

■ Revues générales

Strain ventriculaire gauche pour tous ?

RÉSUMÉ : L'imagerie de déformation ou *strain* est dorénavant un outil accessible à quasiment tous les cardiologues. Son utilisation permet d'améliorer l'évaluation de la fonction ventriculaire gauche mais aussi d'approcher la caractérisation tissulaire et la mécanique cardiaque. Le *strain* utilise l'analyse du déplacement myocardique par le *tracking* des *speckles* (marqueurs acoustiques naturels) permettant de fournir une quantification de la fonction systolique longitudinale précise et reproductible. Les données concernant les applications cliniques de cette technique et leur intérêt diagnostique et pronostique sont de plus en plus nombreuses. Ce paramètre devient donc progressivement indispensable dans la pratique quotidienne des imageurs pour l'interprétation de troubles de la cinétique segmentaire ou le dépistage d'une dysfonction débutante, en cas de discordances entre les symptômes et les marqueurs de fonction systolique et diastolique conventionnels mais aussi en cas de modifications géométriques (ex : hypertrophie) ou d'asynchronisme.



O. HUTTIN, L. FILIPPETTI, C. VENER, C. SELTON-SUTY
Institut lorrain du cœur
et des vaisseaux Louis Mathieu,
VANDŒUVRE-LÈS-NANCY.

L'utilisation des paramètres de déformation myocardique (ou *strain*) est progressivement en train de se démocratiser. La méthode de mesure la plus utilisée est le *speckle tracking* permettant au logiciel de post-traitement, à partir de l'échocardiographie bidimensionnelle et du suivi de marqueurs acoustiques au cours du cycle cardiaque, d'approcher la déformation segmentaire et globale du myocarde.

Le paramètre de déformation avec le niveau de preuve le plus élevé est le pic de *strain* systolique longitudinal global (GLS, %), correspondant à la valeur maximale de déformation myocardique au cours de la systole du ventricule gauche obtenue à partir des coupes apicales. Son apparition dans certaines recommandations et sa large présence dans les algorithmes décisionnels en imagerie cardiovasculaire permettent de guider le clinicien dans la prise en charge diagnostique et thérapeutique de nombreuses pathologies.

■ Pourquoi un tel intérêt ?

Pour comprendre l'intérêt grandissant de ce paramètre de fonction longitudinale dans l'étude de la fonction cardiaque, il faut au préalable intégrer les limites potentielles de la mesure de la fraction d'éjection ventriculaire gauche (FEVG), paramètre incontournable de toute échocardiographie. Cette dernière souffre en effet de plusieurs limites :

- il s'agit d'un paramètre d'évaluation globale qui ne prend en compte que partiellement l'asynchronisme, les troubles de la cinétique segmentaire ou un hyperdynamisme segmentaire compensatoire ;
- la FEVG peut rester normale, dans un certain nombre de situations avec modifications géométriques et remodelage important du VG, et n'est donc pas discriminatoire chez ces patients [1] ;
- la FEVG est peu reproductible et sensible aux modifications des conditions de charge et de la fréquence cardiaque, rendant son utilisation lors de suivis de patients sujette à caution.

Revue générale

L'ensemble de ces arguments confirme la nécessité, non pas de remplacer la FEVG par la mesure du *strain*, mais d'associer ces deux paramètres pour améliorer la précision de l'évaluation de la fonction systolique VG [2].

Comment se mesure-t-il ?

L'image ultrasonore bidimensionnelle du myocarde est la résultante de la réflexion sur les tissus des ultrasons émis. L'aspect d'agencement de motifs avec des valeurs de gris différentes est constitué d'unités acoustiques appelées *speckles*. Le suivi des différents *speckles* (*tracking*) d'une image à l'autre et l'un par rapport à l'autre permet d'évaluer les déplacements et les déformations myocardiques. Le *strain* est une quantification du pourcentage de rapprochement (raccourcissement) entre deux extrémités d'un segment. Une des limites à cette technique est la qualité de l'image bidimensionnelle qui doit être suffisante pour permettre l'identification et le suivi des *speckles*.

La contraction systolique des fibres du myocarde, ayant une architecture spatiale complexe, provoque une déformation du VG dans les trois dimensions : longitudinale, circonférentielle et radiale. Les indications en pratique clinique de la mesure du *strain* sont basées uniquement sur le *strain* longitudinal (GLS), les autres paramètres étant moins performants en termes de faisabilité et de reproductibilité. Sa mesure s'effectue à partir des coupes apicales VG avec contourage de l'endocarde de l'ensemble du VG et positionnement de la région d'intérêt adaptée à l'épaisseur myocardique (*fig. 1*).

Quelles sont les valeurs normales et les facteurs de variation des mesures ?

Le GLS est exprimé en pourcentage et négativement. La valeur normale reconnue par les experts du domaine est définie à -20 % [2]. Par convention, le *strain* s'exprime en valeur absolue,

et on peut donc utiliser la terminologie de diminution du *strain* quand sa valeur absolue diminue et que le *strain* s'altère. Les valeurs de déformation peuvent être influencées par des facteurs techniques et cliniques spécifiques au patient et notamment son échogénicité. La première règle est donc d'obtenir des images de qualité (cadence > 40 images par seconde) sans tronquer la pointe du cœur. En cas de difficulté ou d'image de qualité modeste avec défaut de *tracking*, il faut savoir renoncer à l'analyse sous réserve d'obtenir des valeurs erronées qui peuvent être une source majeure de défaut d'interprétation, avec une sous-estimation prédominante au niveau des segments basaux et inférieurs.

L'une des autres sources de variabilité potentielle est la réalisation de la mesure sur des appareils de constructeurs différents avec des valeurs de GLS allant de 18,0 à 21,5 % [3]. Il existe cependant un travail collaboratif pour standardiser les mesures et il est recommandé de rester sur le même appareil pour comparer des

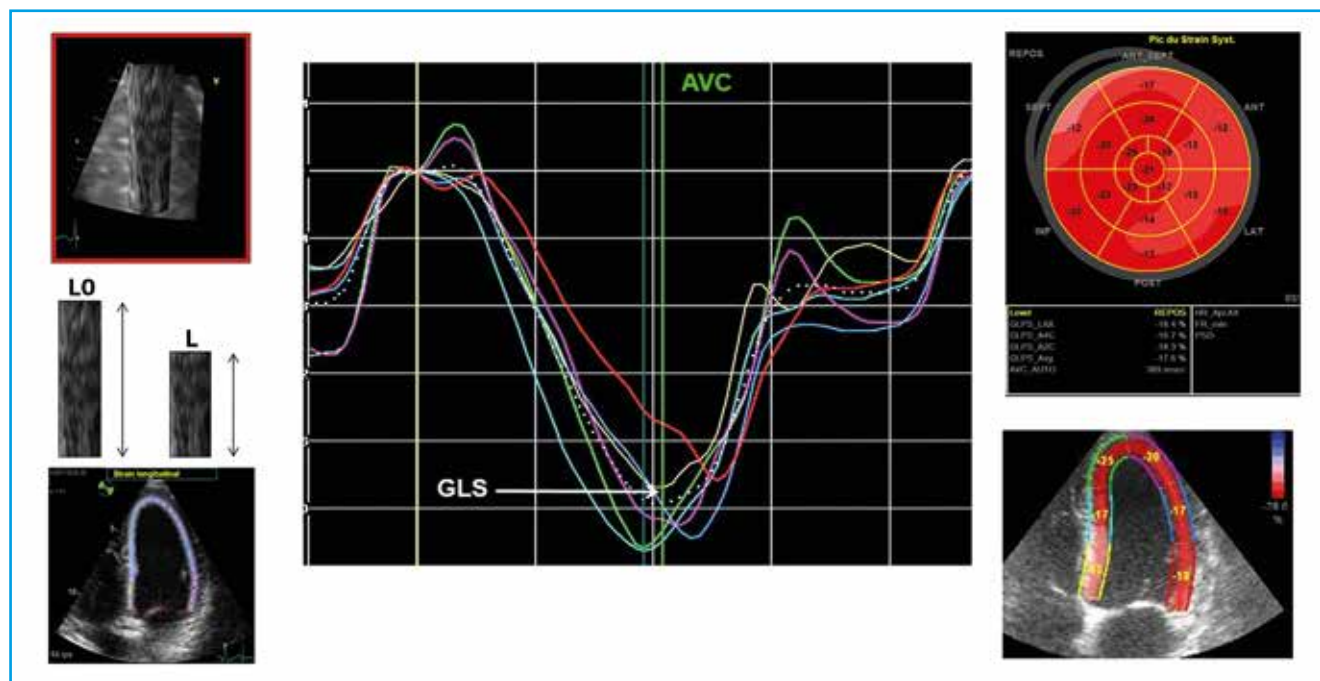


Fig. 1 : Différentes représentations graphiques lors du post-traitement pour calcul du *strain* longitudinal global (GLS) et segmentaire : courbes de déformation et œil de bœuf. Pour une fibre myocardique de longueur L0 pouvant s'étirer en diastole ou se raccourcir en systole jusqu'à une longueur L, le *strain* dans une dimension sera selon la formule de Lagrangian : $\epsilon = (L - L_0) / L_0$. Il est positif si L est supérieur à L0 (épaississement), négatif si L est inférieur à L0 (raccourcissement).

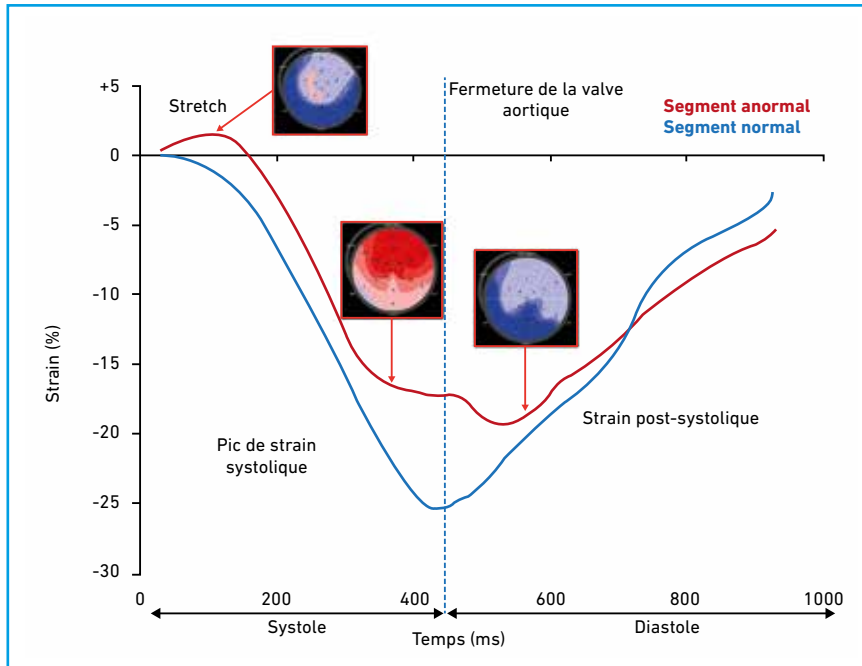


Fig. 2 : Courbe de déformation myocardique systolo-diastolique d'un segment normal (zone non infarctée) et anormal (séquelle de nécrose inférieure): *strain* télé-systolique (*strain* au moment de la fermeture de la valve aortique), tardokinésie avec déformation post-systolique et stretch protosystolique.

valeurs répétées chez un même patient. La reproductibilité reste dans tous les cas supérieure ou au moins comparable aux paramètres de fonction systolique et diastolique conventionnels, et notamment de la FEVG. Par ailleurs, il faut noter qu'à âge égal, le GLS est plus élevé chez les femmes et que l'âge entraîne une diminution des valeurs de *strain*. Le GLS est aussi influencé par des paramètres hémodynamiques, comme la pression artérielle, la fréquence cardiaque et les facteurs de risque en général tels que l'obésité ou le diabète de type 2, associés à des valeurs plus faibles [4] (**fig. 2**).

Quelles sont ses principales applications cliniques ?

Il existe donc des variations, le plus souvent mineures, pouvant s'opérer chez un sujet sain. En cas d'atteinte myocardique – et ce quelle que soit sa cause (stress, inflammation, fibrose ou nécrose) – le profil de déformation du ou des segments incriminés va se modi-

fier avec, en fonction des situations, un certain degré de stretch myocardique (étirement protosystolique) associé ou non à une contraction post-systolique (tardokinésie), responsables d'une dimi-

nution du pic de *strain* segmentaire et donc du GLS (< 16 %).

1. Coronaropathie et cardiopathie ischémique

La présence d'une ischémie va se traduire par une hétérogénéité de la contraction cardiaque systématisée dans un territoire coronaire donné et touchant de façon préférentielle et initiale les couches sous-endocardiques. C'est ainsi que l'évaluation du GLS a pris toute sa valeur en phase aiguë, mais aussi pour l'élaboration de stratégies de revascularisation dans le syndrome coronarien aigu [5]. L'analyse du *strain* global et régional va permettre de localiser, quantifier et évaluer la présence des défauts de contractilité intrinsèque et de le corroborer à votre analyse visuelle de la cinétique segmentaire. Elle peut faciliter une stratégie d'intervention plus rapide chez les patients atteints d'infarctus du myocarde avec ou sans sus-décalage du segment ST. Dans les cardiopathies ischémiques chroniques, en plus de la valeur additionnelle pronostique du GLS qui est corrélée significativement à la taille de l'infarctus, elle peut aussi donner des informations sur la viabilité résiduelle (**fig. 3**) [6].

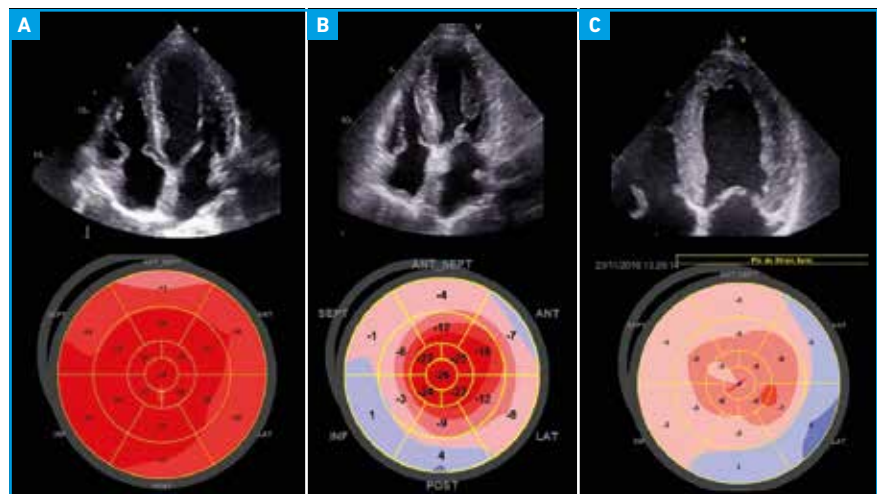


Fig. 3 : Représentation des valeurs de déformation myocardique chez 3 patients porteurs d'amylose cardiaque. **A :** patient asymptomatique avec amylose à transthyrétine et HVG légère, FEVG préservée à 79 % et GLS subnormal mais aspect en cocarde discret et discordance GLS/FEVG ; **B :** patient atteint d'une amylose AL, stade NYHA 3, avec FEVG préservée, aspect en cocarde typique et ratio apex/basal du *strain* > 2 ; **C :** patient avec amylose cardiaque TTR évoluée et dysfonction VG, GLS effondré mais persistance d'un léger gradient base-apex.

Revue générale

POINTS FORTS

- La mesure du *strain* longitudinal global s'est imposée comme un outil simple, reproductible et rapide à réaliser pour l'évaluation de la fonction systolique ventriculaire gauche.
- Il apporte une valeur additionnelle diagnostique et pronostique comparativement à la fraction d'éjection ou l'évaluation visuelle dans de nombreuses situations.
- La valeur normale (en valeur absolue) à retenir est celle de 20 % pour le *strain* longitudinal global ; plus sa valeur diminue, plus cela témoigne d'un défaut de contractilité quelle qu'en soit la cause.
- Tout cardiologue doit savoir identifier les situations cliniques où cette mesure devient indispensable, voire recommandée, pour améliorer la prise en charge et le suivi du patient : surveillance de chimiothérapie, hypertrophie cardiaque, insuffisance cardiaque, notamment en cas de fraction d'éjection normale, et coronaropathie...

2. Cardiomyopathies et insuffisance cardiaque

En cas d'hypertrophie, quelle que soit son étiologie, la fonction radiale est le plus souvent préservée (FEVG) mais la fonction systolique globale, notamment longitudinale, est altérée. Chez ces patients avec ou sans signe d'insuffisance cardiaque (IC), le GLS prend toute sa dimension. Chez les patients atteints de cardiomyopathie hypertrophique dite sarcomérique, la réduction du GLS est associée à un plus mauvais pronostic, y compris la survenue de nouvelle IC [7]. De plus, les valeurs régionales les plus basses sont corrélées à l'importance de l'hypertrophie mais aussi à la fibrose en IRM cardiaque [8].

Par ailleurs, son rôle est incontestable pour différencier certaines cardiopathies infiltratives (amylose cardiaque) d'autres étiologies d'hypertrophie VG. En plus de la valeur globale de *strain*, qui est un marqueur pronostique, il faut alors prendre en compte la distribution et le gradient de *strain* avec l'aspect en cocarde caractéristique (fig. 4). Ce gradient base-apex lié aux dépôts

d'amyloïdes (calcul du ratio des valeurs apicales/basales) permet avec une bonne valeur diagnostique d'évoquer le diagnostic pour déclencher d'autres explorations d'imagerie. De plus, on observe souvent chez ces patients une discordance entre les valeurs de GLS,

qui sont basses, et une FEVG normale ou supra-normale [9].

Chez les patients avec cardiomyopathie dilatée ou ischémique, le GLS a aussi une place centrale, principalement pronostique. En cas d'IC à FEVG altérée, il va donner une information sur le risque de survenue d'événement rythmique et de nouvelle décompensation additionnelle [10]. Il a également un rôle majeur pour évaluer les patients dits pré-symptomatiques, à risque d'évoluer vers une IC clinique (classe B de la classification ACC/AHA, fig. 2). Par exemple, chez les patients hypertendus, le GLS était significativement plus bas comparativement aux contrôles, mais plus élevé que chez des patients avec antécédent d'IC à FE préservée [11]. Cela en fait donc un outil indispensable pour évaluer la fonction systolique en cas de dysfonction diastolique aussi pour détecter précocement une dysfonction VG infraclinique comme lors de traitements cardiotoxiques (ex : chimiothérapie). Les dernières recommandations de cardio-oncologie ont intégré qu'une diminution du pourcentage relatif du GLS de 15 % par rapport aux valeurs de

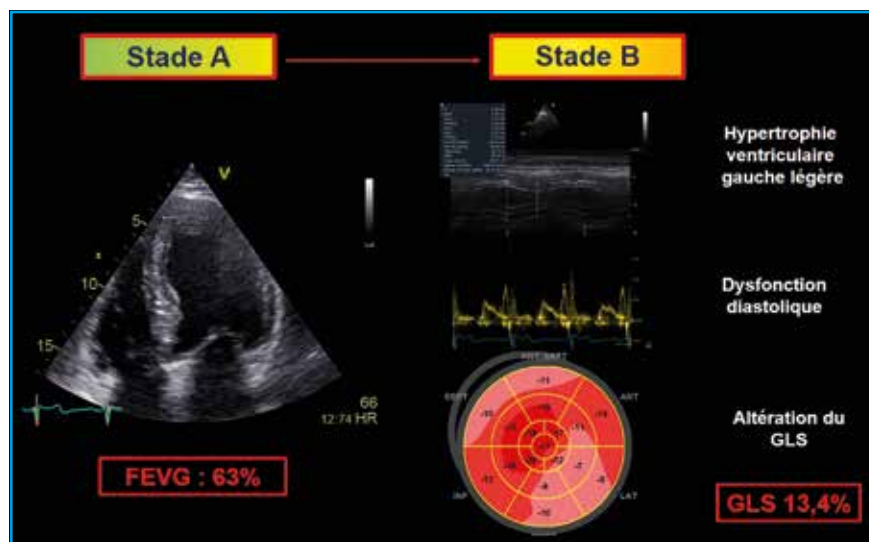


Fig. 4 : Échocardiographie systématique chez un homme asymptomatique de 65 ans diabétique de type 2. Avant l'échocardiographie, ce patient est logiquement considéré en stade A de la classification ACC/AHA de l'insuffisance cardiaque, c'est-à-dire asymptomatique, avec facteur de risque mais sans anomalie structurale. L'échocardiographie avec la mise en évidence d'une hypertrophie légère, d'une dysfonction diastolique et une altération modérée du GLS change son statut (stade B) avec un risque supérieur d'évoluer vers une IC.

départ avait une bonne valeur diagnostique pour prédire une cardiotoxicité et discuter la mise en place des mesures de cardioprotection [12].

3. Valvulopathies

Les principales recommandations sur les valvulopathies proposent une intervention chirurgicale chez les patients asymptomatiques seulement en cas de remodelage ou de dysfonction VG significative (FE < 50 %). Cependant, on sait que certains patients vont avoir une mortalité péri-et postopératoire plus importante même en l'absence de symptômes et de FEVG préservée [13]. Le GLS, notamment dans la sténose aortique, a été largement étudié en tant que marqueur de dysfonction infraclinique, mais aussi comme outil de prédiction des événements cardiovasculaires, et est associé à une réponse anormale à l'exercice [CS1] [13, 14]. Bien que le GLS n'ait pas encore été officiellement inclus dans les recommandations des valvulopathies, sa place dans les algorithmes d'imagerie multimodalité est prometteuse [15].

Quelles sont les évolutions à venir de cette technique ?

Les avancées technologiques nous projettent sur des indications de plus en plus larges de la mesure du *strain*, tant sur les indications que sur les modalités d'acquisition (3D, IRM). Les logiciels de post-traitement vont intégrer progressivement cette mesure dans le même temps que le calcul automatique de la FEVG, et améliorer la fluidité et le temps de post-traitement. La mesure du *strain* dans les trois dimensions est encore limitée par la résolution temporelle, mais l'amélioration du matériel pourrait apporter une évaluation multiplanaire et possiblement multimodalité avec l'avènement du *feature tracking* en IRM [16].

De plus, les logiciels de post-traitement nous permettent d'envisager une évaluation

encore plus précise de la fonction myocardique intrinsèque, notamment en cas d'asynchronisme, en intégrant la valeur de la postcharge et en reproduisant des courbes pressions-*strain* avec le calcul du travail myocardique [17].

D'autres cavités peuvent aussi être explorées et, parmi les nombreux paramètres de quantification du ventricule droit (VD), le *speckle tracking* s'est rapidement imposé comme un outil de quantification fiable et reproductible de la fonction VD. La mesure du *strain* du VD se réalise à partir d'une coupe apicale centrée sur le VD et la valeur normale retenue est celle de la paroi libre (de l'ordre de 30 %). Ce paramètre a démontré une valeur pronostique additionnelle dans l'insuffisance cardiaque, l'HTAP et aussi la dysplasie arythmogène du VD [18].

Bien qu'il n'existe pas encore de logiciel dédié, l'utilisation de la déformation dans l'étude de la fonction de l'oreillette gauche, avec mesure du pic de déformation notamment dans sa phase réservoir (valeur normale à 38 %), permet en plus du remodelage une évaluation de sa fonction. Cela peut avoir un intérêt particulier dans la prédiction d'événement en cas de fibrillation atriale mais aussi dans la dysfonction diastolique et l'évaluation des pressions de remplissage [19].

Conclusion

La démocratisation du *strain* pour l'évaluation de la fonction ventriculaire gauche nous impose, en tant que cardiologues cliniciens et/ou chercheurs, à connaître et identifier les situations recommandées pour le réaliser. Mais, surtout, il convient d'en apprécier les modalités et les limites de réalisation et d'interprétation.

De nombreuses indications à visée diagnostique et pronostique sont amenées à voir le jour et à être intégrées dans les algorithmes de décisions thérapeutiques.

BIBLIOGRAPHIE

1. STOKKE TM, HASSELBERG NE, SMEDSRUD MK *et al.* Geometry as a Confounder When Assessing Ventricular Systolic Function: Comparison Between Ejection Fraction and Strain. *J Am Coll Cardiol*, 2017;70:942-954.
2. MARWICK TH. Ejection Fraction Pros and Cons: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol*, 2018;72:2360-2379.
3. FARSA LINOS KE, DARABAN AM, ÜNLÜ S *et al.* Head-to-Head Comparison of Global Longitudinal Strain Measurements among Nine Different Vendors: The EACVI/ASE Inter-Vendor Comparison Study. *J Am Soc Echocardiogr*, 2015;28:1171-1181, e2.
4. HUTTIN O, GIRERD N, COIRO S *et al.* Association Between Layer-Specific Longitudinal Strain and Risk Factors of Heart Failure and Dyspnea: A Population-Based Study. *J Am Soc Echocardiogr*, 2019 May 16.
5. HUTTIN O, MARIE PY, BENICHO M *et al.* Temporal deformation pattern in acute and late phases of ST-elevation myocardial infarction: incremental value of longitudinal post-systolic strain to assess myocardial viability. *Clin Res Cardiol Off J Ger Card Soc*, 2016 Apr 23.
6. GJESDAL O, VARTDAL T, HOPP E *et al.* Left ventricle longitudinal deformation assessment by mitral annulus displacement or global longitudinal strain in chronic ischemic heart disease: are they interchangeable? *J Am Soc Echocardiogr*, 2009;22:823-830.
7. REANT P, MIRABEL M, LLOYD G *et al.* Global longitudinal strain is associated with heart failure outcomes in hypertrophic cardiomyopathy. *Heart Br Card Soc*, 2016;102:741-747.
8. POPOVIĆ ZB, KWON DH, MISHRA M *et al.* Association between regional ventricular function and myocardial fibrosis in hypertrophic cardiomyopathy assessed by *speckle tracking* echocardiography and delayed hyperenhancement magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr*, 2008;21:1299-1305.
9. PHELAN D, THAVENDIRANATHAN P, POPOVIC Z *et al.* Application of a parametric display of two-dimensional *speckle-tracking* longitudinal strain to improve the etiologic diagnosis of mild to moderate left ventricular hypertrophy. *J Am Soc Echocardiogr*, 2014;27:888-895.
10. SENGELOV M, JØRGENSEN PG, JENSEN JS *et al.* Global Longitudinal Strain Is a Superior Predictor of All-Cause Mortality in Heart Failure With Reduced Ejection

Revue générale

- Fraction. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2015;8:1351-1359.
11. KRAIGHIER-KRAINER E, SHAH AM, GUPTA DK *et al.* Impaired systolic function by strain imaging in heart failure with preserved ejection fraction. *J Am Coll Cardiol*, 2014;63:447-456.
 12. ZAMORANO JL, LANCELLOTTI P, RODRIGUEZ MUÑOZ D *et al.* 2016 ESC Position Paper on cancer treatments and cardiovascular toxicity developed under the auspices of the ESC Committee for Practice Guidelines: The Task Force for cancer treatments and cardiovascular toxicity of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*, 2016;37:2768-2801.
 13. LAFITTE S, PERLANT M, REANT P *et al.* Impact of impaired myocardial deformations on exercise tolerance and prognosis in patients with asymptomatic aortic stenosis. *Eur J Echocardiogr J Work Group Echocardiogr Eur Soc Cardiol*, 2009;10:414-419.
 14. LANCELLOTTI P, DONAL E, MAGNE J *et al.* Risk stratification in asymptomatic moderate to severe aortic stenosis: the importance of the valvular, arterial and ventricular interplay. *Heart Br Card Soc*, 2010;96:1364-1371.
 15. Multimodality Imaging Strategies for the Assessment of Aortic Stenosis: Viewpoint of the Heart Valve Clinic International Database (HAVEC) Group. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2019 Jun 24]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Multimodality+imaging+strategies+for+the+assessment+of+aortic+stenosis%3A+viewpoint+of+the+Heart+Valve+Clinic+International+Database>
 16. SCHUSTER A, STAHNKE VC, UNTERBERG-BUCHWALD C *et al.* Cardiovascular magnetic resonance feature-tracking assessment of myocardial mechanics: Intervendor agreement and considerations regarding reproducibility. *Clin Radiol*, 2015;70:989-998.
 17. RISUM N, TAYAL B, HANSEN TF *et al.* Identification of Typical Left Bundle Branch Block Contraction by Strain Echocardiography Is Additive to Electrocardiography in Prediction of Long-Term Outcome After Cardiac Resynchronization Therapy. *J Am Coll Cardiol*, 2015;66:631-641.
 18. 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; quiz 786-788.
 19. DONAL E, LIP GYH, GALDERISI M *et al.* EACVI/EHRA Expert Consensus Document on the role of multi-modality imaging for the evaluation of patients with atrial fibrillation. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2016;17:355-383.

Les auteurs ont déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.