

Revue générale

Comment reconnaître une discordance gradient-surface aortique ?

RÉSUMÉ : La sténose aortique est la lésion valvulaire la plus fréquente en Europe et en Amérique du Nord. Son évaluation est parfois complexe. La sténose aortique est définie comme serrée lorsque la surface valvulaire aortique (SAo) est $< 1 \text{ cm}^2$ ou $0,6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ et le gradient transaortique moyen (Gm) $\geq 40 \text{ mmHg}$ avec une vitesse transaortique maximale (V_{max}) $\geq 4 \text{ m/sec}$.

Cependant, ces mesures sont discordantes dans 20 à 30 % des cas et ne permettent pas de conclure quant à la sévérité de la sténose aortique : soit le gradient est $\geq 40 \text{ mmHg}$ et la surface $> 1 \text{ cm}^2$, soit plus fréquemment la surface est $< 1 \text{ cm}^2$ mais le gradient moyen est $< 40 \text{ mmHg}$.

Plusieurs situations existent, en fonction du débit estimé par la mesure du volume d'éjection systolique indexé (VESi) et de la fraction d'éjection ventriculaire gauche (FEVG), et seront détaillées dans cet article.

Une approche diagnostique rigoureuse, par étapes, à la recherche d'erreurs de mesures ou d'interprétation, accompagnée de l'imagerie multimodale, doit aider le clinicien à orienter le patient vers un remplacement valvulaire (chirurgical ou percutané) ou vers une simple surveillance avec des implications pronostiques évidentes.



©Henri Comte

C. SPORTOUCH

Service de Cardiologie
Clinique du Millénaire, MONTPELLIER.

La sténose aortique est la lésion valvulaire la plus fréquente avec une prévalence qui augmente rapidement en raison du vieillissement de la population [1]. Lorsque la sténose aortique est serrée, elle nécessite une intervention de remplacement valvulaire aortique, soit chirurgicale, soit percutanée par un TAVI. Le rétrécissement aortique (RA) est considéré comme serré lorsque le gradient moyen aortique est $\geq 40 \text{ mmHg}$ avec une $V_{\text{max}} \geq 4 \text{ m/s}$ et une SAo $< 1 \text{ cm}^2$ ou SAo indexée $< 0,6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ selon les recommandations européennes [2]. Dans 20 à 30 % des cas, il existe une discordance entre ces mesures. On parle alors de discordance gradient-surface, par exemple une SAo $< 1 \text{ cm}^2$ avec un Gm $< 40 \text{ mmHg}$, ou plus rarement une SAo $> 1 \text{ cm}^2$ et un Gm $\geq 40 \text{ mmHg}$ [3]. Dans ces deux cas, le problème est de reconnaître les RA réellement serrés pour lesquels le pronostic et la prise en charge diffèrent.

SA $< 1 \text{ cm}^2$ et gradient moyen aortique $< 40 \text{ mmHg}$

Il existe trois situations comportant notamment une SAo $< 1 \text{ cm}^2$ en faveur d'un RA serré mais avec un Gm $< 40 \text{ mmHg}$ et une $V_{\text{max}} < 4 \text{ m/s}$, valeurs en faveur d'un RA non serré [3] (fig. 1) :

- 1^{re} situation : RA bas débit – bas gradient dit “classique” avec altération de la FEVG $< 50 \%$ avec un VESi $< 35 \text{ mL/m}^2$. Dans ce cas, le gradient bas est directement en rapport avec une baisse du débit cardiaque. Le contexte clinique correspond classiquement à des hommes, porteurs de cardiopathie ischémique.

- 2^e situation : RA dit “paradoxal”, avec un bas débit (VESi $\leq 35 \text{ mL/m}^2$), un bas gradient, mais une FEVG conservée $\geq 50 \%$. Il s'agit le plus souvent de femmes âgées hypertendues, avec un petit volume

Revue générale

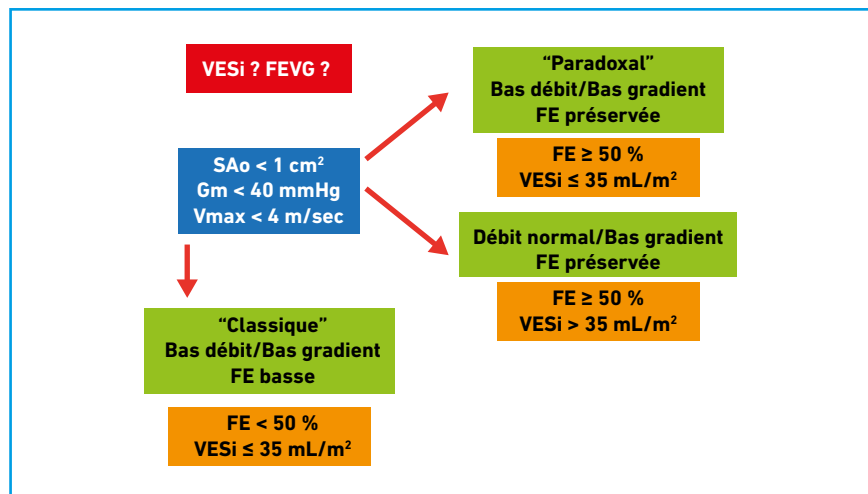


Fig. 1 : Diverses situations de discordances gradient-surface.

du VG, conséquence d'une hypertrophie ventriculaire gauche avec altération de la fonction diastolique et du remplissage VG, ainsi qu'une réduction de la fonction systolique contractile longitudinale.

● 3^e situation : **débit normal (VESi > 35 mL/m²), gradient bas avec FEVG préservée ≥ 50 %**. Il s'agit dans la majorité des cas de RA modérés qui nécessitent un suivi rapproché.

L'évaluation du RA est parfois complexe, et nécessite une démarche rigoureuse, systématique, pour ne pas sur- ou sous-estimer l'importance de la sténose.

Quelles sont les différentes étapes nécessaires à l'évaluation du RA permettant de surmonter les écueils de mesures et les difficultés d'interprétation ? [4]

Rappelons tout d'abord qu'il existe des discordances entre les valeurs seuils du gradient et de la surface rapportées dans la littérature pour considérer un RA comme serré chez les patients dont le volume d'éjection systolique est normal [5]. Le gradient moyen qui correspond le mieux à une surface de 1 cm² est plutôt de 30-35 mmHg comparativement à la valeur seuil de 40 mmHg. Inversement, la surface aortique correspondant à un gradient moyen aortique de 40 mmHg serait plu-

tôt de 0,8 cm², soit une valeur inférieure à la valeur seuil des recommandations de 1 cm². Certains auteurs suggèrent de modifier les critères de sévérité. Cependant, aucune étude n'est disponible pour éclaircir le pronostic des patients présentant une surface aortique entre 0,8 et 1 cm².

1. Les différentes étapes de l'analyse

>>> La 1^{re} étape de l'analyse doit tout d'abord tenir compte du contexte clinique du patient : s'agit-il d'un patient âgé (> 70 ans) ? L'examen clinique est-il compatible ? Le patient a-t-il des symptômes ou des antécédents d'HTA ? Ensuite, l'analyse morphologique et fonctionnelle du VG est également un élément important d'orientation, surtout si celui-ci met en évidence une hypertrophie VG et une diminution de la fonction contractile longitudinale du VG évaluée par le *strain* global longitudinal (méthode *speckle tracking*) [6].

>>> La 2^e étape du raisonnement consiste à vérifier la pression artérielle (PA). Effectivement, une HTA induit une élévation de la post-charge du VG (post-charge vasculaire) qui va induire une diminution du débit cardiaque et donc du Gm aortique, faisant interpréter faussement les mesures comme un bas débit – bas gradient avec une FEVG pré-

servée, donc un bas débit paradoxal. La réévaluation du RA après normalisation de la tension artérielle permet de rectifier le diagnostic et de retrouver un débit normal. Cela permet éventuellement de conclure à un RA serré en rapport avec un haut gradient et une FEVG préservée soit des critères concordants [7]. Il faut donc impérativement avoir une mesure de PAS concomitante de toute évaluation échocardiographique d'une sténose aortique.

À noter l'importance pronostique du concept d'impédance valvulo-artérielle (ZVa) qui tient compte de la charge vasculaire de l'HTA, s'ajoutant à la post-charge valvulaire créée par la sténose aortique : $ZVa = (PAS + Gm)/VEi$. Une ZVa > 4,5 mmHg/mL/m² représente une charge hémodynamique globale sévère sur le VG [8].

>>> La 3^e étape consiste à vérifier la corpulence du patient. Les valeurs indexées à la surface corporelle sont essentielles chez les patients de petite taille et de petite surface corporelle. Une SAo indexée > 0,6 cm²/m² alors que la SAo est < 1 cm² pour un gradient < 40 mmHg confirme le diagnostic de RA modéré. À l'inverse, ces valeurs ne doivent pas être utilisées chez les patients obèses, qui font surestimer la sévérité du RA considérant une SAo indexée < 0,6 cm²/m² alors même que la SA > 1 cm².

>>> La 4^e étape du raisonnement est essentielle et consiste à éliminer les erreurs de mesure [9] (fig. 2) :

● La mesure de la chambre de chasse (D) est fondamentale : une erreur de mesure du diamètre de la chambre de chasse est portée au carré dans l'équation de continuité. Pour rappel : $SAo = (ITV \text{ sous-aortique} \times S \text{ sous-aortique}) / ITV \text{ aortique avec S}$. Ainsi, une sous-estimation de 1 mm conduit à une sous-estimation de surface de 0,1 cm² ! La mesure doit donc être effectuée en mésosystole, en parasternal grand axe, zoomé sur au moins trois cycles. Elle peut être rendue difficile par l'existence de calcifications,

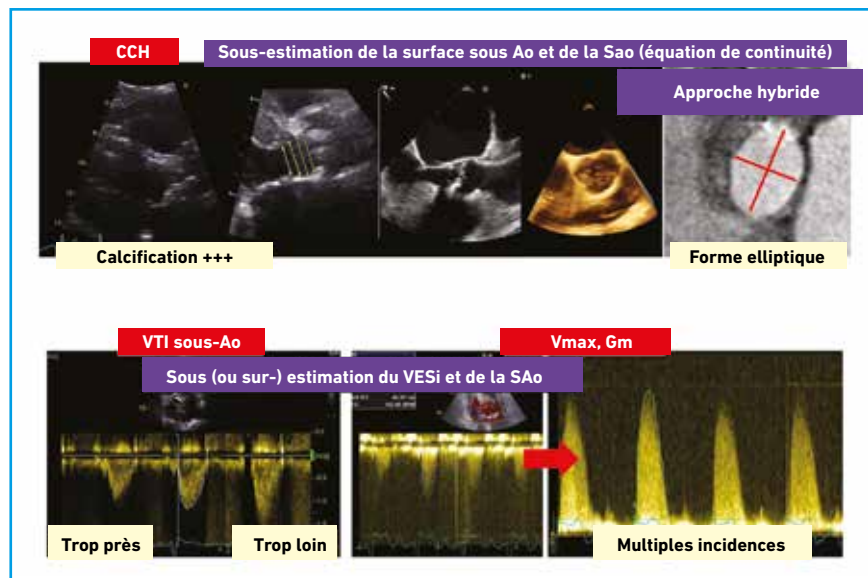


Fig. 2 : Erreurs de mesure en échocardiographie.

d'un bourrelet sous-valvulaire aortique et par l'absence de repère anatomique postérieur. Lorsque l'échogénicité est limitée, cette évaluation peut se faire en ETO ou en imagerie de coupes (scanner ou IRM).

Il faut souligner également que la surface sous-aortique est considérée comme circulaire, mais est en réalité le plus souvent elliptique ce qui fait sous-estimer la surface sous-aortique en 2D (pouvant atteindre 20 %). En effet, le diamètre antéropostérieur de la chambre de chasse mesurée en échographie est le plus petit diamètre de l'ellipse. Certains proposent une approche hybride dans l'estimation de la surface aortique combinant des paramètres scannographiques ou IRM (aptes à tenir compte de ce caractère elliptique de la chambre de chasse aortique), à des paramètres doppler mesurés en échographie cardiaque [10]. L'ETO 3D pourrait également être plus précise que l'ETT dans cette évaluation.

Est-ce pour autant que le diagnostic est amélioré par cette approche hybride ? Cela semble être le cas. Dans le travail de Maes *et al.* [11], cette approche combinée utilisant l'IRM permet de reclasser 20 % des RA considérés comme bas débit-bas gradient en RA modérés.

● La mesure de l'ITV sous-aortique effectuée en doppler pulsé doit être également rigoureuse et dépend du positionnement du volume d'échantillon ni trop près de la valve aortique avec risque de surestimation de l'ITV, ni trop loin de la valve aortique dans le VG, entraînant alors une sous-estimation de l'ITV. Cette mesure de l'ITV sous-aortique est à la base de l'estimation du débit cardiaque.

Un bas débit cardiaque défini par un VESi < 35 mL/m², alors que la FE est préservée,

vée, peut être retrouvé chez des patients porteurs d'un remodelage concentrique du VG avec un petit volume VG. Un bas débit sera également présent en cas de valvulopathies sévères associées, comme les insuffisances mitrales ou sténoses mitrales, l'insuffisance tricuspide, la dysfonction VD et les shunt G-D.

● La mesure de l'ITV aortique et de la Vmax réalisée en Doppler continu nécessite la multiplication des incidences pour obtenir le gradient moyen aortique le plus élevé (en apical, en parasternal droit, en suprasternal, voire en sous-costal ou sus-claviculaire D), au mieux en utilisant la sonde pedoff. L'utilisation des différentes incidences de mesures du gradient moyen aortique permettrait notamment de reclasser des bas débits-bas gradients de 23 % à 10 % après utilisation des différentes fenêtres acoustiques [12] (fig. 3).

Rappelons que des valeurs de gradient moyen aortique particulièrement basses < 20 mmHg et de Vmax < 3 m/sec rendent peu probable le diagnostic de RA paradoxal serré à FE préservée.

>>> La 5^e étape de l'analyse doit tenir compte du phénomène de restitution de pression. On observe régulièrement une différence de mesure entre le gradient aortique évalué en échographie et celui

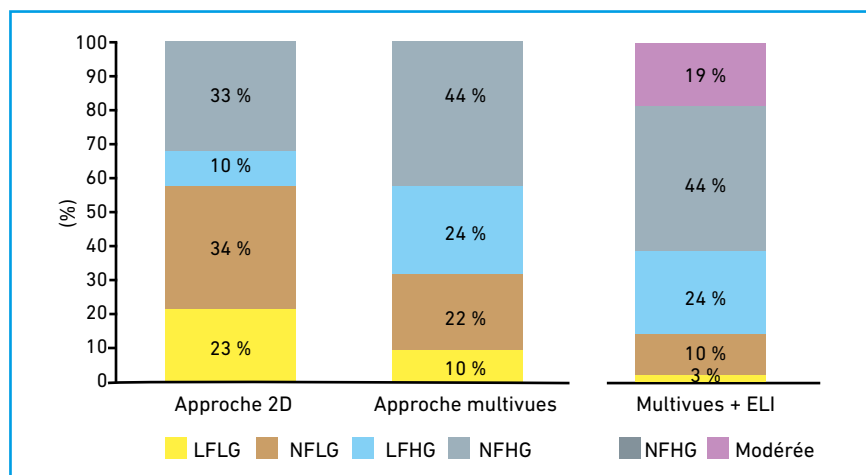


Fig. 3 : Intérêt de l'approche multi-incidence et de la prise en compte du phénomène de recouvrement de pression d'après Ringle *et al.* [12]. LFLG : Low flow low gradient; NFLG : Normal flow low gradient; LFHG : Low flow high gradient; NFHG : Normal flow high gradient.

Revue générale

POINTS FORTS

- On observe une discordance gradient-surface dans 20 à 30 % des RA associant le plus souvent un $Gm \leq 40$ mmHg et une surface $< 1 \text{ cm}^2$ avec FE préservée et bas débit ($VESi < 35 \text{ mL/m}^2$) qui évoque une RA bas débit-bas gradient dit RA “paradoxal”.
- La fréquence du RA paradoxal est souvent surestimée et une approche diagnostique rigoureuse par étapes permet d’éviter des écueils d’interprétation.
- L’approche fonctionnelle du patient est fondamentale et doit s’associer, entre autres, à une approche multi-incidences des Gm, une prise en compte du phénomène de recouvrement de pression pour les petites aortes.
- L’imagerie multimodale est d’un apport capital pour pallier parfois les erreurs de mesure en échocardiographie (approche hybride avec imagerie de coupe) ou lorsque le doute diagnostique persiste (score calcique ou écho de stress).
- Ces différentes techniques permettent de reclasser les RA avec des conséquences à la fois pronostiques et thérapeutiques.

issu du cathétérisme cardiaque car les valeurs du gradient valvulaire aortique échographique sont surestimées. Le Doppler mesure en fait le gradient de pression maximal dans la sténose alors que le cathétérisme mesure, quant à lui, le gradient à distance de la sténose où il existe un certain degré de restitution de l’énergie en pression. Ce phénomène existe majoritairement, mais pas seulement, pour les aortes de petite taille, notamment celles dont la jonction sino-tubulaire est $< 30 \text{ mm}$. Un index de perte d’énergie peut alors être théoriquement estimé [13] permettant de corriger la SAo et de reclasser des faux RA paradoxaux en RA modérés [14] avec une excellente corrélation entre l’échographie et le cathétérisme cardiaque.

$$\text{AVA Energy Loss Index} = \frac{[(AoA \times EOA)/(AoA - EOA)]}{SC}$$

Où EOA = effective orifice area/AoA
= cross sectional area of the ascending aorta

Combiné à la multiplication des incidences, la classification du RA peut

encore être améliorée par la prise en compte de ce phénomène de restitution de pression qui réduit le RA paradoxal à 3 % dans le travail de Ringle *et al.* [12]. Ces travaux récents semblent donc montrer que le RA “paradoxal” ne serait pas aussi fréquent que ne le suggéraient les études initiales de 2007... [15]. On va reclasser de la même façon les débits normaux – bas gradients à FEVG préservée qui ne seront alors plus que de 10 % contre 34 % pour une approche apicale classique (**fig. 3**). Ce groupe est actuellement un sujet de débat quant à son pronostic et sa prise en charge [16].

Reclasser les sténoses aortiques en tenant compte du phénomène de restitution de pression a également un impact pronostique, bien meilleur pour les sténoses aortiques reclassées comme modérées après application de l’index de perte d’énergie par rapport aux sténoses aortiques, qui restent sévères.

>>> La 6^e étape de cette analyse peut éventuellement faire appel au score calcique lorsqu’un doute persiste quant

à la sévérité du RA. Le score calcique, mesuré par scanner non injecté, est corrélié à la sévérité de la sténose [17] avec également un impact pronostique. Il est maintenant intégré dans les recommandations européennes. Un score calcique à plus de 2 000 chez l’homme et à plus de 1 200 chez la femme est en faveur d’un RA serré. La sténose aortique est probablement non serrée lorsque ce chiffre $< 1 600$ chez l’homme et 800 chez la femme. Cependant il faut garder à l’esprit que cette mesure manque de reproductibilité et que la zone grise entre ces valeurs est relativement large puisqu’elle représente 15 % des cas.

Cet examen peut constituer une aide dans le diagnostic, mais en aucun cas se substituer à l’échographie cardiaque. À noter que le scanner, tout comme l’ETO 3D, peut donner également une estimation de la surface anatomique aortique, qui est supérieure à la surface fonctionnelle évaluée en échographie et qui peut parfois aider au diagnostic lorsque le doute persiste. Le cathétérisme cardiaque pourrait alors être discuté.

>>> La 7^e étape de notre démarche peut également comporter une échographie de stress à la dobutamine à faible dose, à la recherche d’un RA “pseudo-sévère”. Dans le cas d’un patient avec bas débit-bas gradient, mais FEVG abaissée (5 à 10 % des RA serrés), toute la question est de savoir si le RA est serré et responsable de la FE basse ou s’il s’agit d’une pseudo-sténose aortique, c’est-à-dire un RA modéré associé à une dysfonction VG. L’administration de faibles doses de dobutamine, faisant appel à son effet inotrope, permet de tester la réserve contractile. Celle-ci s’accompagne d’une amélioration de la FEVG et d’une augmentation de la VTI sous-aortique, donc du débit cardiaque. En cas de RA serré, la SAo reste basse $< 1 \text{ cm}^2$, mais le gradient moyen augmente à plus de 40 mmHg. Dans le cas contraire, la sténose aortique est considérée comme “pseudo-sévère” avec mise en évidence d’une réserve d’ouverture valvulaire.

S'il n'y a pas de réserve contractile, on ne peut pas conclure et l'évaluation du score calcique est d'une grande aide pour affirmer le caractère serré du RA avec des conséquences thérapeutiques majeures. En effet, malgré l'absence de réserve contractile, le remplacement valvulaire aortique reste supérieur au traitement médical en terme pronostique.

Pour éliminer un effet de variation inter-individuelle de l'augmentation du flux par la dobutamine, certains auteurs ont proposé le concept d'aire valvulaire projetée (AVA proj) où la surface valvulaire aortique est calculée en fonction d'un débit prédéfini de 250 mL/s [18] : $AVA\ proj = (SVA\ pic - SVA\ repos) / (Q\ pic - Q\ repos) \times (250 - Q\ repos) + SVA\ repos$

Une AVA proj $\leq 1\ cm^2$ serait en faveur d'une sténose aortique vraie et aurait un impact pronostique. Cette mesure est cependant peu utilisée en pratique.

À noter que l'échographie de stress dobutamine peut également être effectuée chez les patients avec une bonne fonction VG, mais la difficulté d'augmenter le débit chez les patients qui ont un petit VG hypertrophié la rend peu contributive en pratique et donc peu utilisée.

L'échographie de stress permet de reclasser des RA bas débits-bas gradients, FEVG préservée, considérés comme RA paradoxaux, en RA pseudo-sévères dans 33 % des cas [19].

2. Cas clinique (fig. 4)

Pour illustrer les différentes étapes diagnostiques décrites précédemment, voici le cas d'une patiente de 81 ans de corpulence normale (60 kg pour 1,58 m), diabétique, hypercholestérolémique, hypertendue, avec des antécédents de bronchite chronique. Cette patiente est dyspnéique en stade II de la NYHA avec un BNP à 413 pg/mL. Elle est adressée pour un 2^e avis car la surface aortique est estimée à 0,7 cm² et 0,44 cm²/m², avec un Gm aortique à seu-

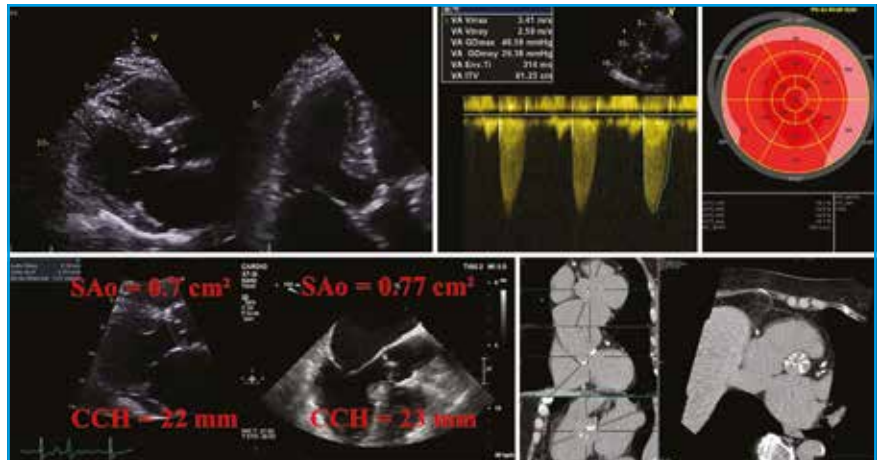


Fig. 4: Illustrations cas clinique.

lement 29 mmHg, une Vmax à 3,4 m/s et une chambre de chasse estimée à 22 mm. La sténose aortique est-elle serrée ? La FEVG est à 55 % avec un remodelage concentrique du VG responsable d'un petit VG.

Nous sommes donc dans la situation d'un RA bas débit-bas gradient, avec FEVG préservée. **Est-ce réellement un cas de RA dit "paradoxal" ?**

Appliquons notre démarche diagnostique précédente en plusieurs étapes :

>>> Le contexte clinique est en faveur, puisqu'il s'agit d'une patiente âgée, hypertendue, symptomatique, avec une FEVG à 55 % correcte. Il existe un bas débit puisque le VESi = 32 mL/m² avec des critères discordants (SAo à 0,7 cm² et Gm à 29 mmHg). Nous retrouvons un remodelage concentrique, une hypertrophie VG avec un petit VG et une altération du strain VG global longitudinal à -14,7 % en faveur d'une altération de la fonction contractile globale longitudinale.

>>> Nous vérifions l'absence d'HTA avec une TA mesurée à 120/70 mmHg autorisant l'interprétation des chiffres.

>>> L'indexation à la surface corporelle est possible chez cette patiente puisque sa corpulence est normale.

La SAo indexée est alors mesurée à 0,44 cm²/m².

>>> Y a-t-il une erreur dans les mesures ?

Le diamètre de la chambre de chasse aortique en ETT est estimé à 22 mm, 23 mm en ETO, ce qui fait passer la surface aortique de 0,70 à 0,77 cm². Si on utilise une approche hybride en s'aidant de la mesure de la surface sous-aortique par le scanner, la SAo est maintenant évaluée à 0,8 cm². La fenêtre apicale pour la mesure du gradient était la fenêtre optimale sans obtention d'un Gm supérieur, par la voie parasternale droite notamment.

>>> Faut-il tenir compte du phénomène de restitution de pression chez cette patiente ? La jonction sino-tubulaire était < 30 mm, mesurée exactement à 27 mm. La surface aortique à la jonction sino-tubulaire étant estimée à 5,7 cm², et en prenant une surface aortique effective de 0,8 cm² corrigée par le scanner, l'index de perte d'énergie nous permet d'obtenir une SAo de 0,93 cm², donc moins sévère que le chiffre initial mais néanmoins encore significative. Ce chiffre limite nous incite à réaliser un score calcique qui est donc de 1313 au-dessus des 1200 requis chez la femme pour considérer la sténose aortique comme serrée. Nous concluons donc bien à un bas débit-bas gradient avec FEVG préservée, soit un rétrécissement aortique dit "paradoxal".

Revue générale

SA > 1 cm² et gradient moyen aortique > 40 mmHg

Cette situation est bien moins fréquente. Dans ce cas, il faut rechercher un hyperdébit en particulier “réversible” : une anémie, une hyperthyroïdie, une fistule artérioveineuse, mais également une cardiopathie hypertrophique obstructive. Le volume éjection systolique est alors à plus de 54 mL/m² chez l’homme et 51 mL/m² chez la femme.

Si l’hyperdébit est réversible, il faut s’attacher à réévaluer la sténose aortique dans des conditions de débit normalisé. En l’absence d’hyperdébit “réversible”, ces patients doivent être considérés comme des RA serrés avec une prise en charge adaptée.

Ces RA discordants ont une mortalité plus importante que les RA dit classiques à haut gradient après ajustement (âge, sexe, Charlson) [20].

Conclusion

Au premier abord, la sténose aortique semble la valvulopathie la plus simple à évaluer. Pourtant, sa quantification comporte des pièges et nécessite une analyse rigoureuse avant de tirer des conclusions hâtives, qui peuvent être erronées. Régulièrement, nous nous retrouvons en présence de discordances entre gradient et surface aortique allant de 20 à 30 % des sténoses aortiques.

Par cette démarche diagnostique “step by step” recourant à l’imagerie multimodale, sans jamais oublier le contexte clinique fonctionnel du patient, nous pouvons diminuer ces situations difficiles d’interprétation de discordances gradient – surface, principalement le RA “paradoxal”.

Ainsi, mieux quantifier et classer les sténoses aortiques, en diminuant les erreurs d’évaluation, permettra à la fois une meilleure évaluation pronostique et une prise en charge thérapeutique.

BIBLIOGRAPHIE

1. IUNG B, DELGADO V, ROSENHEK R *et al.* Contemporary presentation and management of valvular heart disease: the EURObservational research programme valvular heart disease ii survey. *Circulation*, 2019;140:1156-1169.
2. VAHANIAN A, BEYERSDORF F, PRAZ F *et al.* ESC/EACTS scientific document group. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J*, 2022;43:561-632.
3. BAUMGARTNER H, HUNG J, BERMEJO J *et al.* Recommendations on the echocardiographic assessment of aortic valve stenosis: a focused update from the european association of cardiovascular imaging and the american society of echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2017;30:372-392.
4. TRIBOUILLOY C, BOHBOT Y, RUSINARU D. Definition and diagnosis of paradoxical aortic stenosis: A call for reappraisal. *Arch Cardiovasc Dis*, 2022;115:243-248.
5. MINNERS J, ALLGEIER M, GOHLKE-BAERWOLF C *et al.* Inconsistencies of echocardiographic criteria for the grading of aortic valve stenosis. *Eur Heart J*, 2008;29:1043-1048.
6. LEE SP, KIM YJ, KIM JH *et al.* Deterioration of myocardial function in paradoxical low-flow severe aortic stenosis two-dimensional strain analysis. *J Am Soc Echocardiogr*, 2011;24:976-983.
7. KADEM L, DUMESNIL JG, RIEU R *et al.* Impact of systemic hypertension on the assessment of aortic stenosis. *Heart*, 2005;91:354-361.
8. HACHICHA Z, DUMESNIL JG, PIBAROT P. Usefulness of the valvuloarterial impedance to predict adverse outcome in asymptomatic aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol*, 2009;54:1003-1011.
9. CLAVEL MA, BURWASH IG, PIBAROT P. Cardiac imaging for assessing low-gradient severe aortic stenosis. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2017;10:185-202.
10. KAMPERIDIS V, VANROSENDAEL PJ, KATSANOS S *et al.* Low gradient severe aortic stenosis with preserved ejection fraction: reclassification of severity by fusion of Doppler and computed tomographic data. *Eur Heart J*, 2015;36:2087-2096.
11. MAES F, BOULIF J, PIERARD S *et al.* Natural history of paradoxical low-gradient severe aortic stenosis. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2014;7:714-722.
12. RINGLE A, CASTEL AL, LE GOFFIC C *et al.* Prospective assessment of the frequency of low gradient severe aortic stenosis with preserved left ventricular ejection fraction: critical impact of aortic flow misalignment and pressure recovery phenomenon. *Arch Cardiovasc Dis*, 2018;111:518-527.
13. GARCIA D, PIBAROT P, DUMESNIL JG *et al.* Assessment of aortic valve stenosis severity: A new index based on the energy loss concept. *Circulation*, 2000;22:765-771.
14. ALTES A, RINGLE A, BOHBOT Y *et al.* Clinical significance of energy loss index in patients with low-gradient severe aortic stenosis and preserved ejection fraction. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020;21:608-615.
15. HACHICHA Z, DUMESNIL JG, BOGATY P *et al.* Paradoxical low-flow, low-gradient severe aortic stenosis despite preserved ejection fraction is associated with higher afterload and reduced survival. *Circulation*, 2007;115:2856-2864.
16. CHADHA G, BOHBOT Y, RUSINARU D. Outcome of normal-flow low-gradient aortic stenosis with preserved left ventricular ejection fraction: a propensity-matched study. *J Am Heart Assoc*, 2019;8:e012301.
17. 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.
18. CLAVEL MA, BURWASH IG, MUNDIGLER G *et al.* Validation of conventional and simplified methods to calculate projected valve area at normal flow rate in patients with low flow, low gradient aortic stenosis: the multicenter TOPAS (True or Pseudo Severe Aortic Stenosis) study. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010;23:380-386.
19. CLAVEL MA, ENNEZAT PV, MARECHAUX S *et al.* Stress echocardiography to assess stenosis severity and predict outcome in patients with paradoxical low-flow, low-gradient aortic stenosis and preserved LVEF. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2013;6:175-183.
20. BOHBOT Y, KUBALA M, RUSINARU D. Survival and management of patients with discordant high-gradient aortic stenosis: a propensity-matched study. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021;14:1672-1674.

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