

REVUES GÉNÉRALES

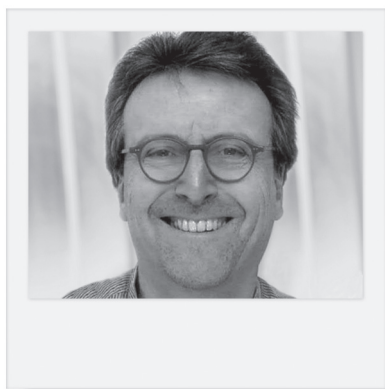
Echocardiographie

Les erreurs de mesure du caractère serré d'un rétrécissement aortique

RÉSUMÉ : Une discordance entre les valeurs du gradient moyen et de la surface valvulaire aortique est observée chez 25 % à 30 % des patients ayant une sténose valvulaire aortique. Cette situation doit conduire à rechercher avant tout une erreur de mesure dont les plus fréquentes sont :

- une sous-estimation du diamètre de l'anneau aortique qui peut être évitée en recherchant la valeur la plus grande en incidence parasternale longitudinale et en la comparant avec la valeur théorique pour la surface corporelle du patient,
- une sous-estimation de la vitesse aortique qui doit être évitée en utilisant toutes les incidences possibles et particulièrement la voie parasternale droite,
- une erreur sur la vitesse sous-aortique qui peut être sous-estimée (défaut d'alignement sur le flux, volume de mesure trop éloigné de la valve aortique), ou surestimée.

En cas de discordance, il est également souhaitable de comparer le volume d'éjection systolique calculé en Doppler avec celui obtenu par la méthode des volumes.



→ B. GALLET

Service de Cardiologie,
Centre hospitalier Victor Dupouy,
ARGENTEUIL.

Un rétrécissement aortique (RA) serré est défini par une vitesse maximale de jet > 4 m/s, un gradient moyen > 40 mmHg (selon les recommandations américaines) ou > 50 mmHg (selon les recommandations européennes), une surface valvulaire < 1 cm², une surface valvulaire indexée $< 0,6$ cm²/m², et un index de perméabilité < 25 % selon les recommandations EAE/ASE [1].

Ces recommandations appellent d'emblée plusieurs remarques :

>>> La première est l'absence de hiérarchie des paramètres. Or la vitesse maximale du jet ou le calcul du gradient moyen, qui reposent sur une seule mesure, sont des paramètres plus robustes que le calcul de la surface qui nécessite de mesurer 3 paramètres.

>>> La seconde remarque est que la valeur seuil de la surface correspondant

à un RA serré a récemment été remise en cause à la suite d'une étude ayant montré que la surface correspondant à un gradient moyen de 40 mmHg n'était pas de 1 cm² mais de 0,8 cm² [2]. Un éditorial de Zoghbi en 2011 suggérait une révision des recommandations pour prendre en compte cette valeur de 0,8 cm² [3], mais actuellement toutes les recommandations conservent la valeur seuil de 1 cm².

>>> La troisième remarque est qu'il existe souvent une discordance entre les différents paramètres, notamment entre un gradient moyen < 40 mmHg suggérant un RA non serré, et une surface < 1 cm² suggérant au contraire un RA serré. Cette discordance est attendue en cas de dysfonction systolique du ventricule gauche, qui peut expliquer une valeur basse du gradient moyen. Elle est plus inattendue lorsque la fonction systolique est normale, mais est pourtant constatée dans cette situation chez 25 % à 30 % des patients examinés par écho-

graphie [2] ou explorés par cathétérisme [4]. Trois explications peuvent alors être envisagées :

- un choix inadapté des valeurs seuils [2, 3].

- un RA serré avec bas débit paradoxal, mais qui ne peut expliquer toutes les situations, puisque près de la moitié des patients ayant une discordance entre gradient et surface ont un volume d'éjection systolique normal, lorsque la mesure en est faite par cathétérisme [4],

- et surtout une erreur de mesure qui est toujours la première cause à évoquer. Les erreurs peuvent porter sur les 3 termes de l'équation de continuité : diamètre de la chambre de chasse du ventricule gauche (D), intégrale temps vitesse aortique (ITV aortique), intégrale temps vitesse sous-aortique (ITV sous-aortique). La surface valvulaire (S) est calculée en appliquant l'équation de continuité : $S = [\pi D^2 / 4 \times \text{ITV sous-aortique}] / \text{ITV aortique}$.

Mesure du diamètre de la chambre de chasse du ventricule gauche

Elle est réalisée en incidence parasternale longitudinale en utilisant le zoom, entre l'insertion des sigmoïdes antéro-droite et postérieure, de bord interne à bord interne, perpendiculairement aux parois aortiques, en proto-mésosystole, et en faisant la moyenne de 3 à 5 mesures (**fig. 1**).

C'est donc en pratique le diamètre de l'anneau aortique que l'on mesure, plutôt que celui de la chambre de chasse ventriculaire gauche. Les recommandations EAE/ASE proposent une méthode différente dans laquelle c'est le diamètre de la chambre de chasse qui est mesuré 5 à 10 mm sous la valve aortique. La raison invoquée pour effectuer la mesure à ce niveau est que la vitesse sous-aortique est mesurée 5 à 10 mm sous la valve aortique par voie apicale, et qu'il serait logique de mesurer le diamètre au

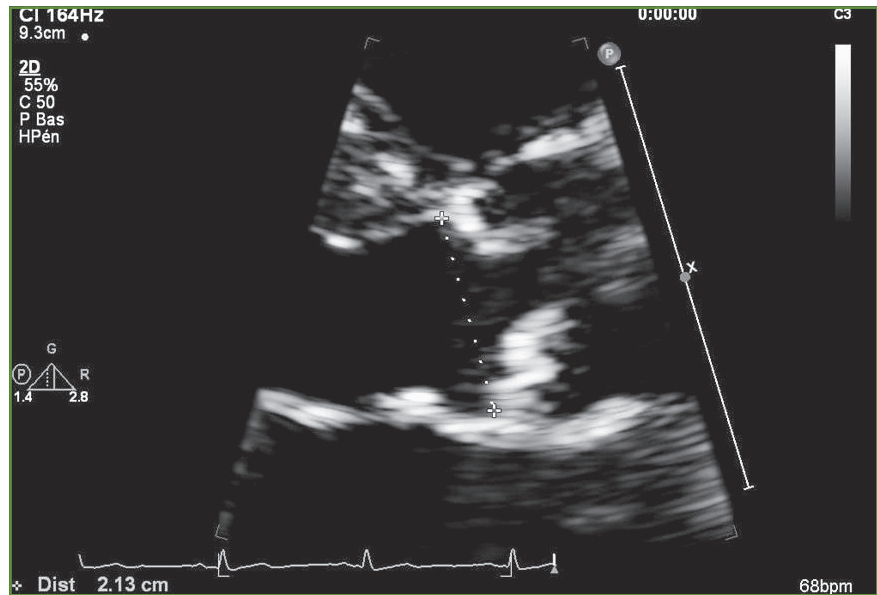


FIG. 1 : Mesure du diamètre de l'anneau aortique.

même niveau. Ces recommandations sont contestables, essentiellement parce que les études de validation ont mesuré le diamètre à l'anneau aortique [5], mais aussi parce que la vitesse sous-aortique est en réalité mesurée pratiquement au niveau de l'anneau.

La cause d'erreur principale dans la mesure du diamètre est une sous-estimation qui est liée au fait que l'on mesure une corde de l'anneau aortique, considéré comme circulaire, au lieu de mesurer son diamètre. Pour éviter cette sous-estimation, il faut, en incidence parasternale longitudinale, effectuer des petits mouvements de balayage du capteur vers l'intérieur puis vers l'extérieur, pour obtenir la plus grande valeur du diamètre, et être ainsi certain que l'on enregistre la plus grande dimension de l'anneau aortique. On rappelle qu'une erreur sur le diamètre est portée au carré dans le calcul de la surface, et qu'une erreur de 1 mm sur le diamètre entraîne une variation d'environ 0,1 cm² de la surface.

Un moyen d'éviter une sous-estimation importante du diamètre est de comparer la valeur mesurée à la valeur théorique

attendue en fonction de la surface corporelle. L'équipe de Bichat a proposé une formule permettant de calculer le diamètre théorique de la chambre de chasse (D) en fonction de la surface corporelle (SC) :

$$D \text{ (en mm)} = [5,7 \times SC \text{ (en m}^2)] + 12,1 [6].$$

Il ne s'agit pas de remplacer la mesure du diamètre par son calcul à partir de cette équation, mais d'utiliser cette formule comme un "garde-fou". Si la valeur mesurée est largement inférieure à la valeur théorique, une sous-estimation doit être évoquée et conduire à une reprise de la mesure qui permettra souvent de retrouver un diamètre plus grand (**fig. 2**).

Une autre cause d'erreur théorique est que la chambre de chasse du ventricule gauche est elliptique plutôt que circulaire, comme l'ont montré différents travaux utilisant l'échographie 3D ou le scanner [7]. Le diamètre mesuré en échographie correspond au petit axe de l'ellipse, et la surface de la chambre de chasse calculée à partir de ce diamètre est sous-estimée en comparaison de la surface mesurée directement par plani-

REVUES GÉNÉRALES

Echocardiographie

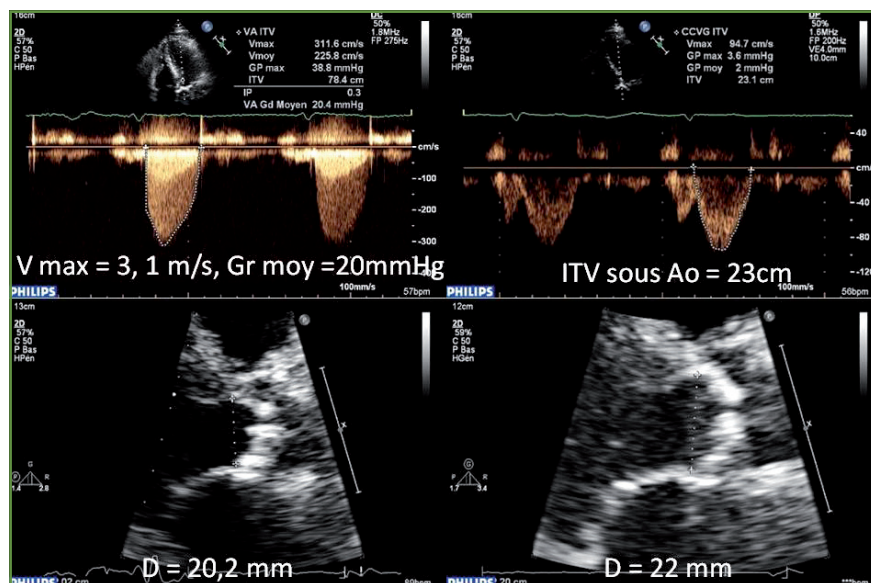


FIG. 2 : En haut à gauche : valeurs de vitesse maximum (3,1 m/s) et de gradient moyen (20 mmHg) en faveur d'un RA moyennement serré. En haut à droite : ITV sous-aortique mesurée à 23 cm. En bas à gauche : diamètre de l'anneau aortique mesuré à 20,2 mm permettant de calculer une surface aortique à 0,95 cm² en faveur d'un RA serré. Ce patient avait une surface corporelle de 2 m², permettant de calculer un diamètre théorique à 23,5 mm, et faisant évoquer une sous-estimation de la mesure de l'anneau. En bas à droite : la reprise de la mesure de l'anneau retrouve une valeur à 22 mm, permettant de calculer une surface à 1,1 cm² et confirmant le caractère moyennement serré du RA.

métrie. Cette sous-estimation entraîne mathématiquement une sous-estimation de la surface valvulaire calculée par l'équation de continuité. Cette cause d'erreur a probablement peu d'incidence pratique lorsque le diamètre est mesuré au niveau de l'anneau aortique, dont la forme elliptique serait moins marquée que celle de la chambre de chasse.

La difficulté principale rencontrée dans la mesure du diamètre de l'anneau concerne les patients chez lesquels elle est impossible en raison d'une mauvaise échogénicité par voie parasternale. Il ne faut jamais mesurer ce diamètre en incidence apicale, car le faisceau ultrasonore est alors parallèle à l'anneau aortique, ce qui entraîne un défaut de résolution latérale qui est une source d'erreur de mesure importante.

Plusieurs alternatives peuvent être proposées dans cette situation :

- **Mesure du diamètre par échocardiographie transœsophagienne (ETO) :**

elle n'est recommandée que si l'information requise est nécessaire à la décision clinique [1].

- **Planimétrie de la surface valvulaire aortique :** elle est impossible par voie transthoracique si l'échogénicité est insuffisante par voie parasternale, et nécessite donc une ETO. Même en ETO, la planimétrie peut se révéler impossible en cas de calcifications massives. D'une manière générale, le recours à l'ETO n'est justifié que pour les patients chez lesquels on évoque la possibilité d'un RA serré.

- **Calcul de l'index de perméabilité :** il correspond au rapport entre les ITV sous-aortique et aortique, et permet de s'affranchir de la mesure du diamètre. Une valeur $\leq 25\%$ est en faveur d'un RA serré avec une sensibilité élevée, mais une spécificité plus faible [1].

- **Utilisation de l'équation de continuité modifiée :** dans l'équation de continuité

standard, le numérateur correspond au volume d'éjection systolique (VES), calculé à partir du diamètre D et de l'ITV sous-aortique. Dans l'équation de continuité modifiée, le VES est calculé à partir des volumes ventriculaires obtenus par la méthode de Simpson biplan [8] ou en 3D [9]. Le VES est égal à la différence entre le volume télédiastolique (VTD) et le volume télésystolique (VTS). La surface valvulaire (S) est alors calculée par la formule : $S = (VTD - VTS) / ITV$ aortique. Il existe une bonne corrélation entre les surfaces valvulaires calculées par l'équation de continuité standard et par l'équation de continuité modifiée [8, 9]. Le calcul du VES à partir des volumes ventriculaires a un autre intérêt, qui concerne le RA avec bas débit paradoxal. Une sous-estimation du diamètre D et/ou de l'ITV sous-aortique entraîne une sous-estimation à la fois du VES et de la surface aortique, et peut créer artificiellement une fausse situation de RA serré avec bas débit paradoxal, en faisant conclure à une surface $< 1\text{ cm}^2$ et à un VES $< 35\text{ mL/m}^2$, chez un patient ayant par ailleurs un gradient moyen $< 40\text{ mmHg}$ et une fraction d'éjection normale. Le calcul du VES par la méthode des volumes ventriculaires peut redresser le diagnostic, en montrant que le VES est en réalité $> 35\text{ mL/m}^2$, et que la surface valvulaire est $> 1\text{ cm}^2$.

- **Utilisation de méthodes non échographiques :** calcul du score calcique (d'autant plus évocateur de RA serré qu'il est > 1650) [10], planimétrie de la surface valvulaire en scanner ou en IRM, cathétérisme éventuel (réservé aux situations où persistent des discordances en raison de son risque embolique potentiel).

Mesure de la vitesse aortique

Le risque d'erreur principal est de la sous-estimer, en raison d'un mauvais alignement entre le faisceau ultrasonore et le jet de RA, ce qui entraîne une sous-estimation du gradient moyen et une suresti-

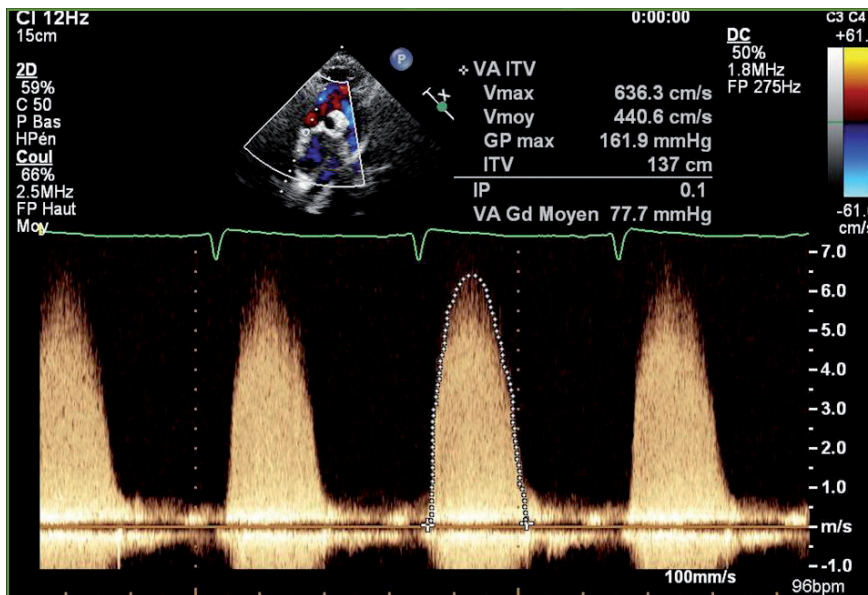


Fig. 3 : Enregistrement du flux aortique par voie suprasternale : RA serré (vitesse maximale = 6,3 m/s, gradient moyen = 77 mmHg).

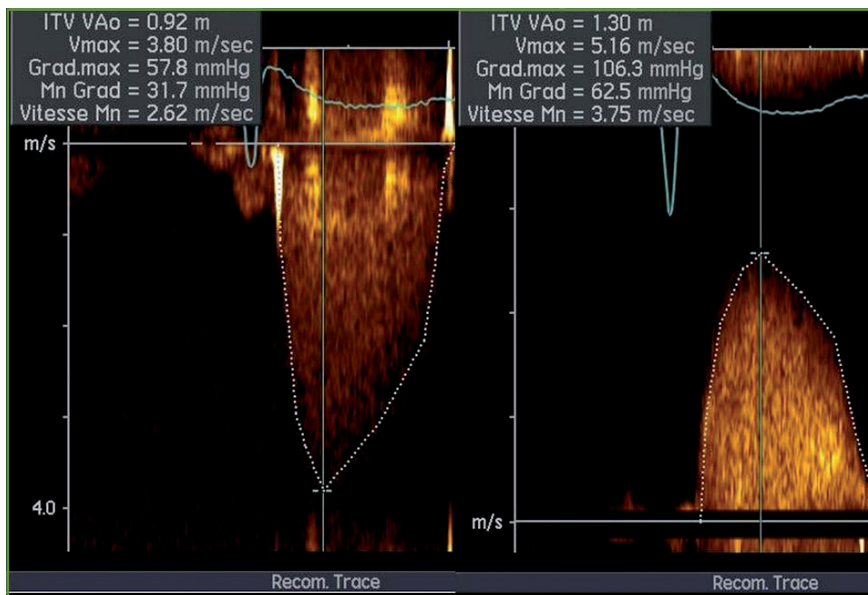


Fig. 4 : Flux de RA enregistré par voie apicale (à gauche) et par voie parasternale droite (à droite). Le RA est moyennement serré par voie apicale (vitesse maximale = 3,8 m/s ; gradient moyen = 32 mmHg), alors qu'il est serré par voie parasternale droite (vitesse maximale = 5,1 m/s, gradient moyen = 62 mmHg).

mation de la surface valvulaire. Pour être certain d'enregistrer la vitesse maximale du jet, il faut la rechercher dans toutes les incidences possibles (apicale, parasternale droite, suprasternale, sous-costale éventuellement), et utiliser la sonde

crayon Pedof (**fig. 3**). Le fait d'obtenir une "belle enveloppe" dans une incidence ne signifie pas que la vitesse maximale du jet a été enregistrée, et ne dispense pas de l'analyse des autres incidences. Seule la vitesse la plus élevée doit figurer dans le

compte rendu, en précisant dans quelle incidence elle a été obtenue pour faciliter les examens ultérieurs.

La voie parasternale droite avec sonde Pedof est particulièrement importante, comme l'a montré un travail de l'équipe de Bichat [11]. La faisabilité de la méthode était de 85 %. En comparaison de la voie apicale, la voie parasternale droite retrouvait une vitesse maximale plus élevée, un gradient moyen plus grand et une surface valvulaire plus basse en moyenne de 0,15 cm² (**fig. 4**). En classant les patients en 3 groupes (RA serré, RA moyennement serré, RA non serré), environ 20 % des patients étaient mal classés en limitant l'examen à la voie apicale.

Une surestimation de la vitesse aortique est plus rare, et peut relever d'erreurs techniques : confusion entre un flux de RA et un autre flux (notamment flux d'insuffisance mitrale), analyse d'un cycle post-extrasystolique, absence de moyenne des mesures sur 5 à 10 cycles consécutifs en cas d'arythmie complète, tracé inadéquat de l'enveloppe spectrale incorporant des artefacts linéaires verticaux situés à son sommet (parfois qualifiés de "cheveux") (**fig. 5**).

Une autre source d'erreur est le phénomène de restitution de pression, qui fait que la pression dans l'aorte ascendante peut être plus élevée qu'au niveau de la *vena contracta*. Cela explique que le gradient calculé en Doppler (au niveau de la *vena contracta* à partir de la vitesse maximale du jet), soit parfois plus élevé que le gradient mesuré au cathétérisme (entre la zone présténotique et l'aorte ascendante). Les conséquences potentielles de la restitution de pression sont une surestimation des gradients et une sous-estimation de la surface par le Doppler en comparaison du cathétérisme. En pratique, ce phénomène ne peut avoir de conséquences que si l'aorte ascendante est de petite taille, avec un diamètre de la jonction sinotubulaire < 30 mm, ce qui n'est pas une

REVUES GÉNÉRALES

Echocardiographie

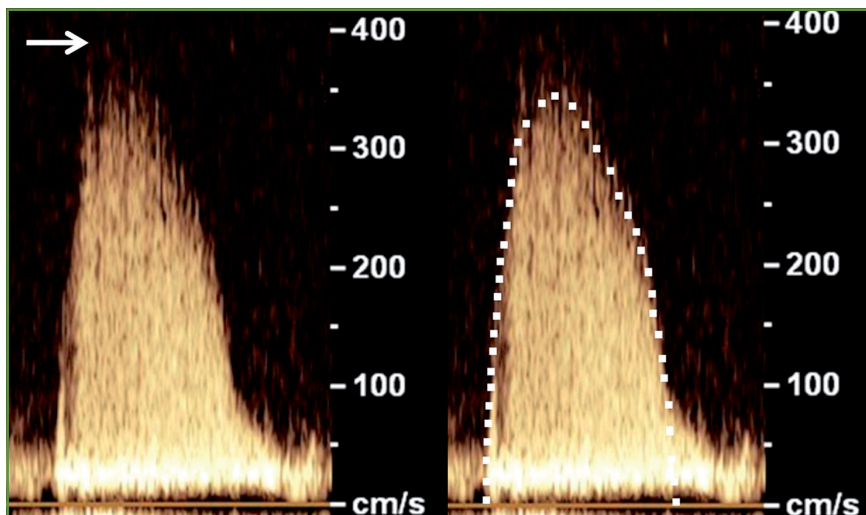


FIG. 5 : Flux de RA enregistré par voie parasternale droite. A gauche : présence de “cheveux” au sommet du spectre Doppler (artefacts verticaux fins et linéaires) (flèche). A droite : le contour de l’enveloppe spectrale est tracé en excluant ces artefacts.

éventualité très fréquente dans le RA de l’adulte. Si l’on est dans cette situation, on peut utiliser la formule de correction proposée par Garcia à partir de la surface valvulaire aortique calculée en Doppler (SAo), et de la surface de l’aorte ascendante (SAA) calculée à partir du diamètre de la jonction sino-tubulaire (D) par la formule $SAA = \pi D^2/4$. La surface aortique corrigée est donnée par la formule $(SAA \times SAo)/(SAA - SAo)$ [12].

Mesure de la vitesse sous-aortique

Elle est enregistrée en incidence apicale 5 cavités ou 3 cavités, en déplaçant le capteur vers l’aisselle pour optimiser l’alignement sur la chambre de chasse du ventricule gauche.

La vitesse sous-aortique doit être enregistrée selon une technique “pas à pas”, dans laquelle le volume de mesure est avancé progressivement vers la valve aortique. Au niveau de la valve aortique apparaît un élargissement spectral avec augmentation des vitesses et *aliasing*. Le volume de mesure est alors reculé juste en amont de cette zone d’accélération, dans une zone

où l’enveloppe spectrale est étroite et aux contours bien définis (*fig. 6*).

Les causes d’erreur concernant la vitesse sous-aortique peuvent être :

- Une sous-estimation secondaire à un alignement incorrect sur le flux, ou

encore un positionnement trop éloigné du volume de mesure par rapport à la valve aortique.

- Une surestimation si le volume de mesure est au contraire trop engagé dans la valve aortique.

- Une obstruction dynamique qui invalide l’utilisation de l’équation de continuité ainsi que le calcul des gradients.

- Une vitesse sous-aortique élevée dépassant 1,5 m/s qui invalide l’équation simplifiée de Bernoulli, car elle ne peut plus être négligée en regard de la vitesse aortique. Il faut alors utiliser l’équation modifiée de Bernoulli : $\text{gradient} = 4 (V_2^2 - V_1^2)$ où V_2 est la vitesse aortique et V_1 est la vitesse sous-aortique [13]. Cette équation modifiée permet le calcul du gradient maximum mais pas celui du gradient moyen. Les patients concernés par ce problème sont ceux ayant une augmentation du débit cardiaque ou une insuffisance aortique associée au RA. L’utilisation de l’équation simplifiée de Bernoulli dans cette situation entraînerait une surestimation des gradients.

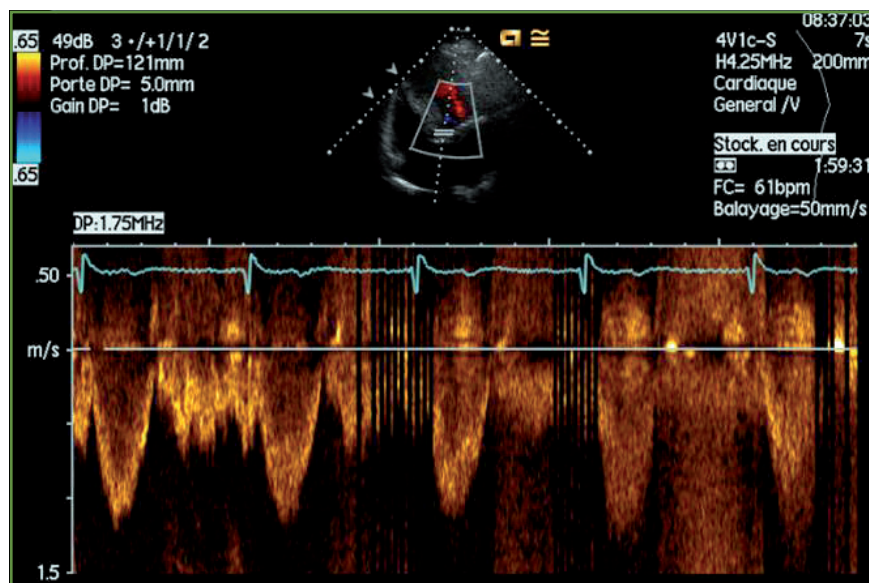


FIG. 6 : Enregistrement de la vitesse sous-aortique par la technique “pas à pas”. A gauche : position correcte du volume de mesure. A droite : position incorrecte du volume de mesure placé trop loin dans la valve aortique avec élargissement spectral et *aliasing*.

POINTS FORTS

- ➔ Mesurer soigneusement et à plusieurs reprises le diamètre de l'anneau aortique, en effectuant des mouvements de balayage pour obtenir la valeur la plus grande, puis comparer la valeur mesurée à la valeur théorique pour la surface corporelle, et reprendre la mesure en cas de discordance importante.
- ➔ Utiliser des incidences multiples et la sonde Pedof pour obtenir la vitesse maximale du jet de RA, en gardant à l'esprit qu'une "belle enveloppe" ne signifie pas que la vitesse maximale du jet a nécessairement été enregistrée.
- ➔ Enregistrer la vitesse sous-aortique en déplaçant le capteur vers l'aisselle pour obtenir un alignement optimal sur le flux, et en utilisant la technique "pas à pas".
- ➔ Faire figurer les chiffres de pression artérielle dans le compte rendu échocardiographique : une hypertension artérielle peut entraîner une sous-évaluation de la surface valvulaire aortique.
- ➔ Indexer la surface valvulaire aortique à la surface corporelle chez les adultes de petit gabarit mais pas chez les obèses.
- ➔ Mesurer le diamètre de la jonction sino-tubulaire, évoquer la possibilité d'une restitution de pression significative en cas de valeur inférieure à 30 mm, et utiliser alors une formule de correction.

Autres causes d'erreur

1. Indexation de la surface valvulaire aortique à la surface corporelle

Les recommandations soulignent que cette indexation est importante chez les enfants, les adolescents et les adultes de petite taille, c'est-à-dire ayant une surface corporelle inférieure à 1,5 m². En revanche, l'indexation n'est pas recommandée chez les obèses, dans la mesure où la surface valvulaire n'augmente pas avec l'excès pondéral [1].

2. Association à une hypertension artérielle

La mesure de la pression artérielle lors de l'examen doit figurer dans le compte rendu échocardiographique. Une élévation de la pression artérielle systolique peut entraîner une sous-estimation de la surface valvulaire aortique, et peut aussi faire porter à tort le diagnostic de progression rapide d'un RA [14]. Il en résulte que

l'évaluation d'un RA doit idéalement être réalisée après le contrôle optimal des chiffres tensionnels, et que l'échocardiogramme devrait être repoussé ou contrôlé secondairement en cas d'hypertension artérielle [15]. Cette mesure est par ailleurs nécessaire au calcul de l'impédance valvulo-artérielle [15].

Bibliographie

1. BAUMGARTNER H, HUNG J, BERMEJO J *et al.* Echocardiographic assessment of valve stenosis: EAE/ASE recommendations for clinical practice. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009; 22: 1-23.
2. 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.
3. ZOGHBI WA. Low-gradient "severe" aortic stenosis with normal systolic function. Time to refine the guidelines? *Circulation*, 2011; 123: 838-840.
4. MINNERS J, ALLGEIER M, GOHLKE-BAERWOLF C *et al.* Inconsistent grading of aortic valve stenosis by current guidelines: haemodynamic studies in patients with apparently normal left ventricular function. *Heart*, 2010; 96: 1463-1468.
5. SKJAERPE T, HEGRENAES L, HATLE L. Noninvasive estimation of valve area in patients with aortic stenosis by Doppler ultrasound and two-dimensional echocardiography. *Circulation*, 1985; 72: 810-818.
6. LEYE M, BROCHET E, LEPAGE L *et al.* Size-adjusted left ventricular outflow tract diameter reference values: a safeguard for the evaluation of the severity of aortic stenosis. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009; 22: 445-451.
7. HALPERN EJ, MALLIA R, SEWELL M *et al.* Differences in aortic valve area measured with CT planimetry and echocardiography (continuity equation) are related to divergent estimates of left ventricular outflow tract area. *AJR*, 2009; 192: 1668-1673.
8. DUMONT Y, ARSENAULT M. An alternative to standard continuity equation for the calculation of aortic valve area by echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2003; 16: 1309-1315.
9. GUTIERREZ-CHICO JL, ZAMORANO JL, PRIETO-MORICHE E *et al.* Real-time three-dimensional echocardiography in aortic stenosis: a novel, simple, and reliable method to improve accuracy in area calculation. *Eur Heart J*, 2008; 29: 1296-1306.
10. CUEFF C, SERFATY JM, CIMADEVILLE *et al.* Measurement of aortic valve calcification using multislice computer tomography: correlation with haemodynamic severity of aortic stenosis and clinical implication for patients with low ejection fraction. *Heart*, 2011; 97: 721-726.
11. CUEFF DE MONCHY C, LEPAGE L, BOUTRON I *et al.* Usefulness of the right parasternal view and non-imaging continuous-wave Doppler transducer for the evaluation of the severity of aortic stenosis in the modern era. *Eur J Echocardiogr*, 2009; 10: 420-424.
12. GARCIA D, DUMESNIL JG, DURAND LG *et al.* Discrepancies between catheter and Doppler estimates of valve effective orifice area can be predicted from the pressure recovery phenomenon. *J Am Coll Cardiol*, 2003; 41: 435-442.
13. BEDNARZ JE, KRAUSS D, LANG RM. An echocardiographic approach to the assessment of aortic stenosis. *J Am Soc Echocardiogr*, 1996; 9: 286-294.
14. LITTLE SH, CHAN KL, BURWASH IG. Impact of blood pressure on the Doppler echocardiographic assessment of severity of aortic stenosis. *Heart*, 2007; 93: 848-855.
15. DUMESNIL JG, PIBAROT P, CARABELLO B. Paradoxical low flow and/or low gradient severe aortic stenosis despite preserved left ventricular function: implications for diagnosis and treatment. *Eur Heart J*, 2010; 31: 281-289.

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