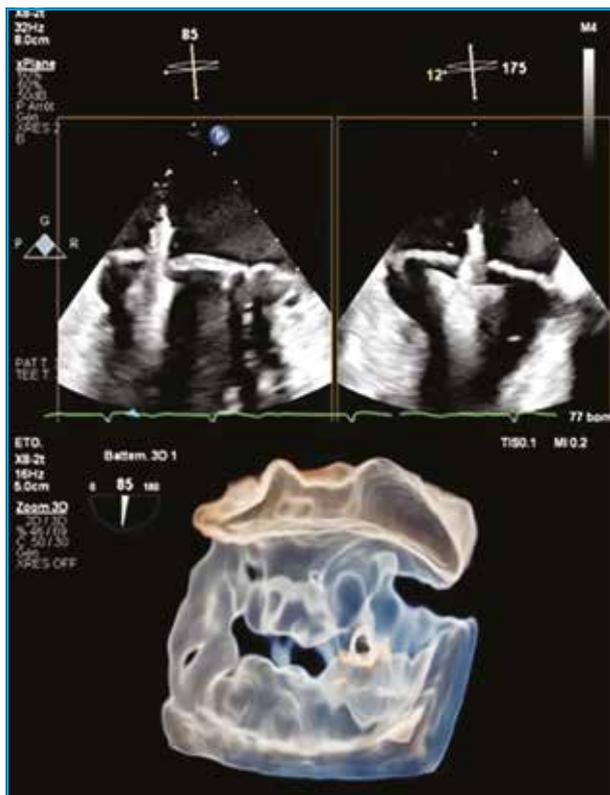


Fig. 3 : L'échocardiographie transœsophagienne permet le monitoring et le guidage per-procédure (ici un MitraClip) Les nouvelles modalités de traitement de l'image 3D permettent une étude des différents plans en transparence (ici le clip en transparence sous les deux feuillets valvulaires capturés).

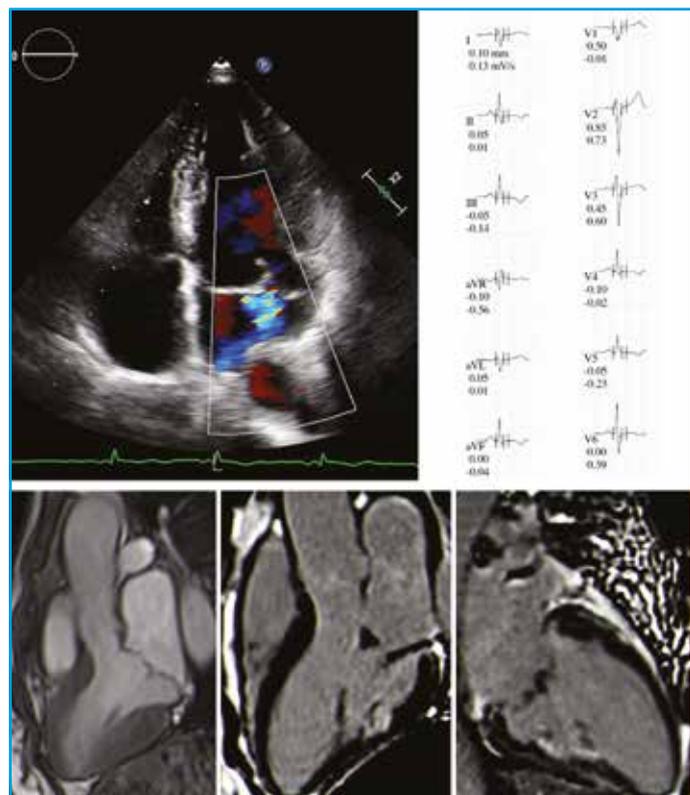


Fig. 4 : Exemple d'une patiente porteuse d'une maladie de Barlow associée à une atteinte bivalvulaire avec fuite mitrale moyenne et hyperexcitabilité ventriculaire. Présence de rehaussement tardif et inversion des ondes T en inférolatéral sur l'ECG de repos.

I Revues générales

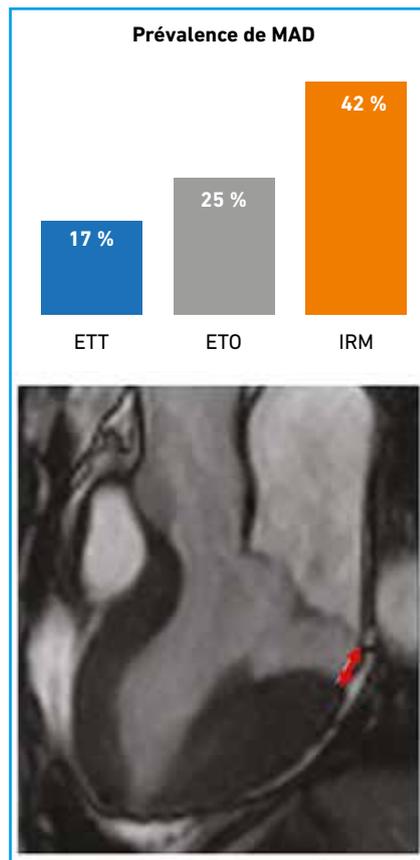


Fig. 5 : Détection de la disjonction annulaire mitrale (MAD) selon les différentes techniques d'imagerie.

meilleure en IRM qu'en échographie transthoracique [10] ou transœsophagienne [11] (*fig. 5*). La fibrose diffuse (*T1-mapping*) ou la fibrose de remplacement (rehaussement tardif) sont détectables grâce à l'IRM.

La présence de fibrose de remplacement a été mise en évidence de manière plus fréquente chez les patients porteurs d'une fuite mitrale, en particulier dans la zone des muscles papillaires en raison d'importantes contraintes mécaniques liées au prolapsus valvulaire. La présence de cette fibrose serait également associée à une hyperexcitabilité ventriculaire plus marquée [12]. La fibrose interstitielle diffuse étudiée grâce à la technique non invasive et sans injection de produit de contraste dite de "*T1-mapping*" a, quant à elle, montré une valeur pronostique pour guider le

POINTS FORTS

- L'échocardiographie est l'examen de première ligne mais elle peut être complétée par l'imagerie de coupe (scanner, IRM).
- L'IRM a un rôle croissant dans l'évaluation des insuffisances mitrales primaires.
- L'IRM apporte une évaluation fiable et reproductible de la sévérité de l'IM. Néanmoins, il faut connaître les discordances dans la quantification entre IRM et échocardiographie ainsi que l'absence de seuils spécifiques pour le VR évalué par l'IRM.
- L'IRM permet une évaluation fiable et reproductible des dimensions VG et OG ainsi que de la FEVG, et permet de corriger une éventuelle sous-estimation par l'échocardiographie.
- L'IRM permet la détection de fibrose myocardique et d'anomalies morphologiques pouvant favoriser les troubles du rythme ventriculaire.
- Le scanner cardiaque permet une approche anatomique des coronaires et des calcifications mitrales.

timing de la chirurgie dans l'IM asymptomatique [13].

4. Indications actuelles dans les recommandations ASE/ESC et indications potentielles

>>> Indications actuelles :

- Évaluation échocardiographique non satisfaisante (ASE/SCMR 2017).

- Discordance entre la sévérité de l'IM et les données cliniques (ESC; ACC/AHA).

>>> Indications potentielles :

- Évaluation échocardiographique non satisfaisante :
 - incertitude dans les IM "moyennes à sévères" (anciennement grade 3);
 - quantification difficile ou incomplète en échocardiographie;
 - fonction systolique VG *borderline* (FE entre 55 et 65 %) dans les IM "moyennes à sévères";
 - diminution minimale de la FEVG échocardiographique passant en dessous

de 60 % au cours du suivi dans les IM asymptomatiques.

- Discordance entre la sévérité de l'IM et les données cliniques :

- présence de symptômes avec une IM moyenne et FE préservée;
- IM jugée moyenne avec dilatation VG ou altération de la FEVG

■ Apport du scanner cardiaque

Le scanner cardiaque peut être intéressant chez les patients les plus jeunes dans le cadre du bilan préopératoire pour exclure une maladie coronaire associée. Bien que l'excellente résolution spatiale du scanner permette d'étudier la zone de prolapsus et l'anatomie mitrale, le scanner cardiaque avec ciné-imaging n'est pas réalisé en pratique courante compte tenu de l'irradiation et de l'injection de produit de contraste. En plus de l'évaluation de l'étendue des calcifications annulaires mitrales (*fig. 6*), le scanner cardiaque permet d'étudier la géométrie ventriculaire, en particulier l'angle

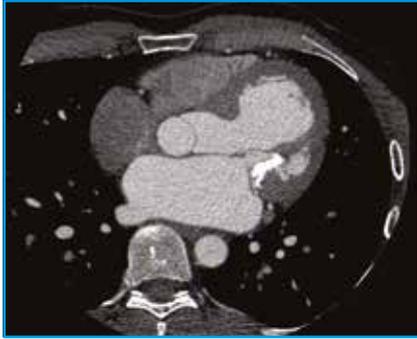


Fig. 6 : Scanner cardiaque mettant en évidence une calcification annulaire infiltrant le pilier mitral.

entre la valve antérieure et la chambre de chasse VG. Ceci est fondamental pour l'évaluation préopératoire des nouvelles techniques percutanées de remplacement valvulaire mitral.

BIBLIOGRAPHIE

1. URETSKY S, GILLAM L, LANG R *et al.* Discordance between echocardiography and mri in the assessment of mitral regurgitation severity: A prospective multicenter trial. *J Am Coll Cardiol*, 2015;65:1078-1088.
2. SKOLDBORG V, MADSEN PL, DALSGAARD M *et al.* Quantification of mitral valve regurgitation by 2d and 3d echocardiography compared with cardiac magnetic resonance a systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2020;36:279-289.
3. DUJARDIN K, ENRIQUEZ-SARANO M, BAILEY K *et al.* Grading of mitral regurgitation by quantitative doppler echocardiography - calibration by left ventricular angiography in routine clinical practice. *Circulation*, 1997;96:3409-3415.
4. URETSKY S, ARGULIAN E, SUPARIWALA A *et al.* A comparative assessment of echocardiographic parameters for determining primary mitral regurgitation severity using magnetic resonance imaging as a reference standard. *J Am Soc Echocardiogr*, 2018;31:992-999.
5. MYERSON SG, D'ARCY J, CHRISTIANSEN JP *et al.* Determination of clinical outcome in mitral regurgitation with cardiovascular magnetic resonance quantification. *Circulation*, 2016;133:2287-2296.
6. LEVY F, MARECHAUX S, IACUZIO L *et al.* Quantitative assessment of primary mitral regurgitation using left ventricular volumes obtained with new automated three-dimensional transthoracic echocardiographic software: A comparison with 3-tesla cardiac magnetic resonance. *Arch Cardiovasc Dis*, 2018; 111:507-517.
7. ESSAYAGH B, ANTOINE C, BENFARI G *et al.* Prognostic implications of left atrial enlargement in degenerative mitral regurgitation. *J Am Coll Cardiol*, 2019; 74:858-870.
8. ESSAYAGH B, SABBAG A, ANTOINE C *et al.* Presentation and outcome of arrhythmic mitral valve prolapse. *J Am Coll Cardiol*, 2020;76:637-649.
9. BASSO C, ILICETO S, THIENE G *et al.* Mitral valve prolapse, ventricular arrhythmias, and sudden death. *Circulation*, 2019;140:952-964.
10. ESSAYAGH B, IACUZIO L, CIVAIA F *et al.* Usefulness of 3-tesla cardiac magnetic resonance to detect mitral annular disjunction in patients with mitral valve prolapse. *Am J Cardiol*, 2019;124:1725-1730.
11. MANTEGAZZA V, VOLPATO V, GRIPARI P *et al.* Multimodality imaging assessment of mitral annular disjunction in mitral valve prolapse. *Heart*, 2021;107:25-32.
12. KITKUNGVAN D, NABI F, KIM RJ *et al.* Myocardial fibrosis in patients with primary mitral regurgitation with and without prolapse. *J Am Coll Cardiol*, 2018;72:823-834.
13. KITKUNGVAN D, YANG EY, EL TALLAWI KC *et al.* Prognostic implications of diffuse interstitial fibrosis in asymptomatic primary mitral regurgitation. *Circulation*, 2019;140:2122-2124.

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