Echographie cardiaque : quoi de neuf ?

→ C. MEULEMAN, N. HADDOUR, S. EDERHY, S. JANOWER, G. DUFAITRE, E. BERTHELOT-GARCIAS, F. DOUNA, F. BOCCARA, A. COHEN
Service de Cardiologie, Hôpital Saint-Antoine, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), PARIS.

L'apport de l'échocardiographie dans les valvulopathies significatives asymptomatiques, notamment le rétrécissement aortique serré et l'insuffisance mitrale importante, a fait l'objet de plusieurs publications récentes.

Echocardiographie et rétrécissement aortique calcifié (RAC)

La prise en charge des patients porteurs d'un RAC serré asymptomatique reste actuellement controversée. Plusieurs études basées sur l'échocardiographie ont été publiées récemment sur l'identification des patients avec un RAC asymptomatique à risque pour lesquels une chirurgie précoce de remplacement valvulaire aortique pourrait être proposée précocement.

Rosenhek *et al.* [1] ont inclus 116 patients consécutifs (57 femmes, âge moyen 67 ± 16 ans) porteurs d'un RA serré asymptomatique défini par une vitesse maximale aortique (Vmax) > 5,0 m/s (Vmax aortique moyenne 5,37 ± 0,35 m/s, surface aortique moyenne 0,63 ± 0,12 cm^2). Le suivi médian était de 41 mois au cours desquel sont survenus 96 événements (90 indications de remplacement valvulaire aortique et 6 décès d'origine cardiovasculaire : 1 mort subite, 4 insuffisances cardiaques, 1 IDM). La survie sans événement était de 64 % à 1 an, 36 % à 2 ans, 25 % à 3 ans, 12 % à 4 ans et 3 % à 6 ans.

La Vmax aortique et non la surface aortique était un facteur indépendant influençant la survie sans événement. En effet, les patients avec une Vmax > 5,5 m/s avaient une survie sans événement à 44 %, 25 %, 11 % et 4 % à 1, 2, 3 et 4 ans respectivement comparé à 76 %, 43 %, 33 % et 17 % pour les patients avec une Vmax aortique entre 5,0 et 5,5 m/s ($p < 0,0001$). Les patients avec une Vmax aortique > 5,5 m/s présentaient aussi plus de symptômes sévères (52 % *vs* 27 %, $p = 0,03$). Les patients avec un RA sévère, même s'ils sont asymptomatiques, ont donc un mauvais pronostic avec un taux d'événements élevé. La chirurgie précoce de remplacement valvulaire aortique doit donc être considérée chez ces patients.

Chez les patients porteurs d'un RAC asymptomatique, Monin *et al.* [2] ont proposé un score de risque pour prédire la survenue de symptômes ou événements. Le score a été établi à partir d'une cohorte monocentrique française de 107 patients (âge moyen 72 ans, 35 femmes) avec un RA asymptomatique (Vmax aortique 4,1 m/s, surface aortique à 0,5 cm^2/m^2, gradient moyen à 40 mmHg) et un BNP moyen à 58 pg/mL et validé à partir d'une cohorte de validation belge de 107 patients (âge moyen : 71 ans, 42 femmes) avec un RAC asymptomatique (Vmax aortique 4,1 m/s, surface aortique moyenne à 0,9 cm^2, gradient moyen à 40 mmHg) et un BNP moyen à 59 pg/mL.

Les facteurs indépendants prédictifs de la survie étaient le sexe féminin, la vitesse maximale aortique et le BNP permettant de calculer un score de risque :

[Vmax aortique (m/s) × 2] + (log (BNP) × 1,5) + 1,5 (si sexe féminin)]

La survie sans événement après 20 mois de suivi était de 80 % pour les patients compris dans le 1er quartile du score comparé à seulement 7 % de survie pour les patients du 4e quartile. Le taux d'événements était faible (< 10 %) quand le score était inférieur à 10 et élevé (> 75 %) quand le score était supérieur à 16. L'aire sous la courbe ROC était de

0,90 et 0,89 respectivement pour les cohortes de développement et de validation. Ce score pourrait être utile pour sélectionner les patients avec un RA asymptomatique qui pourraient bénéficier d'une chirurgie précoce de remplacement valvulaire aortique.

Casaclang-Verzosa *et al.* [3] se sont, eux, intéressés à l'évaluation de la fonction diastolique dans le RAC asymptomatique. 622 patients (âge moyen 71 ± 11 ans, 62 % d'hommes) avec un RAC serré (Vmax > 4 m/s, SAo 0,9 ± 0,2 cm^2, gradient moyen 46 mmHg) asymptomatique ont été suivis pendant 5,4 ± 4 ans au cours desquels on a noté l'apparition de symptômes chez 45 % des patients, une chirurgie valvulaire chez 57 % et un décès chez 27 % d'entre eux. La fonction diastolique représentée par la taille de l'oreillette gauche était un facteur prédictif de mortalité, indépendamment du sexe et de l'âge (p = 0,007), des comorbidités associées (p = 0,03), de la sévérité du rétrécissement et des paramètres Doppler de la fonction diastolique (p = 0,002).

Rafique *et al.* [4] ont publié une méta-analyse sur la valeur pronostique des examens de stress (majoritairement épreuve d'effort et échographie d'effort) chez les patients porteurs d'un RAC serré asymptomatique. Les données de 7 études comprenant 491 patients ont été incluses. Aucun des patients n'a présenté de complications durant ou après l'examen de stress. Aucune mort subite n'a eu lieu dans le groupe de patients avec un examen de stress normal après 1 an de suivi alors que 5 % des patients avec un stress anormal ont présenté une mort subite.

Au total, 66 % des patients avec un examen de stress anormal ont présenté un événement cardiaque durant le suivi contre seulement 21 % des patients qui avaient un examen de stress normal (OR : 0,12 ; IC 95 % : 0,07-0,21). L'examen est donc sûr et permet d'identifier les patients à haut risque d'événement cardiaque ou de mort subite afin de décider de la chirurgie de remplacement valvulaire aortique.

L'intérêt du test d'effort et de l'échographie d'effort dans les valvulopathies a été aussi précisé récemment [5], notamment dans le RAC serré asymptomatique ou le RAC serré en présence d'une dysfonction VG. L'échographie d'effort a aussi un intérêt chez les patients ayant un rétrécissement mitral asymptomatique ou chez des patients symptomatiques avec un RM moyennement serré, notamment pour évaluer l'évolution du gradient moyen et des pressions pulmonaires à l'effort. Enfin, dans l'insuffisance mitrale, la capacité à l'effort est un facteur prédictif de l'apparition de symptômes ou d'une dysfonction VG chez des patients asymptomatiques.

Echocardiographie et insuffisance mitrale (IM)

Tribouilloy *et al.* [6] ont montré l'implication dans la survie du diamètre télésystolique du ventricule gauche (DTSVG) dans une étude multicentrique ayant inclus 739 patients (âge moyen 65 ± 12 ans, FEVG 65 ± 10 %) avec une IM par prolapsus valvulaire. Le traitement était conservateur dans 1/4 des cas et médical suivi d'une chirurgie dans 75 % des cas.

Dans le groupe traitement conservateur, la survie à 10 ans et la survie sans décès cardiaque étaient plus élevées quand le DTSVG était < 40 mm *versus* ≥ 40 mm (64 ± 5 % *vs* 48 ± 10 % ; p < 0,001, et 73 ± 5 % *vs* 63 ± 10 % ; p < 0,001). Le DTSVG ≥ 40 mm est un prédicteur indépendant de la mortalité totale (HR : 1,95 ; IC 95 % : 1,01-3,83) et de la mortalité cardiaque (HR : 3,09 ; IC 95 % : 1,35-7,09) lors d'une prise en charge conservatrice. Lors du suivi de la cohorte totale incluant le postopératoire, le DTSVG ≥ 40 mm est aussi un facteur prédictif indépendant de mortalité totale (HR : 1,86 ; IC 95 % : 1,24-2,80) et de mortalité cardiaque (HR : 2,14 ; IC 95 % : 1,29-3,56), avec un excès de mortalité chez les patients avec un DTSVG ≥ 40 mm persistant après la chirurgie (HR : 1,86 ; IC 95 % : 1,11-3,15 pour la mortalité totale et HR : 1,81 ; IC 95 % : 1,05-3,54 pour les décès d'origine cardiaque).

L'analyse de la déformation a aussi un intérêt dans l'insuffisance mitrale chirurgicale pour prédire la dysfonction VG postopératoire. Une échocardiographie avec analyse du *strain* (obtenue en 2D et DTI à partir du segment moyen du septum interventriculaire) a été réalisée chez 38 patients consécutifs ayant une IM sévère d'indication chirurgicale [7]. Les volumes VG et la FEVG étaient obtenus en échocardiographie 3D. Les valeurs de 2D *strain* et *strain rate* préopératoires laissaient prévoir une diminution postopératoire de la FEVG de plus de 10 %, supérieure au dP/dT, à la FEVG et aux valeurs de *strain* obtenues en DTI. Le meilleur paramètre pour détecter une réduction postopératoire précoce de la FEVG > 10 % était le *strain rate* longitudinal à mi-septum < -0,80/s (aire sous la courbe ROC : 0,88, Se : 60 %, Sp : 96,5 %, VPP : 90 %, VPN : 82,35 %).

Echocardiographie et fonction diastolique VG

Nagueh *et al.* [8] ont publié en 2009 les recommandations sur l'évaluation échographique de la fonction diastolique. Ils ont proposé un algorithme diagnostique de l'évaluation des pressions de remplissage en présence d'une fonction VG préservée (***fig. 1***) et en présence d'une dysfonction systolique VG (***fig. 2***).

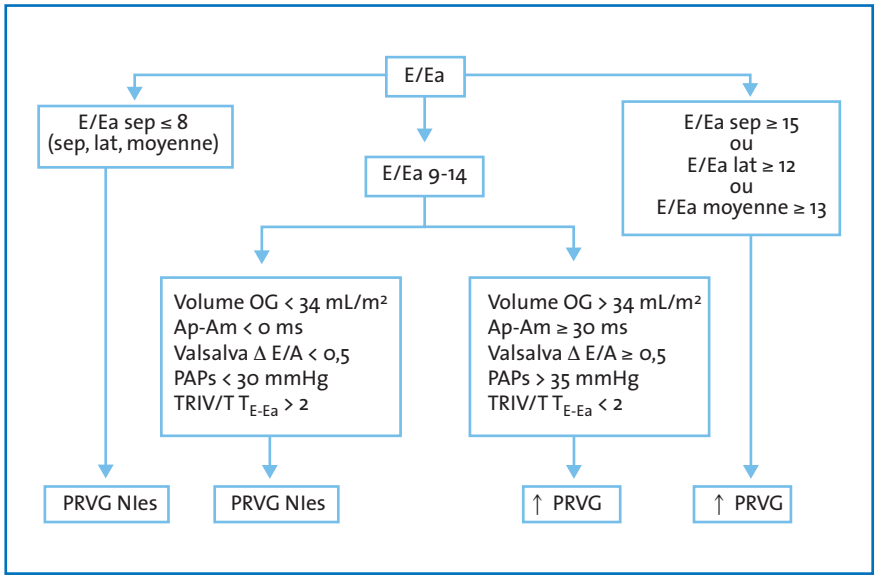

Fig. 1 : Algorithme diagnostique pour l'estimation des pressions de remplissage en cas de FEVG préservée. D'après [8].

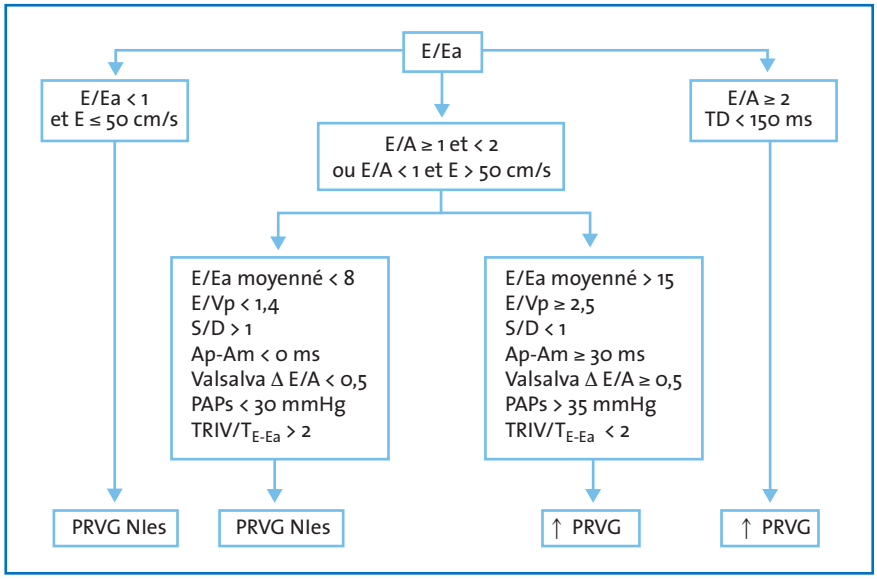

Fig. 2 : Algorithme diagnostique pour l'estimation des pressions de remplissage en cas de dysfonction VG. D'après [8].

L'équipe de Arques [9] s'est intéressée aux facteurs influençant la corrélation du BNP et du volume de l'oreillette gauche avec la pression télédiastolique ventriculaire gauche chez 59 patients stables (âge moyen : 64 ans, 63 % d'hommes) avec fonction systolique préservée (FEVG moyenne : 59 %). La fraction d'éjection, la fonction diastolique et l'âge ($p < 0,05$) étaient les facteurs prédictifs indépendants du BNP. La masse ventriculaire gauche et la pression télédiastolique ventriculaire gauche invasive ($p < 0,01$) étaient les facteurs prédictifs indépendants du volume de l'oreillette gauche. Le BNP étant influencé par l'âge chez les patients stables avec fonction systolique préservée doit être interprété avec prudence. En revanche, le volume de l'oreillette gauche était un puissant prédicteur de la pression télédiastolique ventriculaire gauche invasive, indépendamment de l'âge et du profil mitral.

Nouvelles techniques en échocardiographie

L'échocardiographie 3D temps réel transthoracique et transœsophagienne et l'étude de la déformation par *speckle tracking* ont été à l'origine de très nombreuses publications.

1. Echocardiographie 3D et IM fonctionnelle

Ajmone Marsan *et al.* [10] ont montré chez 64 patients avec IM fonctionnelle que l'évaluation directe de la SOR en ETT3DTR était faisable et reproductible. L'ETT2D sous-estimait systématiquement la SOR en comparaison avec l'ETT3DTR et la différence entre ces deux techniques était plus accentuée en présence d'un orifice régurgitant asymétrique. Une corrélation puissante a été observée entre l'ETT3DTR et l'IRM pour la mesure du VR, sans biais significatif entre ces deux techniques. Inversement, l'ETT2D sous-estimait significativement le VR en comparaison avec l'IRM.

2. Echocardiographie 3D et échographie de stress

Yoshitani *et al.* [11] se sont intéressés à l'apport du 3D durant l'échographie de stress en comparant deux modalités multiplans (***fig. 3***) et multislices (***fig. 4***) chez 71 patients ayant tous eu une coronarographie. Ils ont montré que la sensibilité des deux modalités était identique mais que la spécificité

Fig. 3 : Echographie de stress 3D : modalité multiplan.

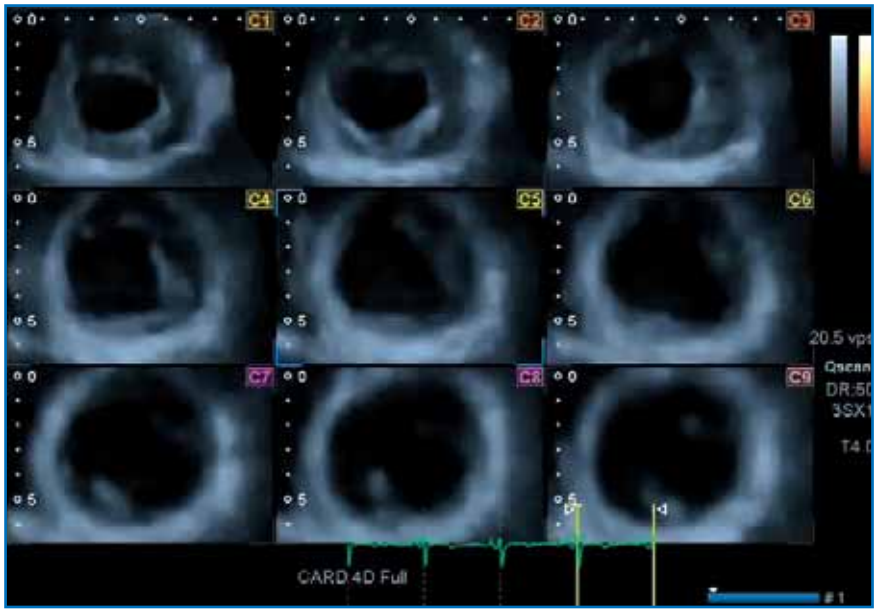

Fig. 4 : Echographie de stress 3D : modalité multislice.

du 3D multislice était meilleure (95 % *vs* 77 %). L'échographie de stress 3D est réalisable avec une bonne sensibilité pour la détection de la maladie coronaire. Elle offre de nombreux avantages comme la rapidité d'acquisition et la visualisation simultanée de tous les segments sur un même cycle cardiaque.

3. 2D strain et cardiopathie ischémique

La valeur prédictive du 2D *strain* longitudinal pour la présence de coronaropathie sévère a été récemment montrée en l'absence d'anomalie de cinétique pariétale régionale au repos [12] chez 108 patients ayant bénéficié d'une échocardiographie et d'une coronarographie. Le pic systolique de *strain* longitudinal était significativement réduit, en particulier dans les segments moyens et basaux, dans le groupe à haut risque (atteinte du tronc commun ou coronaropathie tritronculaire). L'analyse de la courbe ROC a démontré que le pic systolique du *strain* longitudinal dans les segments moyens et basaux pouvaient détecter avec précision les patients avec coronaropathie sévère (surface sous la courbe ROC : 0,83 ; IC 95 % : 0,75-0,91). La valeur seuil de -17,9 % aurait la meilleure performance pour discriminer les patients, avec et sans coronaropathie significative (spécificité : 79 % et sensibilité : 79 %). Ainsi, cette étude a montré que le pic systolique de *strain* longitudinal était significativement réduit chez les patients avec sténose du tronc commun ou lésions tritronculaires, même en l'absence d'anomalies de la cinétique segmentaire au repos, et pourrait être utile dans l'identification des patients avec coronaropathie sévère.

Une étude multicentrique [13] a évalué la valeur incrémentielle du 2D *strain* par rapport à l'analyse de la cinétique segmentaire dans la détection de coronaropathie chez 102 patients candidats à une échographie de stress sous dobutamine et une coronarographie. Les valeurs seuils optimales pour le *strain* longitudinal global moyen (-20 %), le *strain* circonférentiel global (-26 %) et le *strain* radial moyen (50 %) au pic de dobutamine pour la détection de sténoses coronaires significatives ont été déterminées chez un groupe de 62 patients et testées puis validées chez 40 patients recrutés prospectivement. Les sensibilités respectives des différentes composantes du *strain* :

longitudinal, circonférentiel et radial ainsi que l'index de score segmentaire étaient de 84,2 %, 73,9 %, 78,3 % et 76 % ; les spécificités respectives étaient de 87,5 %, 78,6 %, 57,1 % et 92,9 % ; et les précisions diagnostiques respectives de 85,2 %, 75,7 %, 70,3 % et 82,1 %. L'analyse du *strain* longitudinal avait une précision comparable à celle de l'index de score de cinétique segmentaire (p = 0,70). Cependant, l'association de l'analyse de *strain* longitudinal et du score de cinétique segmentaire avait les sensibilité, spécificité et précision diagnostique les plus élevées (100 %, 87,5 %, et 96,3 % respectivement), et la précision diagnostique de cette association était incrémentielle à celle de l'analyse du *strain* longitudinal seul (p = 0,034) ou du score de cinétique segmentaire seul (p = 0,008). Ainsi, cette étude a montré que l'analyse du *strain* longitudinal avait une précision diagnostique plus élevée que les composantes circonférentielle et radiale du *strain*, et qu'elle était comparable à celle du score de cinétique segmentaire dans la détection de coronaropathie significative. De plus, l'association de l'analyse du *strain* longitudinal à celle du score de cinétique segmentaire permettait une amélioration incrémentielle de la précision diagnostique.

4. 2D *strain* et insuffisance cardiaque

Une étude [14] a évalué pour la première fois la valeur pronostique du 2D *strain* global dans l'insuffisance cardiaque indépendamment de la FEVG. Le 2D *strain* longitudinal global et le 2D *strain* circonférentiel global ont été mesurés chez 201 patients (63 ± 11 ans, FEVG 34 ± 13 %) hospitalisés pour insuffisance cardiaque aiguë. Le critère de jugement primaire était la survenue de décès d'origine cardiaque ou de réadmission pour insuffisance cardiaque. Après un suivi de 39 ± 17 mois, 23,4 % d'événements sont survenus. En analyse multivariée, l'âge (*hazard ratio* [HR] : 1,06, IC 95 % : 1,01 à 1,10, p = 0,017), et le *strain* global circonférentiel (HR : 1,15, IC 95 % : 1,04 à 1,28 ; p = 0,006) étaient indépendamment associés à la survenue d'événements cardiaques. L'association du *strain* circonférentiel global au modèle de Cox contenant la FEVG, le E/e'et le *strain* longitudinal global améliorait considérablement la valeur pronostique de ce modèle. Ainsi, cette étude a montré que le *strain* circonférentiel global était un facteur prédictif puissant d'événements cardiaques, supérieur à la FEVG, dans l'insuffisance cardiaque aiguë.

5. 3D speckle tracking (3DST)

La faisabilité du 2D ST pour la mesure automatique des volumes ventriculaires gauches et de la FEVG a été montrée par Nishikage *et al.* [15]. Bien que prometteuse, cette technique sous-estime de façon importante le volume télédiastolique et la FEVG en comparaison avec l'ETT3DTR et l'IRM principalement liée aux limites de l'imagerie 2D, alors que les approches 3D (IRM et ETT3DTR) ne sont pas entravées par les hypothèses géométriques incertaines.

Ainsi, compte tenu de l'architecture tridimensionnelle complexe du VG, la cinétique myocardique, le déplacement et la déformation devraient idéalement être dérivés à partir de données de volume total. Le 3D *speckle tracking* [16] pourrait s'affranchir des limites sus-évoquées, permettant une quantification plus précise de la fonction VG globale et régionale (***fig. 5, 6 et 7***).

Une étude expérimentale préliminaire menée chez le mouton [16] a validé le 3D ST en comparaison avec la sonomicrométrie dans l'évaluation de la fonction myocardique régionale du VG. Les valeurs segmentaires des composantes du *strain*, longitudinal (SL), radial (SR) et circonférentiel (SC) obtenues en 3D ST ont été comparées avec celles obtenues en sonomicrométrie au repos et au cours d'un stress pharmacologique (perfusion de dobutamine et propranolol), ou d'une ischémie myocardique aiguë induite par l'occlusion des artères coronaires. De

Fig. 5 : Speckle tracking 3D chez un sujet normal.

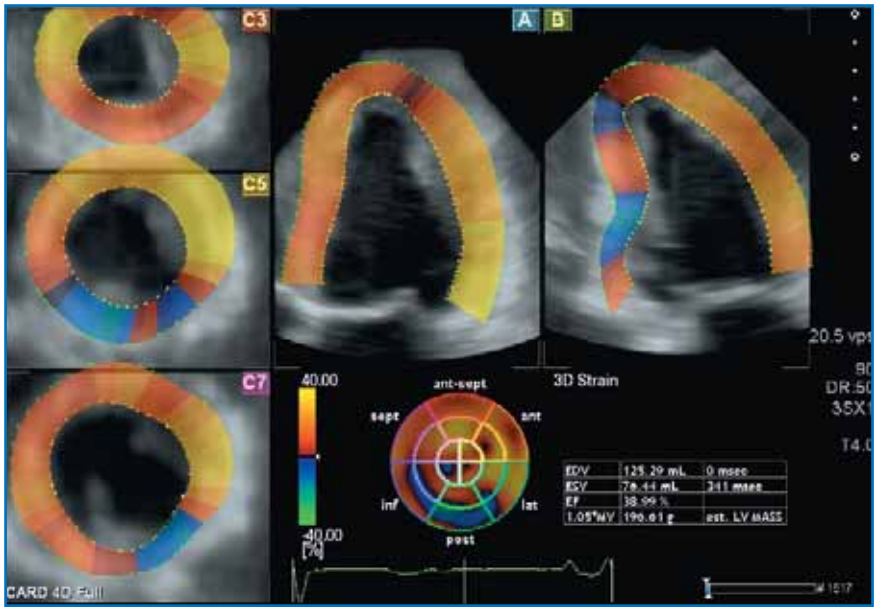

Fig. 6 : Speckle tracking 3D chez un patient ayant présenté un infarctus du myocarde inféro-postérieur.

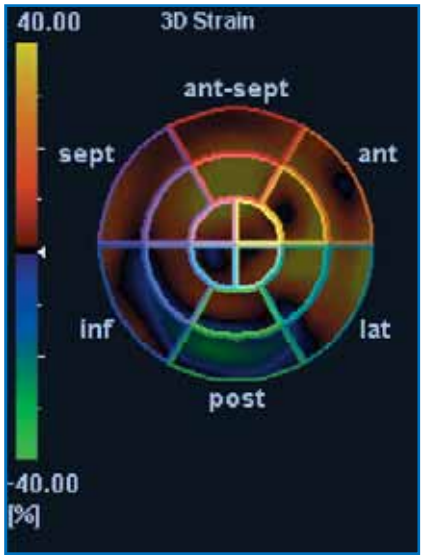

Fig. 7 : Speckle tracking 3D chez un patient ayant présenté un infarctus du myocarde inféro-postérieur.

bonnes corrélations ont été obtenues entre les mesures de *strain* en 3D ST et en sonomicrométrie (SL : r = 0,89, p = 0,001 ; SR : r = 0,84, p = 0,001 ; SC : r = 0,90, p = 0,001). Dans chaque analyse segmentaire, des corrélations significatives des trois composantes du *strain* ont été observées (SL : r = 0,65-0,68, p = 0,001 ; SR : r = 0,59-0,70, p = 0,001 ; SC : r = 0,71-0,78, p = 0,001). Cette étude a montré la valeur du 3D ST dans le diagnostic de l'altération de la contractilité pariétale induite par le stress pharmacologique et l'occlusion coronaire.

Saito *et al.* [17] ont testé la faisabilité du 3D ST et comparé les valeurs des composantes radiale, circonférentielle et longitudinale du *strain* avec celles obtenues en 2D ST chez 46 sujets volontaires sains. Le temps moyen d'acquisition et d'analyse du 3D ST était significativement plus court en comparaison avec le 2D ST. La valeur de *strain* longitudinal en 3D ST était significativement inférieure à celle obtenue en 2D ST (-17,4 % ± 5 % *vs* -19,9 % ± 6,7 %, p < 0,0001), alors que la valeur de *strain* circonférentiel en 3D ST était significativement supérieure à celle obtenue en 2D ST (-30,1 ± 7,1 % *vs* -26,3 % ± 6,9 %, p < 0,0001). Les variabilités intra- et interobservateur étaient de 10,1 % et 10,9 % en 3D ST, et de 9,9 % et 11,1 % en 2D ST, respectivement. Cette étude a montré la faisabilité, la simplicité et la reproductibilité du 3D ST dans la mesure des composantes radiale, circonférentielle et longitudinale du *strain*. Les auteurs de cette étude attribuent la discordance des résultats obtenus entre les 2 techniques à la cinétique tridimensionnelle cardiaque non prise en compte par le 2D ST.

Une autre étude [18] a confirmé la supériorité du 3D ST en comparaison avec le 2D ST dans la mesure des indices de cinétique pariétale régionale. Les déplacements segmentaires radial et longitudinal, la rotation ainsi que les composantes radiale, circonférentielle et longitudinale du *strain* ont été mesurés au moyen des deux techniques chez 32 sujets. Par ailleurs, une IRM cardiaque, réalisée le même jour, a permis de classer les segments myocardiques en segments normaux ou anormaux. La valeur de chaque indice 3D ST a été comparée pour les segments normaux et anormaux. La corrélation entre les indices 3D ST et 2D ST n'était pas bonne (r = 0,16-0,76) et les limites de la concordance entre les deux approches étaient larges (2 DS : 5 à 6 mm pour les déplacements, 14° pour la rotation, 17 % à 52 % pour le *strain*) malgré des biais minimes, indiquant ainsi que les deux techniques ne sont pas interchangeables. Dans les segments normaux, le 3D ST a montré des déplacements plus importants (reflétant la composante en-dehors-du-plan du mouvement), des déviations standard plus petites (indiquant des limites plus étroites de valeurs normales) et enfin une décroissance graduelle des déplacements radial et longitudinal ainsi qu'une inversion de la rotation de la base à l'apex. Dans les segments anormaux, tous les indices 3D ST étaient réduits, atteignant la limite de la significativité pour 5 des 6 indices.

Des données expérimentales et cliniques récentes ont montré la faisabilité de cette nouvelle méthode de 3D ST

dans la mesure du *strain* VG régional mais elle nécessite encore d'autres études pour sa validation.

Conclusion

Les progrès en échocardiographie permettent d'améliorer encore la prise en charge des patients comme par exemple de préciser le moment opportun de la chirurgie cardiaque chez des patients asymptomatiques porteurs d'une valvulopathie significative.

Le développement croissant de l'échocardiographie 3D et de l'imagerie de déformation est aussi une réelle avancée dans le domaine de l'échographie cardiaque avec des applications dans de nombreuses pathologies cardiovasculaires.

Bibliographie

1. Rosenhek R, Zilberszac R, Schemper M *et al.* Natural History of Very Severe Aortic Stenosis. *Circulation*, 2010 ; 121 : 151-6.
2. Monin JL, Lancellotti P, Monchi M *et al.* Risk score for predicting outcome in patients with asymptomatic aortic stenosis. *Circulation*, 2009 ; 120 : 69-75.
3. Casaclang-Verzosa G, Malouf J, Scott C *et al.* Does left atrial size predict mortality in asymptomatic patients with severe aortic stenosis ? *Echocardiography*, 2010 ; 27 : 105-9.
4. Rafique M, Biner S, Ray I *et al.* Meta-analysis of prognostic value of stress testing in patients with asymptomatic severe aortic stenosis. *Am J Cardiol*, 2009 ; 104 : 972-7.
5. Picano E, Pibarot P, Lancellotti P *et al.* The emerging role of exercise testing and stress echocardiography in valvular heart disease. *J Am Coll Cardiol*, 2009 8 ; 54 : 2251-60.
6. Tribouilloy C, Grigioni F, Avierinos JF *et al.* Survival implication of left ventricular end-systolic diameter in mitral regurgitation due to flail leaflets a long-term follow-up multicenter study. *J Am Coll Cardiol*, 2009 ; 54 : 1961-8.
7. De Isla LP, de Agustin A, Rodrigo JL *et al.* Chronic mitral regurgitation : a pilot study to assess preoperative left ventricular contractile function using speckle-tracking echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009 ; 22 : 831-8.
8. Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC *et al.* Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009 ; 22 : 107-33.
9. Jaubert MP, Armero S, Bonello L *et al.* Predictors of B-type natriuretic peptide and left atrial volume index in patients with preserved left ventricular systolic function : An echocardiographic-catheterization. *Arch Cardiovasc Dis*, 2010 ; 103 : 3-9.
10. Ajmone Marsan N, Westenberg JJM, Ypenburg C *et al.* Quantification of functional mitral regurgitation by real-time 3D echocardiography comparison with 3D velocity-encoded cardiac magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol Img*, 2009 ; 2 : 1245-52.
11. Yoshitani K, Takeuchi M, Mor-Avi V *et al.* Comparative diagnostic accuracy of multiplane and multislice three-dimensional dobutamine stress echocardiography in the diagnosis of coronary artery disease. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009 ; 22 : 437-42.
12. Choi JO, Cho SW, Song YB *et al.* Longitudinal 2D strain at rest predicts the presence of left main and three vessel coronary artery disease in patients without regional wall motion abnormality. *Eur J Echocardiogr*, 2009 ; 10 : 695-701.
13. Ng AC, Sitges M, Pham P *et al.* Incremental value of 2-dimensional speckle tracking strain imaging to wall motion analysis for detection of coronary artery disease in patients undergoing dobutamine stress echocardiography. *Am Heart J*, 2009 ; 158 : 836-44.
14. Cho GY, Marwick TH, Kim HS *et al.* Global 2-dimensional strain as a new prognosticator in patients with heart failure. *J Am Coll Cardiol*, 2009 ; 54 : 618-24.
15. Nishikage T, Nakai H, Mor-Avi V *et al.* Quantitative assessment of left ventricular volume and ejection fraction using two-dimensional speckle tracking echocardiography. *Eur J Echocardiogr*, 2009 ; 10 : 82-8.
16. Crosby J, Amundsen H, Hergum T *et al.* 3-D speckle tracking for assessment of regional left ventricular function. *Ultrasound Med Biol*, 2009 ; 35 : 458-71.
17. Saito K, Okura H, Watanabe N *et al.* Comprehensive evaluation of left ventricular strain using speckle tracking echocardiography in normal adults : comparison of three-dimensional and two-dimensional approaches. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009 ; 22 : 1025-30.
18. Maffessanti F, Nesser HJ, Weinert L *et al.* Quantitative evaluation of regional left ventricular function using three-dimensional speckle tracking echocardiography in patients with and without heart disease. *Am J Cardiol*, 2009 ; 104 : 1755-62.

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