

Echocardiographie: quoi de neuf?

<u>C. MEULEMAN</u>, S. EDERHY, N. HADDOUR, G. DUFAITRE, F. DOUNA, E. BERTHELOT-GARCIAS, N. AISSAOUI, F. BOCCARA, A. COHEN Service de Cardiologie, Hôpital Saint-Antoine, PARIS.

es avancées récentes en échocardiographie sont principalement dominées par les nouvelles techniques avec les progrès de l'échocardiographie tridimensionnelle (3D) temps réel et en particulier l'échographie transœsophagienne (ETO) 3D temps réel, l'étude des déformations myocardiques notamment par la méthode de speckle tracking et l'échographie de contraste avec la confirmation de la sécurité d'emploi de ces produits et la parution récente des recommandations européennes.

ECHOCARDIOGRAPHIE 3D

L'échocardiographie 3D temps réel a dominé l'année 2008. La validation de l'échographie cardiaque 3D transthoracique temps réel est un point important des récentes avancées. Il faut noter qu'il est désormais possible grâce à de nouvelles sondes matricielles d'acquérir un volume cardiaque complet ("full volume") sur un seul cycle cardiaque (au lieu de 3-4 cycles auparavant) (*fig. 1*).

Un travail de Pouleur [1], de l'équipe de Vanoverschelde, a montré que les mesures 3D du volume et de la masse ventriculaires gauches et de la fonction VG étaient plus précises et plus reproductibles que les mesures réalisées en bidimensionnel (2D), et aussi reproductibles que les mesures IRM.

L'échocardiographie 3D temps réel transthoracique a aussi été évaluée dans la fonction du ventricule droit (VD) comme l'a montré une étude de Chua *et al.* [2] portant sur 35 patients qui a comparé la mesure de la fraction d'éjection du ventricule droit (FEVD) en échographie 2D (41 \pm 10 %), en 3D (38 \pm 10 %) et par la méthode de sommation des disques (37 \pm 11 %). L'échographie 3D a permis une évaluation plus précise de la FEVD par rapport à l'échographie 2D avec une meilleure corrélation avec la FEVD obtenue par la méthode de sommation des disques (r = 0.875 vs r = 0.69; p = 0.028). La mesure de la FEVD en 3D était aussi associée à une diminution de 39 % de la variabilité interobservateurs par rapport à la mesure en 2D.

Concernant l'oreillette gauche (OG), les études ayant comparé jusque-là les mesures de l'oreillette gauche en échographie 3D temps réel en comparaison avec l'échographie conventionnelle 2D avaient montré une bonne concordance entre ces deux techniques. Une étude de Suh *et al.* [3] a montré chez 108 patients que le volume maximal de l'oreillette gauche mesuré en 3D temps réel était un prédicteur indépendant d'événements cardiovasculaires chez des patients en insuffisance cardiaque sévère et en rythme sinusal. Les patients avec un volume initial de l'OG mesuré en 3D < 100 mL avaient une meilleure survie sans événement que les patients dont le volume était \geq 100 mL (80 \pm 7 vs 48 \pm 10 %; p < 0,001).

L'échocardiographie 3D temps réel transthoracique peut aussi apporter un réel avantage dans l'évaluation des rétrécissements mitraux avec une meilleure fiabilité de la planimétrie de l'orifice mitral qu'en 2D, notamment chez les opérateurs non expérimentés [4].

Certains auteurs se sont intéressés au Doppler couleur en ETT 3D dans des études *in vitro* pour la quantification de l'insuffisance mitrale [5] ou de l'insuffisance aortique [6].

L'arrivée des sondes 3D transœsophagiennes et la possibilité de réaliser des échographies transœsophagiennes 3D temps réel (ETO3D) est aussi une avancée notable. L'ETO3D permet une meilleure analyse de l'anatomie valvulaire mitrale avec une excellente corrélation avec les données chirurgicales et une identification correcte des lésions et des segments atteints. Sugeng *et al.* [7] ont confirmé l'intérêt de l'ETO3D



Fig. 1: Echocardiographie transthoracique 3D temps réel (mode full volume). Evaluation des volumes et de la FEVG.

dans l'évaluation préopératoire des lésions valvulaires mitrales chez 47 patients, rapportant une bonne corrélation avec les données chirurgicales. L'autre versant de ce travail était l'évaluation en ETO3D de prothèses valvulaires mitrales (11 valves mécaniques, 3 bioprothèses, 12 annuloplasties), aortiques (5 valves mécaniques et 5 bioprothèses) et tricuspides (4 bioprothèses). Ils ont montré que la visualisation des prothèses valvulaires était meilleure en position mitrale qu'en position aortique ou tricuspide.

L'équipe de Lang s'est aussi intéressée à l'anatomie fonctionnelle des valves mitrale et aortique en ETO3D chez 24 sujets normaux [8]. Ils ont montré que la surface annulaire mitrale était de $8,0 \pm 2,1$ cm² en fin de diastole et diminuait à $7,7 \pm 2,1$ cm² en systole, atteignant son maximum ($10,0 \pm 2,2$ cm²) à l'ouverture valvulaire mitrale. La surface annulaire aortique projetée était de $4,1 \pm 1,2$ cm² en fin de diastole, augmentait durant la contraction isovolumique et atteignait son maximum ($4,8 \pm 1,3$ cm²) dans le premier tiers de la systole et son minimum $(3,6 \pm 1,0 \text{ cm}^2)$ durant la relaxation isovolumique. L'angle entre les anneaux mitral et aortique était maximal $(136 \pm 13^\circ)$ en fin de diastole et diminuait jusqu'à sa valeur minimale $(129 \pm 11^\circ)$ durant la systole.

Cette même équipe a rapporté un travail préliminaire sur l'évaluation en ETO3D de l'auricule gauche [9]. La faisabilité de l'évaluation de l'auricule gauche en ETO3D a été validée chez 37 premiers patients, puis les mesures de l'auricule gauche ont été comparées à l'ETO2D chez les 29 patients suivants. L'auricule gauche était bien visualisé dans 95 % des cas. L'ETO2D a surestimé la surface de l'auricule G par rapport à l'ETO3D (3,1 ± 1,3 vs 4,2 ± 2,2 cm²; r = 0,55). Par contre, les profondeurs de l'auricule G mesurées en 2D et 3D étaient bien corrélées (3,7 ± 0,7 vs 3,4 ± 0,7 cm; r = 0,77). Une comparaison avec le scanner a été réalisée chez 8 patients et a montré que la surface mesurée en ETO3D était bien corrélée avec le scanner (r = 0,98), mais pas l'ETO 2D (r = 0,13). L'ETO3D temps réel permet également de faciliter les procédures interventionnelles comme la fermeture des communications interauriculaires [10]. Des recommandations récentes sur les interventions guidées par échocardiographie ont précisé que l'ETO3D permet une meilleure évaluation anatomique de la communication interauriculaire avant la procédure et permet de localiser le système de fermeture et ses relations avec les autres structures cardiaques pendant la procédure en augmentant le succès de la procédure et en diminuant le taux de complications [11].

ECHOGRAPHIE DE CONTRASTE

La sécurité des agents de contraste a été confirmée dans plusieurs études récentes. Une première étude rétrospective multicentrique [12] a inclus 42408 patients dont l'indication était pour 18749 une échocardiographie de stress. Les agents de contraste utilisés étaient Optison et Definity. Chez les patients ayant eu une injection de produit de contraste au cours d'une échographie de stress (*fig. 2*), il n'y a eu aucun événement à 30 minutes, 1 décès et 5 IDM non fatals à 24 heures sans différence significative en comparaison avec une cohorte appariée de patients ayant eu une échographie de stress sans injection de contraste. La visualisation des contours endocardiques chez des patients avec une image suboptimale et injection de contraste était comparable en termes de sensibilité (81 % *vs* 73 %; p = NS) et de performance diagnostique (82 % *vs* 77 %; p = NS) pour l'analyse segmentaire en comparaison avec les patients chez lesquels la qualité d'image était optimale.

Dans une autre étude [13], les auteurs ont comparé, entre janvier 2002 et octobre 2007, 12 475 patients ayant une échographie transthoracique de repos à 6 196 ayant eu une injection de produit de contraste. La mortalité brute à 24 heures n'était pas différente entre les patients avec et sans échographie de contraste.

Les recommandations européennes récentes [14] précisent les indications de l'utilisation de produit de contraste pour une échographie cardiaque de repos chez les patients avec images



Fig. 2: Injection de contraste lors d'une échographie de stress. Incidence apicale 4 cavités.

suboptimales pour [1]: améliorer la visualisation des contours endocardiques et évaluer les structures et la fonction du ventricule gauche quand au moins 2 segments contigus sont non vus [2]; avoir des mesures précises et répétées des volumes VG et de la FEVG [3]; augmenter la confiance dans l'interprétation de l'échographiste pour l'évaluation de la fonction VG, de sa structure et de ses volumes [4]; confirmer ou exclure en échocardiographie le diagnostic d'anomalies ventriculaires gauches en cas de cardiomyopathie hypertrophique apicale, de non compaction du ventricule gauche, de thrombus apical et de pseudoanévrysme ventriculaire.

L'utilisation de produit de contraste au cours d'une échographie de stress est indiquée quand au moins deux segments endocardiques contigus ne sont pas assez bien visualisés pour analyser la cinétique ou l'épaississement segmentaire au repos ou lors de l'examen de stress, pour augmenter la proportion d'études diagnostiques, pour améliorer l'interprétation des résultats de l'examen de stress.

IMAGERIE DE DEFORMATION

Le 2D strain est une nouvelle technique échographique qui permet d'explorer de manière fiable les 3 composantes

radiale, longitudinale (*fig. 3*) et circonférentielle de la déformation du myocarde. Des paramètres de rotation ou de torsion (twist) peuvent en être dérivés. La technique de speckle tracking est basée sur une imagerie bidimensionnelle en échelle de gris. Les "speckles" sont des marqueurs acoustiques naturels réflecteurs d'ultrasons. Leur suivi dans l'espace, ou "tracking", est fondé sur le repérage de leur position dans la paroi ventriculaire gauche durant le cycle cardiaque. Cette nouvelle technique permet de s'affranchir des limites du Doppler tissulaire puisqu'elle est non dépendante de l'angle et moins sensible aux artefacts.

L'imagerie de déformation, notamment par speckle tracking, a fait l'objet de nombreuses publications récentes dans des indications nombreuses et variées.

Bussadori *et al.* [15] ont évalué la faisabilité de la technique de speckle tracking pour analyser la déformation myocardique et ont proposé des valeurs de référence dans une étude ayant inclus 45 sujets volontaires (30 adultes : 19 hommes, 11 femmes, âge moyen 37 ± 6 années; 15 enfants : 8 garçons, 7 filles, âge moyen 8 ± 2 années). Les valeurs de strain et de strain rate longitudinal augmentaient significativement de la base vers l'apex (-12,95 \pm 6,79 *vs* -14,87 \pm 6,78; p = 0,002; -0,72 \pm 0,39 *vs* -0,94 \pm 0,48; p = 0,0001; respectivement) de



Fig. 3: 2D speckle tracking, strain longitudinal.

même que le strain et le strain rate circonférentiel (-21,32 ± 5,15 vs -27,02 ± 5,88; p = 0,002; -1,51 ± 0,37 vs -1,95 ± 0,57; p = 0,003; respectivement). Les valeurs de strain rate global, longitudinal et circonférentiel étaient significativement plus élevées chez les enfants que chez les adultes (-1,3 ± 0,2 vs -1,11 ± 0,2, p = 0,006; -1,9 ± 0,6 vs -1,6 ± 0,5; p = 0,0265; respectivement).

L'équipe de Marwick [16] a proposé d'utiliser le strain global longitudinal comme une alternative à la mesure de la fraction d'éjection du VG. Dans cette étude, la FEVG a été mesurée en 2D (Simpson biplan), en 3D et en IRM chez 62 patients avec antécédents d'infarctus. La corrélation du strain global longitudinal avec l'IRM (r = -0.69; p < 0.0001) était comparable à la corrélation entre la FEVG en 3D et l'IRM (r = 0.80 p < 0.0001) et meilleure que la corrélation entre la FEVG en 2D et IRM (r = 0.58 p < 0.0001). Parmi les 32 patients avec FEVG normale en IRM (\geq 50 %), 75 % avaient une fonction systolique globale normale avec le strain global longitudinal et 85 % une FEVG normale en 3D. Parmi les patients avec plus de 6 segments anormaux, la corrélation entre le strain global longitudinal et l'IRM augmentait significativement (r = -0.77; p < 0.0001) et était similaire avec la FEVG en 3D (r = 0.76; p < 0.0001). Les auteurs ont proposé une formule pour obtenir à partir du strain global longitudinal une FEVG équivalente à la FEVG obtenue en IRM: FEVG = -4,35 (strain + 3,9).

Skubas *et al.* [17] ont également préconisé l'utilisation du 2D strain en peropératoire de chirurgie cardiaque pour analyser la fonction myocardique régionale à la recherche d'ischémie et évaluer la fonction ventriculaire gauche globale à partir de vues standard réalisées lors d'une échographie transœsophagienne conventionnelle.

Dans la cardiopathie ischémique, le 2D strain permet non seulement de préciser le caractère transmural ou non d'un infarctus, mais aussi de préciser la taille de l'infarctus comme l'a montré Gjesdal [18]. Le strain global longitudinal, circonférentiel, radial et la torsion du ventricule gauche en speckle tracking (2D strain) et le strain et le strain rate longitudinal global en Doppler tissulaire (DTI strain) ont été analysés chez 40 patients à $8,5 \pm 5,4$ mois d'un premier infarctus et comparés à l'IRM. Le 2D strain longitudinal et le 2D strain circonférentiel ont permis de distinguer les infarctus de taille moyenne des infarctus limités ou étendus.

L'équipe de Bordeaux [19] s'est intéressée à l'analyse du strain lors de l'échographie sous dobutamine. Dans une étude

animale sur 10 cochons, ils ont montré une bonne corrélation et concordance entre le 2D strain et la sonomicrométrie (méthode de référence) au repos et sous dobutamine pour le strain longitudinal: r = 0.77, p < 0.001 et r = 0.80, p < 0.001; pour le strain radial : r = 0.57, p < 0.05 et r = 0.63, p < 0.05, et pour le strain circonférentiel : r = 0.74, p < 0.001 et r = 0.58, p < 0,001. Le strain circonférentiel et le strain longitudinal étaient significativement diminués au repos en présence d'une sténose significative et sous dobutamine en présence d'une sténose non significative. En revanche, le strain radial était significativement diminué seulement sous dobutamine en présence d'une sténose coronaire significative. Le strain pourrait permettre une interprétation plus "objective" de l'échographie sous dobutamine que l'analyse conventionnelle de la cinétique en 2D. Mais il faut prendre en considération la cadence image qui est différente à l'état basal et au pic : à une fréquence cardiague à 60/mn, la cadence image est de 70 images par cycle alors qu'à une fréquence cardiaque entre 140 et 170/mn, la cadence image est de seulement 25 à 30 images par cycle.

Certains auteurs ont proposé l'utilisation du 2D strain pour différencier les différentes causes d'hypertrophie ventriculaire gauche, physiologique adaptative et pathologique. Sun et al. [20] ont comparé 20 patients avec une cardiopathie hypertrophique asymétrique, 24 patients avec une hypertrophie ventriculaire gauche secondaire, 12 patients avec une amylose cardiaque confirmée à la biopsie et 22 sujets témoins. Les patients avec une amylose avaient une dysfonction diastolique dans 100 % des cas (52 % d'aspect restrictif du flux transmitral) et une déformation myocardique significativement diminuée par rapport aux autres groupes qu'il s'agisse du strain longitudinal, radial, circonférentiel et de la torsion. Les patients avec une cardiopathie hypertrophique avaient des anomalies myocardiques segmentaires puisque le strain circonférentiel, radial et longitudinal étaient significativement diminués au niveau des parois septale, antéro-septale et antérieure et non au niveau des autres parois en comparaison avec les sujets contrôles.

Le 2D strain pourrait permettre aussi une détection précoce d'anomalies de la fonction systolique du VG et du VD dans diverses pathologies comme la sclérodermie [21] ou le syndrome d'apnées du sommeil. Dans un travail de Kepez *et al.* [22], une échocardiographie conventionnelle avec mesure des paramètres de la fonction diastolique et analyse des velocités en Doppler tissulaire et du strain et du strain rate a été réalisée chez 107 patients consécutifs avec un syndrome d'apnées obstructives du sommeil (dont 45 avec un SAOS modéré à

moyen (index apnées-hypopnées entre 5 et 30) et 40 avec un SAOS sévère (IAH > 30) et 30 contrôles. Les patients avec un SAOS avaient une dysfonction diastolique comparativement aux témoins. Il n'y avait pas de différence significative concernant les paramètres de la fonction systolique ventriculaire gauche, mais l'analyse du strain a montré une diminution des valeurs de pic systolique de strain et de strain rate longitudinal à l'apex du ventricule droit corrélé à la sévérité du SAOS.

L'analyse du 2D strain peut aussi être proposée pour dépister une atteinte précoce due à une toxicité médicamenteuse comme la chimiothérapie anti-cancéreuse avant que n'apparaissent des anomalies de la fraction d'éjection. Migrino *et al.* [23] ont analysé le strain radial chez 14 rats mâles recevant 2,5 mg/kg IV de doxorubicine par semaine pendant 10 (n = 4) ou 12 semaines (n = 10) et chez 17 témoins. Le strain radial était significativement plus bas dans le groupe doxorubicine (12 semaines : 26,7 \pm 3 vs 38,3 \pm 2,6 %; p = 0,006), avec une différence significative dès 8 semaines alors que la fraction de raccourcissement était diminuée dans le groupe doxorubicine après seulement 12 semaines (30,2 \pm 1,7 vs 37,6 \pm 1,4 %; p = 0,02).

L'intérêt du 2D strain a aussi été montré dans les valvulopathies comme dans le rétrécissement aortique serré (RAC) asymptomatique. Lafitte et al. [24] ont évalué en échographie d'effort 66 patients porteurs d'un RAC serré (surface valvulaire aortique < 1 cm²) asymptomatiques et comparés à un groupe témoin. Le suivi moyen était de 12 mois. Malgré une FEVG similaire, les patients avec un RAC serré avaient un strain global longitudinal diminué (GLS) (-17,8 ± 3,5 vs -21,1 \pm 1,8 %; p < 0,05) plus prononcé dans les segments basaux (BLS) $(-12,4 \pm 2,9 \text{ vs} - 18,4 \pm 2,5 \%; p < 0,05)$. Il n'y avait pas de différence entre les 2 groupes pour le strain radial ou circonférentiel. Dans le sous-groupe de patients avec réponse anormale à l'effort, les GLS et BLS étaient significativement plus bas $(-14,7 \pm 5,1 \text{ vs} - 19,3 \pm 4,0 \% \text{ et} -10,7 \pm 2,5 \text{ vs} -14,4$ $\pm 2,1$ %; p < 0,05). Une valeur seuil de -18 % pour le strain global longitudinal et de -13 % pour le strain basal longitudinal a permis de déterminer une réponse anormale à l'effort avec une sensibilité et une spécificité de 68 et 75 % (AUC 0,77), et 77 et 83 % (AUC 0,81), respectivement. Les patients avec un strain longitudinal basal < -13 % ont présenté plus d'événements cardiaques durant le suivi.

La technique de 2D speckle tracking a également été utilisée pour l'étude de la fonction auriculaire gauche. Un travail préliminaire sur les mesures de strain et de strain rate de l'oreillette gauche a été publié par Vianna-Pinton [25]. A partir de vues apicales, des mesures de vélocités de strain et de strain rate longitudinal de l'oreillette gauche séparée en 13 segments ont été réalisées chez 84 sujets normaux. Les valeurs obtenues ont été comparées aux autres segments et aux valeurs de volume de l'OG avant et après contraction auriculaire gauche. Le strain et le strain rate régionaux ont pu être mesurés chez 77 des 84 patients (94 %). Une différence de valeurs a été notée particulièrement entre la paroi inférieure qui avait des valeurs plus élevées comparées aux segments moyens et supérieurs de l'OG. Les pics de strain et de strain rate durant la contraction auriculaire gauche avaient seulement une corrélation modeste avec le volume de l'OG.

ASYNCHRONISME VENTRICULAIRE

L'année 2008 aura été marquée par les résultats décevants de l'étude prospective multicentrique non randomisée PROS-PECT [26] qui a montré qu'aucun critère échocardiographique d'asynchronisme ne semblait être utilisable seul pour améliorer la sélection des candidats à la resynchronisation, avec notamment une grande variabilité des mesures.

Lafitte et al. [27] ont proposé dans un travail multicentrique une approche multiparamétrique de l'évaluation de l'asynchronisme ventriculaire gauche. Ils ont en effet étudié l'association de plusieurs critères d'asynchronisme atrioventriculaire, interventriculaire et intraventriculaire (radial et longitudinal [spatial et temporel]) chez 181 patients en classe III-IV de la NYHA avec une FEVG < 35 % et des QRS > 120 ms avec un taux de répondeurs à la resynchronisation cardiaque de 57 % (diminution du volume télédiastolique ventriculaire gauche > 15 %). Dans une approche monoparamétrique, la sensibilité moyenne de réponse à la resynchronisation cardiaque était de 41 % (18-65 %) et la spécificité moyenne de 66 % (45-84 %) alors qu'avec une approche multiparamétrique comprenant plus de 3 paramètres la spécificité approchait 90 % et la valeur prédictive positive 65 % avec une bonne reproductibilité de cette stratégie de 91 %. L'approche multiparamétrique a permis de limiter la variabilité des paramètres et la combinaison de 2 à 4 paramètres a augmenté le nombre de répondeurs à la resynchronisation cardiaque en diminuant le nombre de faux positifs.

D'autres travaux se sont intéressés à l'évaluation de l'asynchronisme à l'aide de nouvelles techniques comme le strain ou l'échocardiographie 3D. Un travail de l'équipe de Bax [28] a évalué chez 161 patients l'asynchronisme ventriculaire gauche en comparant différents types de strain en speckle tracking (radial, longitudinal et circonférentiel) et leur valeur prédictive positive d'une réponse à la resynchronisation cardiaque. 55 % des patients étaient considérés comme répondeurs à 6 mois de l'implantation d'un pacemaker multisite (diminution du volume télésystolique du ventricule gauche $[VTSVG] \ge 15 \%$). Une différence d'asynchronisme à l'état basal entre les répondeurs et les non-répondeurs a été observée pour le strain radial $(251 \pm 138 \text{ ms } versus 94 \pm 65 \text{ ms};$ p < 0,001), alors qu'aucune différence n'a été observée pour le strain circonférentiel et longitudinal. Une valeur seuil pour l'asynchronisme radial \geq 130 ms permettait de prédire une réponse positive à la resynchronisation cardiaque avec une sensibilité de 83 % et une spécificité de 80 %. L'analyse du strain radial en speckle tracking constitue donc pour les auteurs la meilleure méthode pour identifier les répondeurs potentiels à la resynchronisation cardiaque.

Plus récemment, Carasso et al. [29] ont montré que les délais entre les pics de vélocités systoliques ou les pics de strain n'étaient pas les seuls prédicteurs de réponse à la resynchronisation cardiaque. Ils se sont intéressés non pas aux délais entre les pics de strain mais aux valeurs de strain longitudinal en speckle tracking chez 66 patients (âge moyen 65 ans, cardiopathie ischémique 42 %) en classe III-IV de la NYHA ayant bénéficié d'une resynchronisation cardiaque entre 2003 et 2006. Les 44 patients répondeurs (amélioration de la FEVG de 10 % et/ou diminution du volume télésystolique ventriculaire gauche > 15 %) et les 32 patients non répondeurs avaient les mêmes caractéristiques cliniques et échocardiographiques. Les valeurs de strain étaient réparties en 5 catégories et ils ont montré que l'absence de segment passif (≥ +5 % "stretching holosystolique") avait une sensibilité de 98 %, une spécificité de 88 %, une valeur prédictive positive et négative de 91 % et 97 % respectivement pour prédire une réponse positive à la resynchronisation cardiaque. En ajoutant la présence d'un retard de la paroi latérale à ce modèle, la sensibilité augmentait à 100 % et la spécificité à 94 %.

L'échocardiographie 3D peut aussi améliorer l'évaluation de l'asynchronisme ventriculaire gauche comme dans ce travail dans lequel Soliman *et al.* [30] ont comparé les volumes systoliques minimaux régionaux et l'index d'asynchronisme systolique (déviation standard des délais onde R – volume systolique minimal des 16 segments du VG corrigé par la durée du RR) chez 84 patients en insuffisance cardiaque (âge moyen 54 ans, 50 hommes, 44 cardiopathies ischémiques) et 60 volontaires (âge moyen 41 ans, 36 hommes). L'index d'asynchronisme systolique (16 segments) était de 4,1 ± 2,2 % (1,0-8,9 %) chez les volontaires et de 13,4 ± 8,1 % chez les patients en insuffisance cardiaque (p < 0,001). Il faut noter une faible corrélation entre la durée des QRS et l'index d'asynchronisme systolique (r² = 0,07; p < 0,05). Une resynchronisation cardiaque a été réalisée chez 39 patients. Après 12 mois de suivi, les patients répondeurs avaient une diminution significative de leur index d'asynchronisme systolique (16,3 % ± 3,3 % à 7,7 % ± 2,4 %; p < 0,001).

BIBLIOGRAPHIE

1. POULEUR AC, LE POLAIN DE WAROUX JB, PASQUET A. Assessment of left ventricular mass and volumes by three-dimensional echocardiography in patients with or without wall motion abnormalities: comparison against cine magnetic resonance imaging. *Heart*, 2008; 94: 1050-7.

2. CHUA S, LEVINE RA, YOSEFY C *et al*. Assessment of right ventricular function by real-time three-dimensional echocardiography improves accuracy and decreases interobserver variability compared with conventional twodimensional views. *Eur J Echocardiogr*, 2009. [Epub ahead of print]

3. SUH IW, SONG JM, LEE EY *et al*. Left atrial volume measured by real-time 3-dimensional echocardiography predicts clinical outcomes in patients with severe left ventricular dysfunction and in sinus rhythm. *J Am Soc Echocar-diogr*, 2008; 21: 439-45.

4. MESSIKA-ZEITOUN D, IUNG B, BROCHET E *et al*. Evaluation of mitral stenosis in 2008. *Arch Cardiovasc Dis*, 2008; 101: 653-63.

5. PLICHT B, KAHLERT P, GOLDWASSER R *et al.* Direct quantification of mitral regurgitant flow volume by real-time three-dimensional echocardiography using dealiasing of color Doppler flow at the vena contracta. *J Am Soc Echocardiogr*, 2008; 21: 1 337-46.

6. PIRAT B, LITTLE SH, IGO SR. Area by real-time three-dimensional color Doppler for quantitation of aortic regurgitant volume: an in vitro validation. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009; 22: 306-13.

7. SUGENG L, SHERNAN SK, WEINERT L *et al.* Real-time three-dimensional transesophageal echocardiography in valve disease : comparison with surgical findings and evaluation of prosthetic valves. *J Am Soc Echocardiogr*, 2008; 21: 1 347-54.

8. VERONESI F, CORSI C, SUGENG L *et al*. A Study of functional anatomy of aortic-mitral valve coupling using 3D matrix transesophageal echocardiography. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2009; 2: 24-31.

9. SHAH SJ, BARDO DMR, SUGENG L *et al*. Real-time three-dimensional transesophageal echocardiography of the left atrial appendage: initial experience in the clinical setting. *J Am Soc Echocardiogr*, 2008; 21: 1 362-8.

10. SKOLNICK A, VAVAS E, KRONZON I. Optimization of ASD assessment using real time three-dimensional transesophageal echocardiography. *Echocardiography*, 2009; 26: 233-5.

11. SILVESTRY FE, KERBER RE, BROOK MM et al. Echocardiography-guided interventions. J Am Soc Echocardiogr, 2009; 22: 213-31.

12. DOLAN MS, GALA SS, DODLA S *et al*. Safety and efficacy of commercially available ultrasound contrast agents for rest and stress echocardiography a multicenter experience. *J Am Coll Cardiol*, 2009; 53: 32-8.

13. KUSNETZKY LL, KHALID A, KHUMRI TM, MOE TG, JONES PG, MAIN ML. Acute mortality in hospitalized patients undergoing echocardiography with and without an ultrasound contrast agent. *J Am Coll Cardiol*, 2008; 51: 1704-6.

14. SENIOR R, BECHER H, MONAGHAN M *et al.* Contrast echocardiography: evidence-based recommendations by European Association of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr*, 2009; 10: 194-212.

15. BUSSADORI C, MOREO A, DI DONATO M. A new 2D-based method for myocardial velocity strain and strain rate quantification in a normal adult and paediatric population : assessment of reference values. *Cardiovascular Ultrasound*, 2009, 7 : 8.

16. BROWN J, JENKINS C, MARWICK TH. Use of myocardial strain to assess global left ventricular function: a comparison with cardiac magnetic resonance and 3-dimensional echocardiography. *Am Heart J*, 2009; 157: 102.

17. SKUBAS NJ. Two-dimensional, non-Doppler strain imaging during anesthesia and cardiac surgery. *Echocardiography*, 2009; 26: 345-53.

18. GJESDAL O, HELLE-VALLE T, HOPP E *et al.* Noninvasive separation of large, medium, and small myocardial infarcts in survivors of reperfused ST-elevation myocardial infarction: a comprehensive tissue Doppler and speckle-tracking echocardiography study. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2008; 1: 189-96.

19. REANT P, LABROUSSE L, LAFITTE S *et al*. Experimental validation of circumferential, longitudinal and radial 2-dimensional strain during dobutamine stress echocardiography in ischemic conditions. *J Am Coll Cardiol*, 2008; 51: 149-57.

20. SUN JP, STEWART WJ, YANG S. Differentiation of hypertrophic cardiomyopathy and cardiac amyloidosis from other causes of ventricular wall thickening by two-dimensional strain imaging echocardiography. *Am J Cardiol*, 2009; 103: 411-5.

21. KEPEZ A, AKDOGAN A, SADE LE *et al.* Detection of subclinical cardiac involvement in systemic sclerosis by echocardiographic strain imaging. *Echocardiography*, 2008; 25: 191-7.

22. KEPEZ A, NIKSARLIOGLU EY, HAZIROLAN T *et al.* Early myocardial functional alterations in patients with obstructive sleep apnea syndrome. *Echocardiography*, 2008; 26: 388-96.

23. MIGRINO RQ, AGGARWAL D, KONOREV E. Early detection of doxorubicin cardiomyopathy using 2-dimensional strain echocardiography ultrasound. *Med Bio*1, 2008; 34: 208-14.

24. 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*, 2009; 10:414-9.

25. VIANNA-PINTON R, MORENO CA, BAXTER CM *et al*. Two-dimensional speckle-tracking echocardiography of the left atrium: feasibility and regional contraction and relaxation differences in normal subjects. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009; 22: 299-305.

26. CHUNG ES, LEON AR, TAVAZZI L *et al.* Results of the predictors of response to CRT (PROSPECT) trial. *Circulation*, 2008; 117: 2608-16.

27. LAFITTE S, REANT P, ZAROUI A *et al.* Validation of an echocardiographic multiparametric strategy to increase responders patients after cardiac resynchronization: a multicentre study. *Eur Heart J*, 2009. [Epub ahead of print]

28. DELGADO V, YPENBURG C, VAN BOMMEL RJ *et al.* Assessment of left ventricular dyssynchrony by speckle tracking strain imaging comparison between longitudinal, circumferential, and radial strain in cardiac resynchronization therapy. *JACC*, 2008; 51: 1944-52.

29. CARASSO S, RAKOWSKI H, WITTE KK *et al*. Left ventricular strain patterns in dilated cardiomyopathy predict response to cardiac resynchronization therapy: timing is not everything. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009; 22: 242-50.

30. SOLIMAN OI, VAN DALEN BM, NEMES A. Quantification of left ventricular systolic dyssynchrony by real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009; 22: 232-9.

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