

NUMÉRO THÉMATIQUE

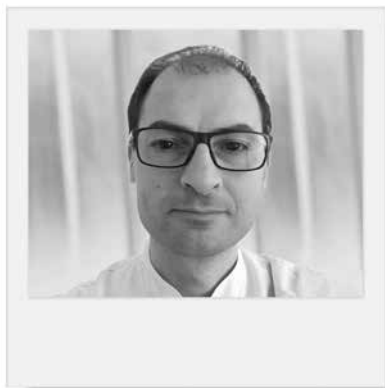
Comment évaluer un rétrécissement aortique ?

Intérêt des autres modalités d'imagerie dans l'évaluation du rétrécissement aortique

RÉSUMÉ : Le score calcique est un outil performant pour le diagnostic de sténose aortique serrée. Il est intéressant dans les cas où le diagnostic reste litigieux en échographie : échogénicité médiocre, situations de "low flow/low gradient" avec ou sans préservation de la fonction systolique. En outre, l'existence d'un score calcique élevé est significatif d'un pronostic dégradé.

Le scanner est une alternative moins invasive à l'ETO pour la réalisation d'une planimétrie. Il surestime néanmoins la surface fonctionnelle et, comme l'ETO, pose des problèmes de reproductibilité.

L'IRM ne constitue pas à ce jour un outil satisfaisant pour l'évaluation des vitesses maximales transaortiques et est rarement réalisée pour la mesure de la planimétrie. Son intérêt particulier tient plutôt à sa capacité à démontrer le rehaussement tardif significatif de fibrose. La mise en évidence d'un tel rehaussement tardif est associée à un pronostic défavorable et à un bénéfice limité du remplacement valvulaire. À l'avenir, il pourrait intervenir dans l'indication d'intervention chez des patients ne remplissant pas les critères habituels de remplacement valvulaire.



→ L. MEILLE

Clinique Rhône Durance, AVIGNON.

La sténose aortique calcifiée est la première cause de remplacement valvulaire dans les pays développés. Le vieillissement de la population et le développement des techniques de remplacement percutané sont destinés à en augmenter encore la prévalence dans les années à venir.

Le diagnostic de sténose aortique serrée est aujourd'hui basé sur l'échographie transthoracique (ETT) [1]. Sa réalisation nécessite une fenêtre échographique adéquate, d'obtention parfois aléatoire (BPCO). Disposer d'une autre méthode diagnostique peut s'avérer précieux. Une fois ce diagnostic de sténose serrée posé, l'indication de remplacement valvulaire est une autre question souvent difficile. D'après les recommandations actuelles, le développement de symptômes ou la dégradation de la fraction d'éjection (FE) sont

des critères de classe I de remplacement valvulaire. Cependant, la dégradation de la fraction d'éjection est un événement tardif dans la sténose aortique. La fonction longitudinale, première affectée, est mal appréciée par la fraction d'éjection, qui reflète surtout la contraction radiale. Il est rare que l'indication de remplacement soit ainsi posée sur cet argument.

Par ailleurs, le mauvais pronostic de l'apparition d'une dyspnée, d'un angor ou d'une syncope a été établi sur des cohortes de patients jeunes (63 ans au décès dans l'étude princeps de Braunwald). Établir l'existence de symptômes est beaucoup plus difficile chez des patients qui, à l'heure du TAVI, se présentent à des âges plus avancés, sont sédentaires et cumulent les comorbidités. Cela amène à rechercher de nouveaux critères d'intervention.

L'imagerie en coupe, désormais plus accessible, plus performante et moins irradiante, a connu un développement exponentiel au cours de la dernière décennie. Elle apporte des données complémentaires aux données échographiques, concernant tant la valve que le myocarde. Dans cette courte revue, nous verrons quels enseignements en attendre pour l'évaluation de la sévérité et pour la prise en charge du rétrécissement aortique.

Scanner cardiaque

Le scanner multibarrette permet l'acquisition d'un volume cardiaque en un temps d'apnée qui ne dépasse pas 6 à 8 secondes sur les systèmes récents et est donc compatible avec les capacités d'apnée de la majorité des patients, mêmes âgés. La mesure du score calcique ne suppose pas d'injection d'iode et ne justifie qu'une irradiation mineure. La masse de calcium est alors rendue sous forme d'un score d'Agatston : sommes des pixels dont la densité excède 130 UH dans le cadre d'un protocole d'acquisition standardisé, non constructeur-dépendant.

La réalisation d'une planimétrie de l'orifice aortique, ou la vérification conjointe du réseau coronaire, nécessite l'injection de 60 à 80 cc de produit de contraste (adapté à la morphologie du patient). Dans le cadre du "TAVI planning", la vérification des accès vasculaires iliaques ou supra-aortiques nécessitera l'administration de 20 ou 30 cc supplémentaires, en une ou deux injections, ce dont il faut tenir compte chez des patients dont la fonction rénale est souvent défaillante.

1. Score calcique

Les facteurs de risque prédisposant à la constitution d'une sténose aortique serrée [2] sont très similaires à ceux de l'athérome : dyslipidémie, tabac, âge. La lésion initiale est un phénomène inflammatoire actif, par certains points

similaire à l'athérosclérose, impliquant brèche endothéliale, accumulation de lipides et calcifications. Il semble néanmoins qu'une fois le processus de calcification engagé, il se pérennise de lui-même : "*calcium begets calcium*" ("le calcium engendre le calcium"). Les études d'intervention portant sur le cholestérol [3] se sont d'ailleurs avérées infructueuses.

L'évaluation de la charge calcique se trouve donc au cœur de la physiopathologie de la sténose aortique ; elle est susceptible de constituer en soi un critère diagnostique et pronostique. L'avènement du scanner d'abord à faisceau d'électrons (EBCT) [4] a permis le premier une évaluation robuste et reproductible du score calcique, validée *versus* la mesure de cusps aortiques explantés. Dans l'étude princeps de 2004 de Messika-Zeitoun [4], une relation curvilinéaire forte entre surface valvulaire et score calcique était mise en évidence pour des sténoses débutantes. De petits incréments de charge calcique conduisaient à une diminution importante de

la surface. En revanche, l'aggravation d'une sténose déjà significative vers une sténose serrée était associée à une augmentation importante du score calcique (**fig. 1**). Des seuils associés à une sténose serrée étaient définis, propres à la technique alors employée (scanner à faisceau d'électrons/EBCT).

Ces données ont été confirmées au moyen de la technologie actuelle de scanner multibarrette [5] (**fig. 2**). Cueff *et al.* ont analysé 179 patients présentant une sténose aortique modérée à serrée et une fraction d'éjection préservée, définissant un seuil de 1651 AU (*Arbitrary units*) comme offrant la meilleure précision diagnostique (sensibilité 82 %, spécificité 80 %) [5]. Il persiste néanmoins une vaste "zone grise" entre les seuils offrant la meilleure spécificité et ceux offrant la meilleure sensibilité. De surcroît, la relation entre charge calcique et sévérité diffère selon le sexe du patient [6], les sténoses serrées étant associées à des charges calciques absolues ou indexées moindres chez la femme que chez l'homme.

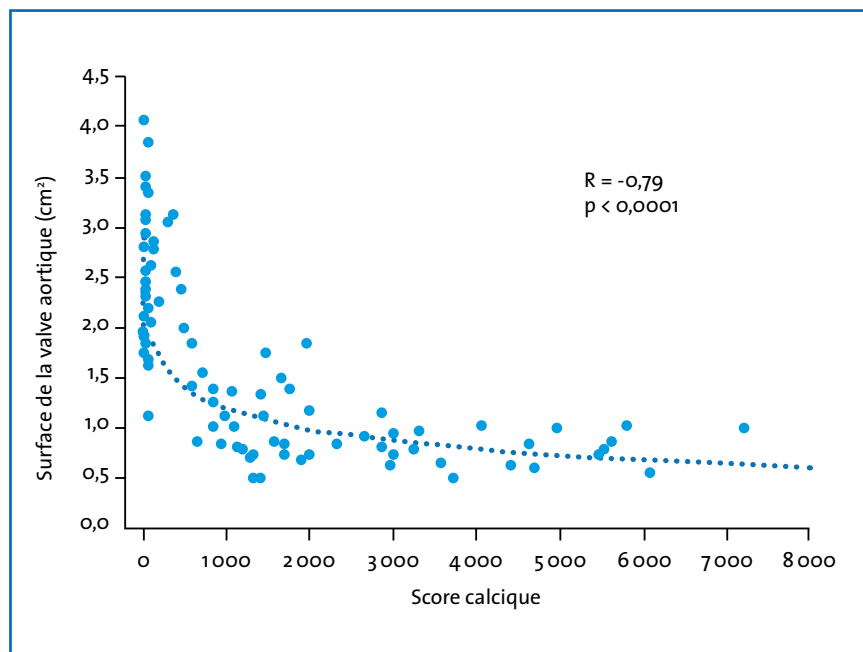


FIG. 1 : Relation curvilinéaire entre score calcique et surface valvulaire (d'après [4]).

NUMÉRO THÉMATIQUE

Comment évaluer un rétrécissement aortique ?

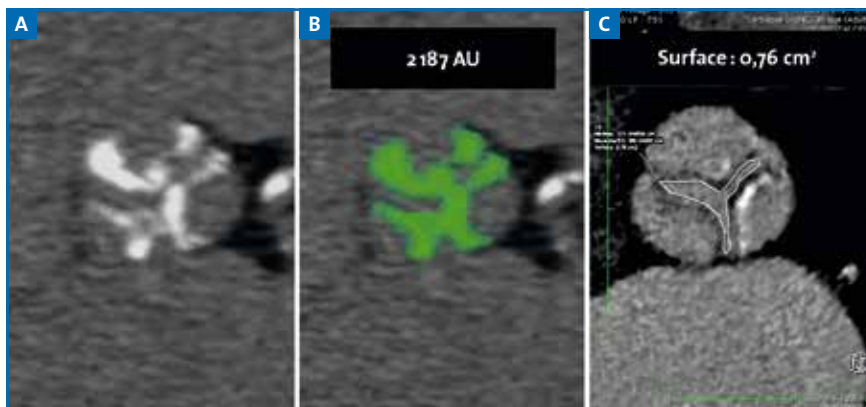


FIG. 2 : Homme de 78 ans. **A :** scanner non injecté ; **B :** score calcique de 2187 AU suivant Agatston, en faveur d'une sténose serrée ; **C :** scanner injecté : planimétrie de 0,76 cm².

Des seuils de score calcique spécifiques au sexe ont enfin été définis [7]. Sur une population importante de 652 patients, Clavel *et al.* ont ainsi défini pour l'homme un seuil de 2065 AU associé à la meilleure précision diagnostique (sensibilité 86 %, spécificité 89 %), ainsi qu'un seuil plus sensible de 1661 (Se = 95 %) en deçà duquel une sténose serrée est improbable et un seuil spécifique de 3381 au-delà duquel une sténose non serrée était cette fois improbable (Sp = 95 %). De même, pour la femme, les mêmes seuils respectivement de 1274, 1681 (spécifique) et 791 (sensible) ont été définis (**tableau I**).

2. Limites du score calcique

Tout comme l'échographie, le scanner est soumis à des contingences techniques : la fibrillation auriculaire, les

difficultés d'apnée peuvent dégrader la qualité de l'image. Peu de patients ont néanmoins été exclus à ce titre dans les travaux publiés.

Les bicuspidies n'ont pas fait l'objet d'une étude indépendante et constituent une proportion faible ou non déterminée des cohortes étudiées (15 %) [4]. Elles sont associées à des charges calciques significativement supérieures [8]. Il est douteux que les seuils définis sur des cohortes de valves majoritairement tricuspides puissent s'appliquer à ce sous-groupe.

3. Quelle place dans la prise en charge ?

L'échographie est la pierre angulaire du diagnostic de la sténose aortique serrée, mais les situations sont nombreuses où elle ne permet pas seule de conclure, en

cas d'échogénicité médiocre en particulier. Le scanner peut alors être d'un apport précieux, excluant quasiment le diagnostic en cas de score calcique bas et le suggérant fortement en cas de score très élevé. Il existe cependant une large "zone grise" entre ces valeurs.

La technique est intéressante dans les situations de "bas débit/bas gradient". Lorsqu'il existe une dysfonction ventriculaire gauche (FE < 40 %), la décision d'intervention est basée sur la définition d'une réserve contractile et l'exclusion d'une sténose pseudo-sévère en échographie-dobutamine. L'évaluation échographique est cependant souvent délicate et le doute peut persister quant à la sévérité de la sténose, notamment en l'absence de réserve contractile. La performance diagnostique du scanner dans ce sous-groupe a été validée par Cueff *et al.* [5] : en appliquant à 49 patients "bas débit/bas gradient" le seuil de 1651 AU défini dans la même étude sur des patients à gradient élevé, seuls 2 patients ont été mal classés.

La sténose aortique en "bas débit/bas gradient" paradoxal, avec préservation de la fraction d'éjection, est une entité débattue, de prévalence très variable suivant les études (3-24 %). Son pronostic est considéré comme défavorable par certains auteurs et justifiable d'une correction chirurgicale ou, à l'inverse, comme similaire à celui d'une sténose modérée [9]. La proportion de sténoses pseudo-sévères serait importante dans ce sous-groupe, allant jusqu'à 30 % des patients : discriminer les sténoses peu calcifiées parmi elles présente donc un intérêt particulier [10].

4. Score calcique et pronostic

L'impact pronostique de la charge calcique a d'abord été mis en évidence en échographie par Rosenhek [11] : l'évaluation semi-quantitative des calcifications valvulaires apporte des informations indépendantes sur la survie sans événe-

	Seuil (AU)	Se (%)	Sp (%)	VPP (%)	VPN (%)
Femmes	1681	69	95	95	65
	1274	86	89	93	79
	791	95	63	81	88
Hommes	3381	59	95	95	59
	2065	89	80	88	82
	1661	95	70	84	90

TABLEAU I : Performances diagnostiques de différents seuils de score calcique pour le diagnostic de sténose aortique serrée (d'après [7]). **Se :** sensibilité ; **Sp :** spécificité ; **VPP :** valeur prédictive positive ; **VPN :** valeur prédictive négative.

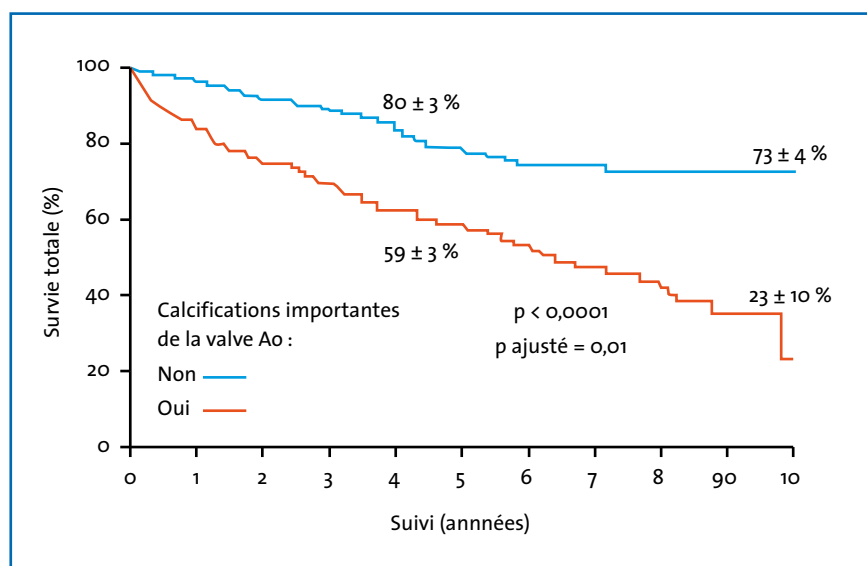


Fig. 3 : Survie en fonction de l'existence ou non de calcifications aortiques sévères (≥ 1274 AU chez la femme et ≥ 2065 AU chez l'homme) (d'après [12]).

ments. Cette évaluation est néanmoins grevée par une reproductibilité inter et intra-observateur médiocre.

Dans l'étude princeps de Messika-Zeitoun *et al.* [4], en scanner à faisceau d'électrons, le score calcique était le facteur le plus important de survie sans événements. Cette donnée a été confirmée par Clavel *et al.* [12] en scanner multibarrette, avec définition de seuils associés à une surmortalité très proches de ceux définis par la même équipe pour la sévérité de la sténose (**fig. 3**). Ils retrouvaient ainsi des scores calciques associés à une surmortalité de 1274 AU pour la femme et de 2065 AU pour l'homme. Des seuils de densité calcique (score calcique indexé sur la chambre de chasse) de 300 et 500 AU/cm² étaient également définis.

5. Scanner et planimétrie aortique

La très bonne résolution spatiale du scanner rend séduisante la réalisation d'une planimétrie, à l'instar de l'échographie transœsophagienne (ETO) (**fig. 2**). Échographies transthoracique, transœsophagienne et scanner ont été

comparés dans une dizaine d'études de petits effectifs [13]. La corrélation entre ETO et scanner apparaît très bonne, mais les deux techniques amènent à une surestimation systématique de 0,1 cm² environ vis-à-vis de l'ETT et du cathétérisme. Cela reflète la différence entre surface effective calculée en ETT, correspondant à la *vena contracta*, et surface anatomique.

Le scanner semble donc *a priori* un outil fiable et moins invasif que l'ETO lorsqu'il s'agit d'obtenir une planimétrie, d'autant qu'il peut être couplé à la réalisation d'un score calcique et éventuellement à un bilan pré-TAVI. Il faut néanmoins garder à l'esprit que la reproductibilité des mesures n'est pas très bonne [14], en particulier au voisinage des seuils de sévérité. La même limite affecte cependant l'ETO [15] : la réalisation d'une planimétrie par l'une ou l'autre de ces techniques doit rester de seconde intention.

6. Scanner et TAVI

Le scanner est incontournable dans la planification d'un TAVI : il permet, d'une

part, de choisir le type et la dimension de la prothèse destinée à être implantée et, d'autre part, le meilleur accès vasculaire [16].

L'implantation d'une prothèse de dimension inadaptée expose à deux écueils : effraction (dramatique) de l'anneau valvulaire en cas de surdimensionnement ou, *a contrario*, développement de fuites périprothétiques en cas de prothèse trop petite, avec un impact pronostique démontré.

7. Évaluation de la chambre de chasse

Elle est effectuée de façon fiable et reproductible en scanner : la possibilité de reconstruction dans n'importe quel plan permet d'appréhender au mieux la structure tridimensionnelle complexe de l'anneau aortique. Le compte rendu doit préciser les diamètres d'une chambre de chasse souvent ovale, sa surface et, pour certains, son périmètre. Les cusps calcifiés vont être refoulés par l'implantation de la prothèse et le scanner doit permettre de vérifier qu'ils ne viennent pas obstruer les ostia coronaires : une distance de 10 mm entre le plan de l'anneau et les ostia est ainsi habituellement requise. Enfin, l'appréciation de l'aorte ascendante est importante si une prothèse CoreValve est envisagée.

8. Évaluation des accès vasculaires

Moins rédhibitoire avec le progrès du matériel (accès en 14 *french* sur les dernières prothèses Sapiens XT), l'appréciation de l'abord vasculaire reste une cause d'exclusion de la technique, surtout chez les patients dont la fonction systolique dégradée interdit une voie apicale. L'acquisition doit inclure les différents accès possibles (fémoraux et supra-aortiques) et le compte rendu doit indiquer leurs diamètres minimaux, mais également l'existence d'un athérome susceptible d'être mobilisé par le passage du matériel.

NUMÉRO THÉMATIQUE

Comment évaluer un rétrécissement aortique ?

9. Scanner coronaire

L'évaluation des coronaires peut également être réalisée en scanner, en tirant parti des bonnes performances diagnostiques de la technique. La prévalence de la coronaropathie est néanmoins élevée dans cette population (de l'ordre de 30 à 40 %) et le recours à une coronarographie restera très souvent nécessaire.

Place de l'IRM

1. Planimétrie aortique

À l'instar du scanner, la planimétrie (fig. 4) est conduite en IRM, en positionnant un plan à l'extrémité des cusps aortiques. Les calcifications ne sont pas à l'origine de signal en IRM et ne génèrent ainsi pas d'artefacts gênants. L'IRM a démontré dans plusieurs petites études [17] une bonne corrélation et une bonne reproductibilité. Elle est associée à une surestimation de 0,2 cm² vis-à-vis de l'échographie transthoracique et du cathétérisme, rappelant la différence entre surface anatomique et surface fonctionnelle. Du fait d'une bien moindre accessibilité que les autres techniques, l'IRM est rarement réalisée pour la seule planimétrie.

2. Évaluation des gradients et vitesses maximales

L'IRM est l'imagerie du proton de l'atome d'hydrogène, dont la rotation dans le champ magnétique se fait à une fréquence et avec une phase précisément déterminées. Le mouvement des protons est à l'origine d'un déphasage proportionnel à la vitesse de déplacement et préalablement déterminé en IRM. Cela permet ainsi une évaluation exacte des vitesses et des flux sanguins pour une large plage de vitesses. La précision de cette quantification est excellente pour les flux laminaires, faisant de l'IRM une technique de référence dans l'évaluation des *shunts* ou des régurgitations valvulaires. Les gradients de pression sont également en théorie accessibles en usant de la formule de Bernoulli [18].

Dans les flux véloces et surtout turbulents, tels ceux rencontrés dans les sténoses aortiques serrées, les vitesses maximales sont cependant sujettes à un biais de sous-estimation systématique d'autant plus important que les vitesses sont élevées [19]. Les progrès technologiques, avec des gradients plus rapides et des temps d'écho plus brefs, tendent à diminuer ce biais.

En l'état actuel, l'IRM ne doit pas être utilisée, sauf exception, pour l'évaluation des gradients et vitesses maximales transaortiques.

3. Fibrose myocardique

L'augmentation de la postcharge représentée par la sténose aortique va entraîner une hypertrophie adaptative, puis le développement d'une fibrose myocardique de distribution sous-endocardique, affectant de façon prédominante la fonction longitudinale. D'abord interstitielle, peut-être réversible, elle évolue vers une fibrose de remplacement, avec perte myocytaire (fig. 4).

L'augmentation du volume extracellulaire associée à la fibrose de remplacement peut être mise en évidence par l'administration de gadolinium et les techniques de rehaussement tardif, comme dans la pathologie ischémique. Le rehaussement tardif a pu ainsi être mis en évidence dans 19 à 64 % des sténoses aortiques serrées.

En 2009, Weidemann *et al.* [20] ont démontré l'impact du rehaussement tardif sur l'évolution après remplacement valvulaire. Seuls les patients présentant un rehaussement minime ou modéré tiraient un bénéfice fonctionnel significatif de la chirurgie. *A contrario*, aucun des patients présentant une fibrose sévère ne voyait son état s'améliorer. En outre, la chirurgie n'avait aucun impact sur le rehaussement tardif, inchangé à 9 mois et paraissant définitif (fig. 5).

L'existence d'un rehaussement tardif est associée à une surmortalité importante dans l'étude de Dweck [21]: OR = 5,35 en analyse multivariée. Chez les patients pris en charge chirurgicalement, la surmortalité est avant tout concentrée dans la période postopératoire (OR = 10,9) [22]. Le rehaussement tardif a également été étudié dans les sténoses aortiques à bas

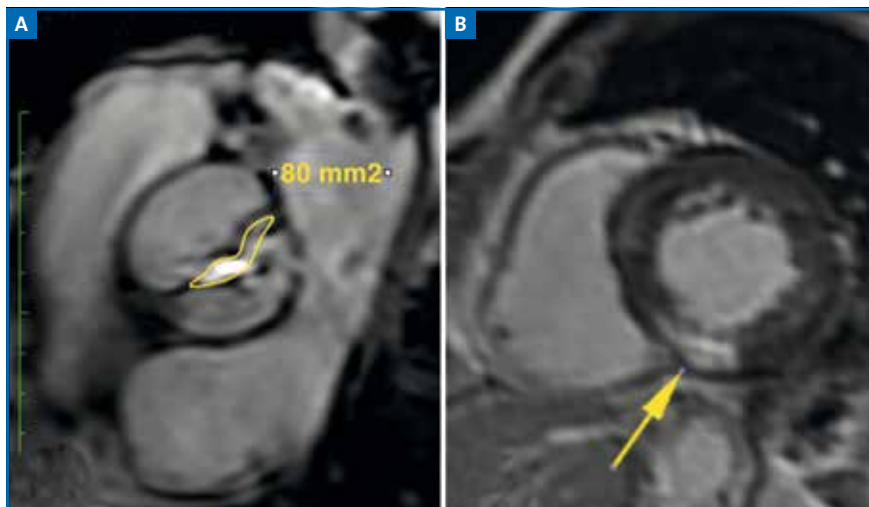


FIG. 4: Homme de 63 ans, IRM. A: planimétrie de 0,8 cm², la bicuspidie est bien mise en évidence; B: rehaussement tardif, prise de contraste myocardique.

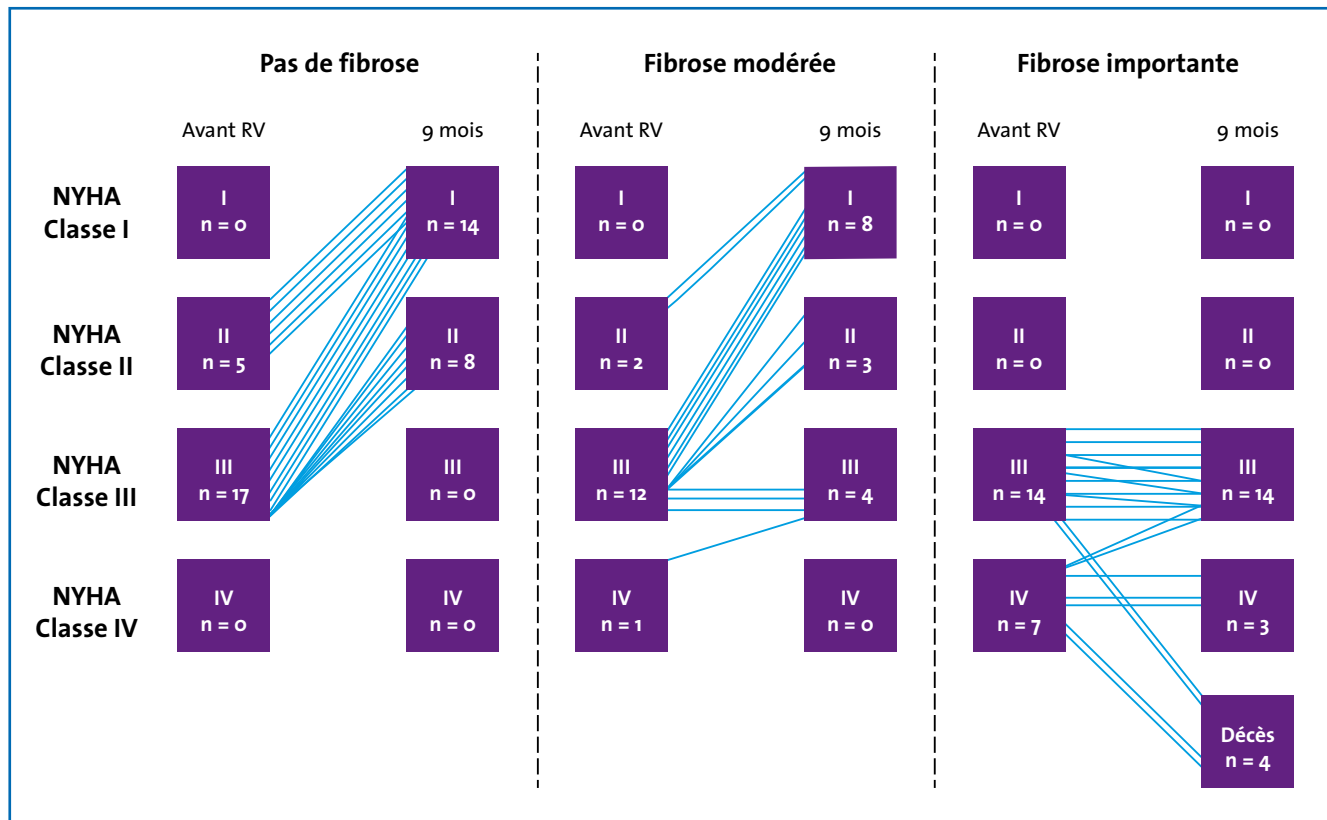


Fig. 5 : Évolution à 9 mois après remplacement valvulaire, en fonction du degré de fibrose en IRM en préopératoire : pas de bénéfice fonctionnel si la fibrose est extensive (d'après [24]). RV : remplacement valvulaire.

gradient/bas débit, vues par certains comme un stade plus avancé de la maladie, avec un pronostic plus défavorable. L'IRM apporte des arguments dans ce sens, démontrant un rehaussement tardif plus étendu que dans les sténoses à gradient élevé [23], qui corréle peut-être avec le développement d'une physiologie restrictive.

Les techniques de rehaussement tardif sont performantes pour la mise en évidence de processus focaux comme la fibrose de remplacement, mais peuvent échouer à traduire la fibrose interstitielle, processus beaucoup plus diffus. Les nouvelles techniques de T1-mapping permettent en revanche sa mise en évidence, avec à la clé la détection d'un stade plus précoce et potentiellement réversible.

4. Quelle place dans la prise en charge ?

L'apparition de symptômes ou la dégradation de la fraction d'éjection sont des éléments souvent tardifs ou d'appréciation difficile dans la sténose aortique, et de nouveaux critères d'intervention sont activement recherchés. L'existence d'un rehaussement tardif irréversible et de signification pronostique lourde pourrait devenir un tel critère d'intervention chez des patients ne remplissant pas les conditions habituelles de remplacement valvulaire.

L'impact pronostique majeur de l'existence d'un rehaussement tardif peut également amener à modifier les stratégies de valvulation à l'heure de la diffusion large du TAVI : la chirurgie

resterait une excellente solution chez des patients sans rehaussement tardif, avec un excellent pronostic à court et long terme. *A contrario*, chez des patients présentant un rehaussement tardif extensif, dont le pronostic serait de toute manière médiocre, l'option d'un TAVI avec une récupération plus rapide serait logique, et ce d'autant plus que ces patients présentent une surmortalité particulièrement importante en phase postopératoire précoce d'une chirurgie classique [22]. L'accessibilité de la technique pose cependant toujours problème, limitant largement son usage et stimulant le développement en parallèle d'outils échographiques (excursion annulaire mitrale) ou électriques associés à l'existence d'une fibrose myocardique démontrée en IRM [24].

NUMÉRO THÉMATIQUE

Comment évaluer un rétrécissement aortique ?

Bibliographie

1. NISHIMURA RA, OTTO CM, BONOW RO *et al.* 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation*, 2014; 129:e521-e643.
2. CHIN CW, PAWADE TA, NEWBY DE *et al.* Risk Stratification in Patients With Aortic Stenosis Using Novel Imaging Approaches. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2015;8:e003421.
3. ROSSEBØ AB, PEDERSEN TR, BOMAN K *et al.* Intensive lipid lowering with simvastatin and ezetimibe in aortic stenosis. *N Engl J Med*, 2008;359:1343-1356.
4. MESSIKA-ZEITOUN D, AUBRY MC, DETAINT D *et al.* Evaluation and clinical implications of aortic valve calcification measured by electron-beam computed tomography. *Circulation*, 2004;110:356-362.
5. CUEFF C, SERFATY JM, CIMADEVILLA C *et al.* Measurement of aortic valve calcification using multislice computed tomography: correlation with haemodynamic severity of aortic stenosis and clinical implication for patients with low ejection fraction. *Heart*, 2011;97:721-726.
6. AGGARWALS R, 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.
7. 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.
8. THADEN JJ, NKOMO VT, SURI RM *et al.* Sex-related differences in calcific aortic stenosis: correlating clinical and echocardiographic characteristics and computed tomography aortic valve calcium score to excised aortic valve weight. *Eur Heart J*, 2016;37:693-699.
9. TRIBOUILLOY C, RUSINARU D, MARÉCHAUX S *et al.* Low-gradient, low-flow severe aortic stenosis with preserved left ventricular ejection fraction: characteristics, outcome, and implications for surgery. *J Am Coll Cardiol*, 2015;65:55-66.
10. PIBAROT P, DUMESNIL JG. Paradoxical low-flow, low-gradient aortic stenosis: new evidence, more questions. *Circulation*, 2013;128:1729-1732.
11. ROSENHEK R, BINDER T, PORENTA G *et al.* Predictors of outcome in severe, asymptomatic aortic stenosis. *N Engl J Med*, 2000;343:611-617.
12. 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.
13. ABDULLA J, SIVERTSEN J, KOFOED KF *et al.* Evaluation of aortic valve stenosis by cardiac multislice computed tomography compared with echocardiography: a systematic review and meta-analysis. *J Heart Valve Dis*, 2009;18:634-643.
14. CLAVEL MA, MALOUF J, MESSIKA-ZEITOUN D *et al.* Aortic valve area calculation in aortic stenosis by CT and Doppler echocardiography. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2015; 8:248-257.
15. BERNARD Y, MENEVEAU N, VUILLEMINOT A *et al.* Planimetry of aortic valve area using multiplane transoesophageal echocardiography is not a reliable method for assessing severity of aortic stenosis. *Heart*, 1997;78:68-73.
16. ACHENBACH S, DELGADO V, HAUSLEITER J *et al.* SCCT expert consensus document on computed tomography imaging before transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/transcatheter aortic valve replacement (TAVR). *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2012;6:366-380.
17. JOHN AS, DILL T, BRANDT RR *et al.* Magnetic resonance to assess the aortic valve area in aortic stenosis: how does it compare to current diagnostic standards? *J Am Coll Cardiol*, 2003; 42:519-526.
18. CARUTHERS SD, LIN SJ, BROWN P *et al.* Practical value of cardiac magnetic resonance imaging for clinical quantification of aortic valve stenosis: comparison with echocardiography. *Circulation*, 2003;108: 2236-2243.
19. O'BRIEN KR, COWAN BR, JAIN M *et al.* MRI phase contrast velocity and flow errors in turbulent stenotic jets. *J Magn Reson Imaging*, 2008;28:210-218.
20. WEIDEMANN F, HERRMANN S, STÖRK S *et al.* Impact of myocardial fibrosis in patients with symptomatic severe aortic stenosis. *Circulation*, 2009;120:577-584.
21. DWECK MR, JOSHI S, MURIGU T *et al.* Midwall fibrosis is an independent predictor of mortality in patients with aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol*, 2011;58:1271-1279.
22. BARONE-ROCHETTE G, PIÉRARD S, DE MEESTER DE RAVENSTEIN C *et al.* Prognostic significance of LGE by CMR in aortic stenosis patients undergoing valve replacement. *J Am Coll Cardiol*, 2014;64:144-154.
23. HERRMANN S, STÖRK S, NIEMANN M *et al.* Low-gradient aortic valve stenosis myocardial fibrosis and its influence on function and outcome. *J Am Coll Cardiol*, 2011;58:402-412.
24. WEIDEMANN F, HERRMANN S, STÖRK S *et al.* Impact of myocardial fibrosis in patients with symptomatic severe aortic stenosis. *Circulation*, 2009;120:577-584.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.