

L'ANNÉE CARDIOLOGIQUE

Echocardiographie

Echocardiographie : quoi de neuf ?



→ **C. MEULEMAN, G. DUFAITRE**
Service de Cardiologie,
Clinique Rhône-Durance,
AVIGNON.

L'année 2013 a de nouveau été marquée par de nombreuses publications intéressantes dans le domaine de l'échocardiographie, notamment dans certaines thématiques comme l'évaluation du ventricule droit, les valvulopathies mitrales ou aortiques ou le 2D strain toujours à l'origine de nombreuses études.

Evaluation des cavités droites et HTAP

Pour rappel, l'évaluation du cœur droit [1] et de l'hypertension artérielle pulmonaire (HTAP) [2] ont fait l'objet de recommandations en 2009 et 2010. Une revue de la littérature complète rappelle le rôle important de l'échocardiographie dans le diagnostic et le pronostic de l'HTAP [3].

>>> Une étude très intéressante a montré, comme préconisé dans les recommandations, qu'une évaluation quanti-

tative des dimensions et de la fonction systolique du ventricule droit (VD) est indispensable [4]. En effet, l'équipe de Marwick a déterminé la performance et la concordance interobservateur d'une évaluation échocardiographique du VD qualitative (taille normale ou dilatation VD et FEVD normale ou dysfonction systolique VD modérée, moyenne ou importante) et quantitative (dimensions VD, fraction de raccourcissement de surface, S', TAPSE, indice de performance myocardique) chez 12 patients ayant eu une ETT relue par 15 échographistes, l'IRM cardiaque réalisée chez tous ces patients étant considérée comme la méthode de référence. L'analyse quantitative (**tableau 1**) a augmenté nettement la performance diagnostique et la concor-

dance interobservateur en comparaison à l'analyse qualitative seule, particulièrement chez les sujets normaux. La performance diagnostique pour préciser taille normale et dilatation VD est passée de 38 % à 78 % ($p < 0,001$) et de 70 % à 97 % ($p = 0,018$) et pour déterminer FEVD normale et dysfonction VD sévère est passée de 52 % à 84 % ($p < 0,001$) et de 36 % à 56 % ($p = 0,001$). **L'estimation visuelle des dimensions VD et de la fonction systolique VD est inexacte avec une large variabilité interobservateur.**

>>> La performance des paramètres échocardiographiques de fonction systolique VD a été évaluée prospectivement dans l'HTAP chez 37 patients consécutifs qui ont bénéficié d'une ETT, d'une IRM et d'un KT

Variables		Unités	Anormal
Cavités	Diamètre basal et mi-hauteur	Cm	> 4,2 et 3,5
	Épaisseur du VD en sous-costal	Cm	> 0,5
	Longueur longitudinale VD	Cm	> 86
	Ø distal chambre de chasse pulmonaire en PSPA	Cm	> 2,7
	Profondeur OD	Cm	> 5,3
	Diamètre antéro-latéral OD	Cm	> 4,4
	Surface OD fin de diastole	Cm ²	> 18
Fonction systolique	TAPSE	Cm	< 1,6
	Pic de vitesse à l'anneau tricuspide en Doppler tissulaire	Cm/s	< 10
	Indice de performance myocardique en Doppler pulsé		> 0,4
	Indice de performance myocardique en Doppler tissulaire		> 0,55
	Fraction de raccourcissement de surface	%	< 35
Fonction diastolique	Rapport E/A		< 0,8 ou > 2,1
	Rapport E/e'		> 6
	Temps de décélération	ms	< 120

TABEAU 1 : Références des mesures des cavités droites et des fonctions systolique et diastolique VD, d'après [1].

L'ANNÉE CARDIOLOGIQUE

Echocardiographie

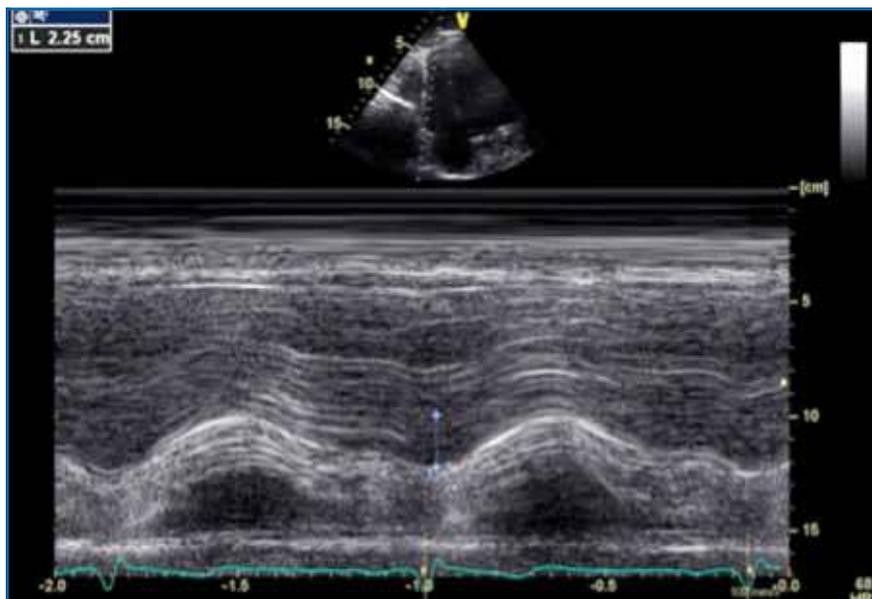


FIG. 1: Mesure du TAPSE en mode TM.

droit en moins d'une semaine [5]. Tous les paramètres échocardiographiques étaient significativement corrélés à la FEVD en IRM (pourcentage de fraction de raccourcissement de surface VD: $r = 0,48$, $p = 0,0011$; TAPSE: $r = 0,86$, $p < 0,0001$; indice de performance myocardique VD: $r = -0,59$, $p < 0,0001$; et S' tricuspide: $r = 0,63$, $p < 0,0001$). Comparé aux autres indices, le TAPSE avait la meilleure corrélation et était le seul prédicteur significatif en analyse de régression multiple ($p < 0,0001$). La reproductibilité intra-observateur et interobservateur était bonne pour tous les indices, particulièrement élevée pour le TAPSE et S'. **Les paramètres échocardiographiques sont donc des indices non invasifs prometteurs de fonction systolique VD dans l'hypertension artérielle pulmonaire avec une supériorité du TAPSE (fig. 1).**

>>> Deux études ont évalué, comme pour le VG, l'intérêt de valeurs indexées des dimensions des cavités droites. Une première étude [6] a évalué de manière rétrospective dans un centre tertiaire les dimensions OD et VD indexées dans une population de 1625 patients avec une échocardiographie normale entre 2000

et 2009. **Toutes les mesures des cavités droites étaient significativement plus petites chez les femmes. Les différences devenaient moindres quand les mesures étaient indexées à la surface corporelle**, mais une différence significative persistait en particulier pour la surface télédias-tolique VD ($7,9 \pm 1,6$ vs $8,7 \pm 1,8$ cm^2/m^2 , $p < 0,001$) et télésystolique VD ($4,0 \pm 1,2$ vs $4,7 \pm 1,4$ cm^2/m^2 , $p < 0,001$). La fraction de raccourcissement de surface et le TAPSE indexés à la surface corporelle étaient significativement plus élevés chez la femme ($50 \pm 7\%$ vs $46 \pm 9\%$ et 14 ± 3 vs 12 ± 2 mm/m^2 , respectivement, $p < 0,001$ pour les 2 comparaisons). L'impact de valeurs normales stratifiées selon le sexe et la surface corporelle a été testé chez 24 patients avec une CIA avec défaut moyen à large montrant une amélioration de la détection de la dilatation VD chez ces patients (92% vs 54% , $p < 0,007$). **Le sexe et la surface corporelle sont des déterminants importants des dimensions ventriculaires droites et de la fonction systolique VD mesurées en 2D.**

>>> Une autre étude [7] prospective ayant inclus 205 patients volontaires de différentes ethnies (indienne, chinoise

et européenne) a aussi montré que **le sexe et la surface corporelle jouaient un rôle important dans la détermination de valeurs normales ventriculaires droites de référence**, alors que l'ethnie avait une minime influence, avec une bonne reproductibilité des mesures.

Insuffisance mitrale et échocardiographie

>>> Une intéressante revue de la littérature sur l'insuffisance mitrale (IM) résume les recommandations européennes de 2010 en tenant compte de l'apport du 3D dans la quantification de l'IM. Cette revue rappelle que l'échocardiographie permet non seulement de préciser l'anatomie valvulaire mitrale, le mécanisme de la fuite et son retentissement, mais aussi de quantifier cette fuite mitrale par des paramètres classiques (*vena contracta*, PISA, méthodes des volumes) en incluant aussi dans leur algorithme de quantification la mesure de la *vena contracta* du flux d'IM en 3D [8].

>>> Plusieurs études ont évalué le rôle pronostique de paramètres échocardiographiques chez des patients asymptomatiques avec une IM moyenne à importante pour aider à la stratification du risque et à l'amélioration de la prise en charge de ces patients.

- L'équipe de Marwick a montré **le rôle pronostique important de la présence d'une dysfonction systolique VD à l'effort chez des patients avec une IM asymptomatique** [9]. Cette étude a inclus 196 patients consécutifs avec une IM moyenne à importante (SOR 38 ± 18 mm^2) et FEVG préservée avec une évaluation du strain longitudinal VG et VD au repos, la mesure du TAPSE reflétant la fonction systolique VD et la PAPs au repos et à l'effort. Une chirurgie valvulaire mitrale a été réalisée chez 88 patients (45%). Après ajustement sur l'âge et le sexe, le TAPSE (HR: 0,26, $p < 0,001$) était significativement associé

à une survie sans chirurgie, indépendant du strain VG au repos (HR: 1,09, $p < 0,027$), de la PAPs à l'effort (HR: 1,03, $p < 0,001$) et du strain VD au repos (HR: 1,10, $p = 0,004$).

• Dans une autre étude [10], le dosage du BNP et la mesure du strain longitudinal ont été réalisés en plus d'une ETT complète chez 135 patients consécutifs asymptomatiques avec une IM moyenne à importante et FEVG préservée. **En analyse multivariée, le volume OG indexé (HR: 1,04, $p = 0,003$), le strain global longitudinal (HR: 1,14, $p = 0,007$) et les 3^{es} et 4^{es} quartiles de BNP (HR: 8,5, $p = 0,002$ et HR: 8,8, $p = 0,002$) étaient des déterminants indépendants de survie sans événement** [10].

• L'équipe de E. Donal [11] a montré **qu'un diamètre télésystolique VG préopératoire ≥ 22 mm/m², déjà démontré, et un strain global longitudinal moyen < -18 % étaient des prédicteurs indépendants de dysfonction VG postopératoire** dans une étude prospective ayant inclus 88 patients avec une IM importante.

Rétrécissement aortique et échocardiographie

>>> P. Pibarot et J.G. Dumesnil ont publié deux revues détaillées, d'une part sur les nouvelles approches pour améliorer la quantification du RAC en tenant compte des différentes variables valvulaire, artérielle et ventriculaire [12], et d'autre part sur le RAC à bas gradient avec dysfonction VG ou FEVG préservée [13].

>>> Les études sur le RAC ont montré des incohérences entre les différents paramètres échocardiographiques d'évaluation de la sévérité du RAC. La vitesse maximale transaortique est un puissant prédicteur des événements cardiovasculaires. Une étude française [14] s'est intéressée à identifier les valeurs *cut off* de paramètres écho de sévérité du RAC correspondant à une $V_{max} \geq 3$ m/

sec, ≥ 4 m/sec, 5 m/sec, ou 5,50 m/sec dans une population de 528 patients avec un RAC, une FEVG > 50 %, et un VES indexé > 35 mL/m². Les valeurs de gradient moyen, surface valvulaire aortique (SAO) et surface valvulaire aortique indexée (SAOi) correspondant à une $V_{max} \geq 3$ m/sec étaient 22 mmHg, 1,15 cm² et 0,60 cm²/m². Une $V_{max} \geq 4$ m/s (définition RAC serré) correspondait à une valeur de 39 mmHg de gradient moyen, une SAO à 0,90 cm² et une SAOi à 0,48 cm²/m², différentes des valeurs des guidelines. Les valeurs de gradient moyen ≥ 60 et 65 mmHg, SAO $\leq 0,76$ et $\leq 0,68$ cm², et SAOi $\leq 0,41$ et $\leq 0,35$ cm²/m² correspondaient à une $V_{max} \geq 5$ et $\geq 5,5$ m/s respectivement. Les résultats de cette étude montrent qu'il existe d'apparentes incohérences entre les différents paramètres écho d'évaluation de sévérité du RAC.

>>> Toujours dans le but d'améliorer la prise en charge des patients porteurs d'un RA serré asymptomatique, plusieurs études basées sur l'échocardiographie ont été publiées récemment pour identifier les patients à risque pour lesquels une chirurgie précoce de remplacement valvulaire aortique pourrait être proposée précocement.

>>> Une étude a évalué la **stratification pronostique par ETT conventionnelle avec un score simple "CAIMAN"** [16] à partir de 141 patients avec un RAC moyen à sévère. Le score était calculé ainsi : **score calcique** 1-3 = 1 point, 4 = 6 points ; **V_{max} aortique $\leq 3,6$ m/s = 1 point, 3,6 m/s = 3 points, ratio masse VG observée/prédite ≤ 110 % = 1 point, > 110 % = 3 points.** Après un suivi de 28 ± 18 mois, la survie sans événement était de 18 %, 42 %, 91 %, et 96 % dans les 4 du score écho. La performance du score dans la prédiction d'événements était de 84 % dans la cohorte initiale et 77 % dans la cohorte de validation ($p = 0,09$).

>>> Lancellotti *et al.* ont évalué prospectivement les déterminants et la valeur

pronostique d'une HTAP à l'effort chez 105 patients asymptomatiques avec un RA serré (SAOi $< 0,6$ cm²/m²) et FEVG normale [16]. L'HTAP de repos et d'effort étaient définies par une PAPs > 50 mmHg et > 60 mmHg respectivement. L'HTAP d'effort était plus fréquente que l'HTAP de repos (55 vs 6 %, $p < 0,0001$). Les principaux déterminants de l'HTAP d'effort étaient le sexe masculin, l'HTAP de repos, le volume télédiastolique indexé à l'effort et la variation de la surface OG à l'effort. **Une HTAP d'effort double le risque d'événements cardiaques, renforçant l'importance de l'échographie d'effort chez les patients avec un RAC serré asymptomatique.**

>>> **L'évaluation du strain longitudinal dans le RAC serré a montré son intérêt pour détecter la dysfonction VG infraclinique (fig. 2)** avec une valeur pronostique incrémentielle par rapport aux critères traditionnels hémodynamiques, clinique et la FEVG [17]. L'intérêt du strain a aussi été démontré dans **la prédiction de la récupération postopératoire de la FEVG** et la régression de la masse VG après remplacement valvulaire aortique [18]. Enfin, une étude française multicentrique a montré que le strain longitudinal permettait de prédire la survenue de FA en postopératoire de remplacement valvulaire aortique [19].

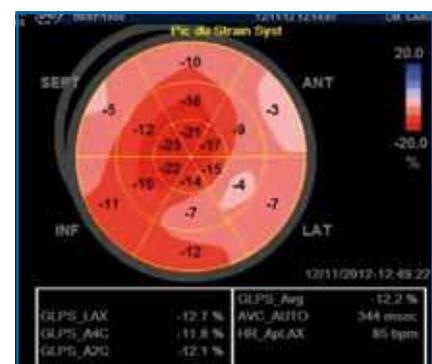


FIG. 2 : Altération du strain longitudinal avec atteinte prédominante sur les segments basaux chez un patient porteur d'un RAC serré avec FEVG normale.

L'ANNÉE CARDIOLOGIQUE

Echocardiographie

Fonction systolique du VG

>>> L'évaluation de la FEVG est une information primordiale au cours d'une ETT. Dans une revue [20], les auteurs décrivent les indications, implications cliniques et limitations des différentes méthodes échocardiographiques d'évaluation de la fonction systolique du VG : évaluation visuelle avec ou sans produit de contraste, le MAPSE, l'onde systolique S en Doppler tissulaire à l'anneau mitral, le dp/dt à partir du flux d'insuffisance mitrale et l'estimation du débit cardiaque par la méthode Doppler.

>>> La même équipe a aussi consacré une revue à la mesure du *Mitral annular plane systolic excursion* (MAPSE) dans l'évaluation de la fonction systolique du VG [21]. La diminution du MAPSE, mesuré en mode TM à l'anneau mitral, reflète une altération de la fonction longitudinale et donne des informations complémentaires à la FEVG qui représente le résultat global de la contraction longitudinale et circonférentielle. La mesure du MAPSE est non seulement un marqueur diagnostique mais aussi un marqueur pronostique dans de nombreuses pathologies cardiaques comme l'insuffisance cardiaque, la fibrillation auriculaire, le post-IDM, ou chez les patients avec une sténose aortique serrée. C'est de plus un paramètre qui reste réalisable en cas de mauvaise échogénicité.

>>> La mesure du MAPSE (*Mitral annular plane systolic excursion*) a été évaluée dans une étude rétrospective monocentrique ayant inclus 600 ETT [22]. La mesure du MAPSE était réalisée par un opérateur non expérimenté et comparée à la valeur de FEVG déterminée par un opérateur expérimenté. Un algorithme utilisant les 300 premiers examens a été développé pour prédire la FEVG. **Les valeurs cut off de MAPSE retenues pour prédire une FEVG normale étaient ≥ 11 mm pour les femmes et ≥ 13 mm pour les hommes. Une valeur < 6 mm pour les hommes et les femmes**

était en faveur d'une dysfonction VG sévère. En utilisant cet algorithme, la FEVG prédite a été déterminée pour les 300 patients suivants. En comparant la FEVG prédite par le MAPSE et la FEVG évaluée par l'expert, les valeurs prédictives positive et négative, la sensibilité (73-92 %), la spécificité (81-100 %) et la performance diagnostique (82-86 %) de la mesure du MAPSE pour prédire la FEVG ont été calculées, montrant que **la mesure du MAPSE par un opérateur inexpérimenté était un prédicteur performant de la FEVG.**

2D et 3D strain

>>> Biswas *et al.* [23], dans une revue publiée sur le 2D strain dans *Echocardiography*, précisent définition et méthodes d'acquisition du strain (ou déformation myocardique) et strain rate (vitesse de déformation) longitudinal, radial et circonférentiel, ainsi que la rotation et la torsion. Ils rappellent la validation de cette technique et son rôle, validé dans de nombreuses études, dans l'évaluation de la fonction systolique et diastolique du VG, ainsi que dans la détection précoce d'anomalies dans des pathologies variées (cardiomyopathie, valvulopathies, cardiopathie ischémique...) et son rôle dans la resynchronisation cardiaque. Cependant, son utilisation reste controversée, notamment liée à des résultats contradictoires dans différentes études. De nouvelles applications émergent, comme la détection précoce de la cardiotoxicité des chimiothérapies, la prédiction du rejet dans la transplantation cardiaque, sans oublier l'évaluation récente du strain en 3D.

>>> La faisabilité du 2D strain a été évaluée chez 59 patients consécutifs non sélectionnés en examen de routine (24 RAC serrés, 28 CMD, 7 patients normaux) [24]. **L'analyse a été réalisée par 4 échocardiographistes expérimentés et un junior. L'analyse du strain longitudinal a été possible dans 90 % des cas,**

mais celle du strain circonférentiel chez seulement 54 % des patients et du strain radial chez 49 % des patients. L'analyse du strain radial et circonférentiel était cependant meilleure chez les échographistes expérimentés (57 % et 58 % vs 23 % et 40 %, respectivement, $p < 0,01$).

>>> L'équipe de Marwick a publié une **méta-analyse sur les valeurs de strain normal chez des sujets normaux** [25] en se basant sur 2 597 témoins à partir de 24 études. **Les valeurs normales rapportées de strain global longitudinal variaient de -15,9 % à -22,1 % (moyenne: -19,7 %; IC 95 %: -20,4 % à -18,9 %).** Le strain global circonférentiel normal variait de -20,9 % à -27,8 % (moyenne: -23,3 %; IC 95 %: -24,6 % à -22,1 %). Le strain global radial normal s'échelonnait de 35,1 % à 59,0 % (moyenne: 47,3 %; IC 95 %: 43,6 % à 51,0 %). Il existait une hétérogénéité significative entre les études. **L'intervalle de confiance le plus étroit dans cette méta-analyse était pour le strain global longitudinal et circonférentiel,** mais chaque étude individuelle montrait un éventail de valeurs assez large chez des sujets normaux. La pression artérielle et non l'âge, le sexe, la cadence image et le constructeur était associée à une variation des valeurs normales de strain global longitudinal.

>>> Des différences existent dans l'évaluation du strain, que ce soit entre les différents constructeurs, différents *softwares*, ou en fonction des cadences images ou opérateurs. Une étude [26] a comparé l'évaluation du strain avec plusieurs logiciels et cadences images chez 30 patients ayant une échocardiographie sur Vivid 9 (GE Vingmed Ultrasound AS, Horten, Norway) et iE33 (Philips Ultrasound, Bothell, WA) optimisée pour l'évaluation du strain (55-90 images/sec) et une acquisition à 30 images/sec. La mesure du strain a été réalisée sur un *software* indépendant (VIS; TomTec 2D Cardiac Performance Analysis, Munich, Germany) et comparé à un *software*

spécifique (GE EchoPAC; GE Vingmed Ultrasound AS). Cette étude a montré une bonne **reproductibilité pour le strain global longitudinal** (coefficients de variation intraobservateur et interobservateur de 5,5 % à 8,7 % pour le strain longitudinal), **moyenne pour le strain circonférentiel** (10,7 % à 20,8 % pour le strain circonférentiel) **et médiocre pour le strain radial** (15,3 % à 33,4 % pour le strain radial et transverse). **Les valeurs de strain obtenues avec le logiciel indépendant VIS étaient comparables avec celles obtenues avec le software spécifique pour le strain longitudinal quel que soit l'échographe utilisé ou la cadence image.** En revanche, les valeurs de strain circonférentiel étaient plus importantes avec le logiciel VIS. Des valeurs légèrement plus importantes de strain ont été observées lors de l'analyse à des cadences images plus élevées, mais il n'y avait pas de différences entre les images des différents constructeurs.

>>> Se pose donc la question de la nécessité d'une standardisation qui permettrait au strain de devenir une mesure standard de l'échocardiographie de routine [27, 28].

>>> Pour aller plus loin, une revue de la littérature par l'équipe de Leuven fait le point sur l'état actuel du 3D strain [29]. Une étude de l'équipe de R. Lang [30] a comparé l'analyse du 3D strain à différentes cadences images en réalisant une ETT 2D (cadence images 62 ± 9 images/sec) et une échographie 3D chez 27 patients (16 volontaires normaux et 11 patients avec une CMD non ischémique). L'écho 3D a été réalisée à différentes cadences images chez les volontaires en variant le nombre de sous-volumes pour l'acquisition volume total du VG (6, 4, 2 et un) et sur une acquisition de 4 sous-volumes chez les patients avec une CMD. Chez les volontaires, les valeurs de 3D strain et strain rate (analyse avec TomTech) étaient les mêmes avec une acquisition de 4 ou 6 sous-volumes (correspondant à une cadence images

de 18 et 25 images/sec). En revanche, les valeurs avec 1 ou 2 sous-volumes (respectivement 5 et 10 images/sec) étaient significativement plus basses. Les valeurs 3D dérivées de 4 ou 6 sous-volumes n'étaient pas significativement plus basses que les valeurs dérivées du 2D (cadence images 62 images/sec), indiquant qu'il n'y a pas de perte d'informations due à des cadences images plus basses. Chez les patients avec une CMD, les valeurs de 2D et 3D strain étaient significativement réduites par rapport aux sujets normaux. L'évaluation de la déformation myocardique en 3D n'est donc pas compromise par des cadences images basses à 18 ou 25 images/seconde, mais sont sous-estimées avec des cadences images plus basses.

Bibliographie

1. RUDSKI LG, LAI WW, AFILALO J *et al.* Guidelines for the Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults: A Report from the American Society of Echocardiography. Endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010; 23: 685-713.
2. GALIE N, HOEPER MM, HUMBERT M *et al.* Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: the Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS), endorsed by the International Society of Heart and Lung Transplantation (ISHLT). *Eur Heart J*, 2009; 30: 2493-2537.
3. BOSSONE E. Echocardiography in Pulmonary Arterial Hypertension: from Diagnosis to Prognosis. *J Am Soc Echocardiogr*, 2013; 26: 1-14.
4. FONG LING L. Accuracy and Interobserver Concordance of Echocardiographic Assessment of Right Ventricular Size and Systolic Function: A Quality Control Exercise. *J Am Soc Echocardiogr*, 2012; 25: 709-713.
5. TAKAHIRO S, TSUJINO I, OHIRA H. Validation Study on the Accuracy of Echocardiographic Measurements of Right Ventricular Systolic Function in Pulmonary Hypertension. *J Am Soc Echocardiogr*, 2012; 25: 280-286.
6. D'ORONZIO U, SENN O, BIAGGI P. Right Heart Assessment by Echocardiography: Gender and Body Size Matters. *J Am Soc Echocardiogr*, 2012; 25: 1251-1258.
7. WILLIS J, AUGUSTINE D, SHAH R. Right Ventricular Normal Measurements: Time to Index? *J Am Soc Echocardiogr*, 2012; 25: 1259-1267.
8. GRAYBURN PA, WEISSMAN PJ, ZAMORANO JL. Quantitation of Mitral Regurgitation. *Circulation*, 2012; 126: 2005-2017.
9. KUSUNOSE K, POPOVIC ZB, MOTOKI H *et al.* Prognostic Significance of Exercise-induced Right Ventricular Dysfunction in Asymptomatic Degenerative Mitral Regurgitation. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2013; 6: 167-176.
10. MAGNE J, MAHJOUR H, PIERARD LA. Prognostic importance of brain natriuretic peptide and left ventricular longitudinal function in asymptomatic degenerative mitral regurgitation. *Heart*, 2012; 98: 584-591.
11. MASCLE S, SCHNELL F, THEBAULT C. Predictive value of global longitudinal strain in a surgical population of organic mitral regurgitation. *J Am Soc Echocardiogr*, 2012; 25: 766-772.
12. PIBAROT P, DUMESNIL JG. Improving assessment of aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol*, 2012; 60: 169-180.
13. PIBAROT P, DUMESNIL JG. Low-flow, low-gradient aortic stenosis with normal and depressed left ventricular ejection fraction. *J Am Coll Cardiol*, 2012; 60: 1845-1853.
14. CASTEL AL, MARECHAUX S, LAAOUAJ J *et al.* Relationship between Cutoff Values of Peak Aortic Valve Velocity and Those of Other Doppler Echocardiographic Parameters of Severity in Patients with Aortic Stenosis and Normal Flow. *Echocardiography*, 2012.
15. LANCELLOTTI P, MAGNE J, DONAL E *et al.* Determinants and prognostic significance of exercise pulmonary hypertension in asymptomatic severe aortic stenosis. *Circulation*, 2012; 126: 851-859.
16. GIOFFI G. Prognostic Stratification by Conventional Echocardiography of Patients with Aortic Stenosis: The "CAIMAN-ECHO Score". *Echocardiography*, 2012.
17. KEARNEY LG, LU K, ORD M *et al.* Global longitudinal strain is a strong independent predictor of all-cause mortality in patients with aortic stenosis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2012; 13: 827-833.
18. STARON A, BANSAL M, KALAKOTI P *et al.* Speckle tracking echocardiography derived 2-dimensional myocardial strain predicts left ventricular function and mass regression in aortic stenosis patients undergoing aortic valve replacement. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2012.
19. LEVY F. Echocardiographic prediction of postoperative atrial fibrillation after aortic valve replacement for aortic stenosis:

L'ANNÉE CARDIOLOGIQUE

Echocardiographie

- a two-dimensional speckle tracking left ventricular longitudinal strain multi-centre pilot study. *Arch Cardiovasc Dis*, 2012; 105: 499-506.
20. HU K, LIU D, NIEMANN M *et al.* Methods for Assessment of Left Ventricular Systolic Function in Technically Difficult Patients with Poor Imaging Quality. *J Am Soc Echocardiogr*, 2013; 26: 105-113.
 21. HU K, LIU D *et al.* Clinical implication of mitral annular plane systolic excursion for patients with cardiovascular disease. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2013; 14: 205-212.
 22. MATOS J. Mitral Annular Plane Systolic Excursion as a Surrogate for Left Ventricular Ejection Fraction. *J Am Soc Echocardiogr*, 2012; 25: 969-974.
 23. BISWAS M, SUDHAKAR S, NANDA NC. Two- and Three-Dimensional Speckle Tracking Echocardiography: Clinical Applications and Future Directions. *Echocardiography*, 2013; 30: 88-105.
 24. VILLANUEVA-FERNANDEZ E, RUIZ-ORTIZ M, MESA-RUBIO D *et al.* Feasibility of bidimensional speckle-tracking echocardiography for strain analysis in consecutive patients in daily clinical practice. *Echocardiography*, 2012; 29: 923-926.
 25. YINGCHONCHAROEN T, AGARWAL S, POPOVIC ZB *et al.* Normal Ranges of Left Ventricular Strain: A Meta-Analysis. *J Am Soc Echocardiogr*, 2013; 26: 185-191.
 26. RISUM N, ALI S, OLSEN NT *et al.* Variability of Global Left Ventricular Deformation Analysis Using Vendor Dependent and Independent Two-Dimensional Speckle-Tracking Software in Adults. *J Am Soc Echocardiogr*, 2012; 25: 1195-1203.
 27. NELSON M. Echocardiographic Measures of Myocardial Deformation by Speckle-Tracking Technologies: The Need for Standardization? *J Am Soc Echocardiogr*, 2012; 25: 1189-1194.
 28. MARWICK T. Will Standardization Make Strain a Standard Measurement? *J Am Soc Echocardiogr*, 2012; 25: 1204-1206.
 29. JASAITYTE R, HEYDE B, D'HOOGE J. Current State of Three-Dimensional Myocardial Strain Estimation Using Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2013; 26: 15-28.
 30. YODWUT C, WEINERT L, KLAS B *et al.* Effects of Frame Rate on Three-Dimensional Speckle-Tracking – Based Measurements of Myocardial Deformation. *J Am Soc Echocardiogr*, 2012; 25: 978-985.

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