



S. LAFITTE, R. ROUDAUT
Service de Cardiologie,

Hôpital Cardiologique du Haut-Lévêque, PESSAC.

Dix années de développement auront été nécessaires à la généralisation de l'outil Doppler tissulaire sur toutes les gammes d'échocardiographes.

Cette approche quantitative des vitesses tissulaires a été largement validée sur un ensemble varié de pathologies cardiaques.

Au-delà des considérations purement techniques, nous proposons ici une revue pratique des différentes applications du Doppler tissulaire en routine échocardiographique.

Les perspectives d'évolution dans ce domaine seront également abordées avec notamment l'étude des déformations.

Apport du Doppler tissulaire en pratique échocardiographique quotidienne

Après plus de 10 ans de développements validant les potentialités du Doppler tissulaire en échocardiographie, la question de l'intérêt pratique de cet outil reste d'actualité. En effet, un certain degré de déconnection entre validations scientifiques et applicabilité de ces mêmes informations semble exister, souvent générateur de frein dans l'utilisation des outils disponibles. Or, dans le flux continu des nouvelles techniques qui nous submergent depuis les années 90 (quantification acoustique, color kinesis, Doppler énergie, écho de contraste, écho 3D...), le Doppler tissulaire est véritablement l'instrument à retenir plus particulièrement car directement intégrable dans nos examens quotidiens.

En raison de l'apport diagnostique démontré, il existe une réelle nécessité de maîtriser cet outil dont la finalité est la quantification de la contraction myocardique et l'appréhension des chronologies. Par analogie, nul ne pourrait prétendre réaliser aujourd'hui une étude échocardiographique complète sans l'aide du Doppler pour la mesure des flux. Il en est de même pour le versant tissulaire avec un besoin d'objectiver notre expertise qualitative.

Sur un plan technique, on retiendra deux approches différenciées dans l'obtention et le traitement de l'information. Conformément au traitement Doppler, ce dernier se dérive d'abord sous une forme impulsionnelle, ou **Doppler pulsé**, permettant l'analyse des vitesses de déplacement des parois en un point spatial d'échantillonnage. On obtient ainsi en fonction du temps un spectre de variation des vitesses systolique et diastolique (*fig. 1*). L'alignement du tir Doppler et de l'axe de déplacement de la paroi investiguée est alors la priorité pour s'affranchir de la limite de l'angle Doppler. De ce fait, les vues apicales sont la quasi-référence pour les mesures de la composante longitudinale de la contraction myocardique.

Le deuxième mode accessible est le mode couleur qui, en pratique, trouve une finalité dans son association au mode TM (**DTI TM couleur**) (*fig. 2*) ou de façon plus sophistiquée en analyse dite de reconstruction. Cette dernière permet de retrouver les informations de vitesses en provenance de plusieurs zones d'analyse sous forme de courbes superposables, donc comparables

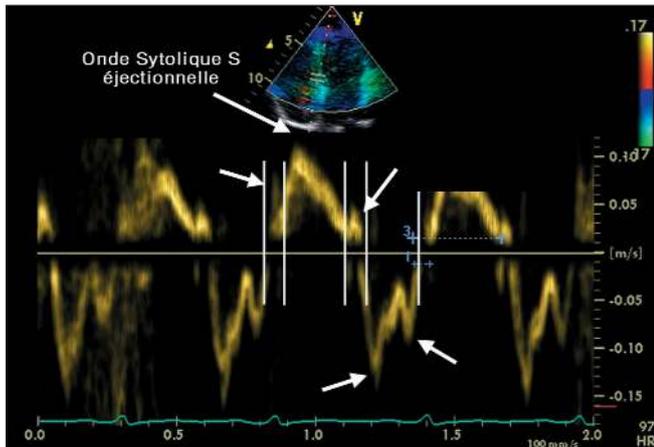


Fig. 1 : Spectre Doppler tissulaire enregistré à l'anneau latéral en Doppler pulsé permettant d'analyser la composante longitudinale du déplacement de l'anneau avec une première onde positive et fine correspondant à la contraction isovolémique, une onde systolique S contemporaine de l'éjection aortique, une troisième onde positive ou négative de relaxation isovolémique et deux ondes diastoliques E' et A'.

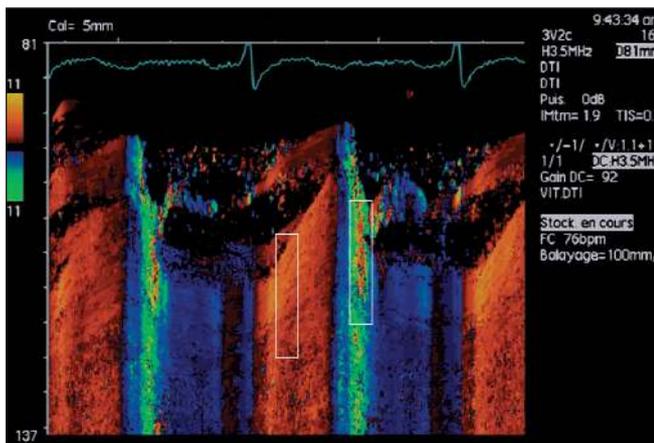


Fig. 2 : Enregistrement de la paroi inféro-latérale en mode DTI TM couleur avec identification des gradients de vitesses méso-systoliques et proto-diastroniques caractérisés par des vitesses dans les couches sous-endocardiques plus élevées que dans les couches sous-épicardiques.

(fig. 3). Enfin, toujours à partir de l'information Doppler tissulaire couleur, sont dérivées des expressions différentes de la contraction myocardique comme le niveau de déplacement des parois (tracking – unité de mesure: le millimètre) ou encore la déformation entre deux points du myocarde (strain – unité de mesure: pourcentage de variation), information bien plus spécifique que la vitesse pour apprécier la contractilité locorégionale. En pratique, seuls les équipements de haut de gamme permettront cette approche plus technique. Nous insisterons ainsi sur les applications Doppler pulsé ou TM couleur, actuellement généralisées sur toutes les gammes d'échocardiographes.

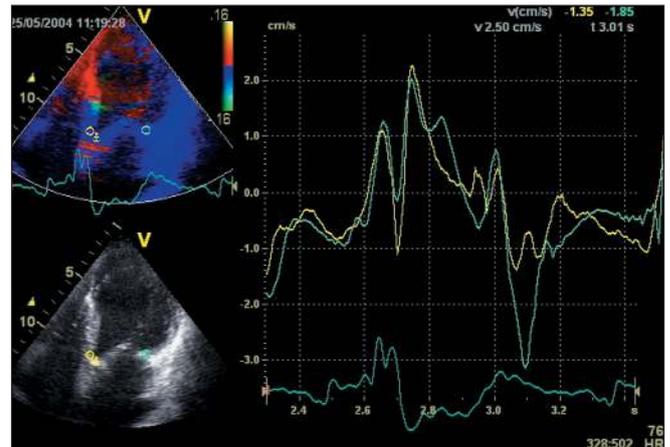


Fig. 3 : DTI reconstruit permettant l'obtention de courbes de vitesses sur un enregistrement DTI couleur. L'intérêt de cette technique est la comparaison des courbes Doppler entre différentes zones myocardiques.

II FONCTION DIASTOLIQUE

Si un seul domaine d'investigation devait être retenu pour l'application du Doppler tissulaire en pratique quotidienne, il s'agirait incontestablement de l'étude de la fonction diastolique. La connaissance parfaite de l'état d'équilibre de cette phase du cycle cardiaque est d'une importance capitale dans le diagnostic ou le suivi de certaines entités pathologiques. Avec l'utilisation du Doppler tissulaire, les limites d'interprétation du flux transmitral en cas d'aspect normal ou normalisé sont écartées. En effet, le simple enregistrement du profil DTI à l'anneau mitral permet d'apporter le diagnostic de dysfonction diastolique. Pour cela est mesurée l'amplitude de l'onde Ea ou E' (anneau) qui sera alors inférieure à 8 cm/s (fig. 4) [1, 2].

Dans la continuité, avec le même paramètre, il sera effectué le rapport entre l'onde E transmittale classique et l'onde Ea pour une évaluation des pressions de remplissage, une valeur inférieure à

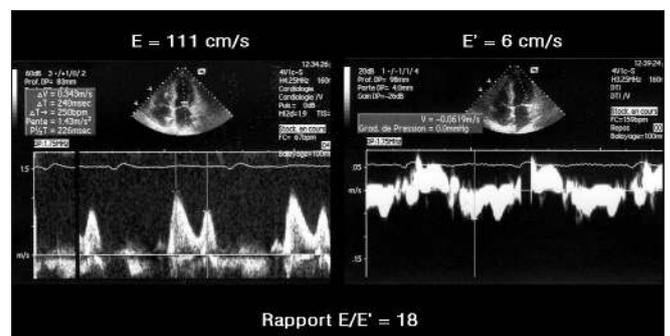


Fig. 4 : Diagnostic d'un flux normalisé transmittal par analyse du spectre Doppler tissulaire à l'anneau latéral mitral dont l'onde E' est inférieure à 8 cm/s. Par ailleurs, le rapport des ondes E/E' > 15 permet d'identifier ici une élévation des pressions de remplissage.

- Le DTI analyse les vitesses de déplacement du myocarde et non la contraction = évaluation indirecte.
- Indispensable dans l'analyse de la fonction diastolique (onde E') et l'estimation des pressions de remplissage (E/E').
- Aide dans l'évaluation de la fonction globale VG et VD.
- Discriminant dans MCH/HVG physiologique, restriction/constriction, rejet de greffe.

10 signant des pressions normales et une valeur supérieure à 15 des pressions élevées [3]. En cas de doute diagnostique ($10 < E/Ea < 15$), l'utilisation de la vitesse de propagation en TM couleur et du flux veineux pulmonaire peuvent alors être utiles.

Les deux indications principales de ce type d'évaluation seront le suivi des patients insuffisants cardiaques avec un réel impact thérapeutique par ajustement des traitements diurétiques, bêtabloquants ou IEC et le diagnostic de ICSP (insuffisance cardiaque à fonction systolique préservée).

■ FONCTION SYSTOLIQUE GLOBALE

Plus en retrait dans l'analyse de la fonction cardiaque globale derrière les mesures de référence que sont les volumes ventriculaires et le calcul de la fraction d'éjection, la place du DTI est discutable en raison des variations observées dans la population normale. Cependant, en cas d'estimation difficile de cette fonction pour des raisons de fenêtre ultrasonore, la mesure du pic de vitesses systoliques à l'anneau mitral peut être intéressante, et rassurante pour des valeurs moyennées supérieures à 6 cm/s car corrélées à une fraction d'éjection supérieure à 50 % [4].

■ FONCTION VENTRICULAIRE DROITE

De récents travaux viennent appuyer l'intérêt porté au mouvement systolique de l'anneau tricuspide dans sa partie latérale. Initialement investigué en mode TM, le DTI nous donne par la mesure de l'amplitude de vitesse à l'anneau un bon indice de fonction ventriculaire droite. On retiendra une valeur inférieure à 11,5 cm/s pour une FE VD < 45 % [5].

■ MYOCARDIOPATHIE RESTRICTIVE

La myocardiopathie restrictive peut dans certains cas poser le problème du diagnostic différentiel avec la péricardite constrictive. Petites cavités ventriculaires dans les deux situa-

tions, fonctions systoliques préservées et dilatations des massifs auriculaires et de la veine cave inférieure seront les éléments qui retiendront l'attention. Au-delà de l'étude du flux dans la VCI, parfois difficile d'interprétation, c'est ici le DTI à l'anneau latéral qui permettra l'orientation diagnostique. En effet, une amplitude de l'onde Ea inférieure à 8 cm/s ainsi qu'un retard de l'onde Ea par rapport à l'onde E mitrale seront en faveur d'une myocardiopathie restrictive [6].

■ MYOCARDIOPATHIE HYPERTROPHIQUE/HVG DU SPORTIF

Le diagnostic différentiel entre myocardiopathie hypertrophique et hypertrophie adaptative du sportif peut être également délicat et lourd de conséquence. Sans la prétention d'un critère discriminatoire absolu, le DTI apporte un élément supplémentaire dans l'algorithme décisionnel. En Doppler pulsé tout d'abord, des mesures des ondes S et Ea moyennées sur 4 sites annulaires inférieures à 9 cm/s seront en faveur d'une MCH avec des sensibilité et spécificité de 73 à 97 % [7].

L'approche en DTI TM couleur est conceptuellement différente en se focalisant sur la notion de gradient de vitesses myocardiques existant de façon physiologique entre les couches sous-endocardique et sous-épicardique. La combinaison des modes TM et DTI couleur en incidence parasternale autorise la visualisation mésosystolique et protodiastolique de ces gradients. Leur abolition signe une altération de la contractilité à un stade précoce retrouvée notamment dans les myocardiopathies hypertrophiques comparativement au sujet sain et au sportif [8].

■ TRANSPLANTATION CARDIAQUE ET REJET

Le sujet transplanté cardiaque doit également bénéficier d'un suivi spécifique avec comme objectif principal la détection du rejet. Ici encore, le DTI peut aider en complément de l'étude du flux transmitral à orienter le diagnostic. C'est principalement l'effondrement du gradient de vitesses protodiastoliques qui en sera le marqueur privilégié [9] mais non exclusif.

■ MYOCARDIOPATHIE DILATEE

Nous avons précédemment décrit l'intérêt du DTI dans le suivi des patients insuffisants cardiaques, notamment par le biais des pressions de remplissage. En amont de cette analyse, G. Derumeaux a également démontré l'intérêt de l'étude des

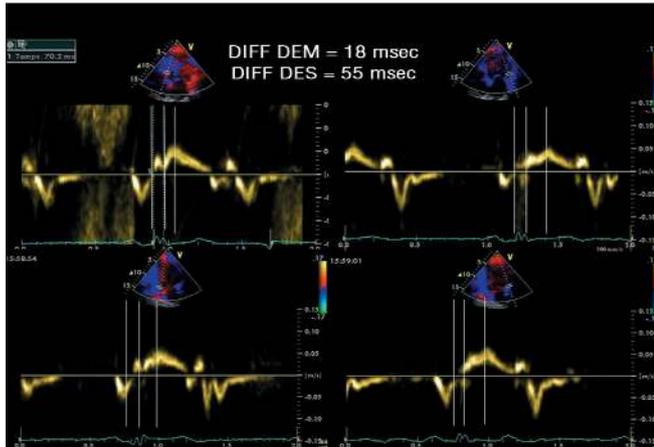


Fig. 5 : Exemple d'asynchronisme sur la mesure du délai électro-systolique (DES) dont la différence entre la paroi la plus précoce (septale) et la plus tardive (latérale) est supérieure à 40 msec contre 18 msec pour les délais électro-mécaniques (DEM). Cas typique de discordance sur les paramètres échocardiographiques.

gradients transmoyocardiques comme marqueur pronostique discriminant en cas d'abolition [10].

Une autre application fondamentale du DTI de nos jours cible la recherche d'asynchronisme intraventriculaire afin de mieux diagnostiquer les patients insuffisants cardiaques réfractaires qui pourraient bénéficier d'une resynchronisation biventriculaire. A partir d'enregistrement des zones basales (vues apicales) seront respectivement mesurés les délais électro-mécaniques (Q ECG-début de l'onde systolique DTI) et électro-systoliques (Q ECG-pic de l'onde systolique). Au-delà de 40 msec entre les parois les plus précoces et les plus tardives sur l'un ou l'autre des critères, il sera identifié un asynchronisme intraventriculaire significatif pouvant faire discuter le traitement électrique (fig. 5) [11].

■ ISCHÉMIE MYOCARDIQUE

L'ischémie aiguë est connue pour générer une réduction significative des vitesses systolo-diastoliques [12]. C'est dans la recherche de viabilité que le DTI semble en pratique pouvoir discriminer la séquelle fixée de la sidération myocardique, notamment par l'étude des gradients de vitesses trans-myocardiques [13]. Dans le domaine de l'échographie de stress, l'analyse des vitesses systoliques présente un intérêt principalement pour l'opérateur moins expérimenté, comme nous l'enseigne l'étude de T. Marwick [14], avec des valeurs de 5 et 7 cm/s sur les segments médians ou basaux généralement retenues pour le diagnostic d'ischémie au pic.

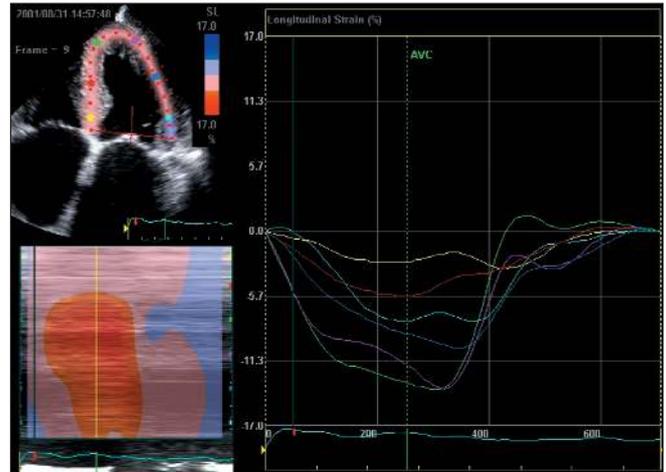


Fig. 6 : Image de déformation "2D strain" permettant une analyse plus fine de la contraction myocardique appréciée sous forme de courbe de déformation longitudinale sur 6 segments myocardiques.

■ LIMITES ET PERSPECTIVES

La fiabilité de l'analyse des vitesses myocardiques est limitée par l'enregistrement de mouvements d'accompagnement extrinsèques à la contraction locorégionale (respiration, parois limitrophes...). Une approche plus fine de la contraction myocardique est accessible par l'étude des déformations pariétales ("strain") calculées soit sur une base Doppler tissulaire couleur (mais peu reproductibles), soit à partir de l'image classique "noir et blanc" ("2D strain") (fig. 6). Cette dernière approche, de par sa facilité de mise en œuvre, suscite un intérêt démultiplié avec des résultats d'ores et déjà très prometteurs [15].

■ CONCLUSION

En quelques années, le Doppler tissulaire est devenu un outil réellement incontournable dans nos examens échocardiographiques de routine avec, en point d'orgue, l'analyse de la fonction diastolique. D'autres cibles pathologiques comme la myocardopathie restrictive, la MCO, l'HVG, le rejet post-transplantation, la dysfonction VD, les problèmes d'asynchronisme, etc. peuvent également bénéficier des atouts de cette technique afin d'enrichir les algorithmes diagnostiques classiques. Les atouts du DTI sont incontestablement sa simplicité d'utilisation et sa généralisation sur les échographes. Pour une analyse plus fiable de la contraction locorégionale, des techniques plus sophistiquées comme l'étude des déformations sont en cours de validation. ■

Bibliographie

1. GARCIA MJ, THOMAS JD, KLEIN AL. New Doppler echocardiographic applications for the study of diastolic function. *J Am Coll Cardiol*, 1998; 32: 865-75.
2. OKI T, TABATA T, YAMADA H *et al.* Clinical application of pulsed Doppler tissue imaging for assessing abnormal left ventricular function. *Am J Cardiol*, 1998; 79: 921-8.
3. ZILE MR, BRUTSAERT DL. New concepts in diastolic dysfunction and diastolic heart failure: Part I: diagnosis, and measurements of diastolic function. *Circulation*, 2002; 105: 1387-93.
4. GULATI VK, KATZ WE, FOLLANSBEE WP *et al.* Mitral annular descent velocity by tissue Doppler echocardiography as an index of global left ventricular function. *Am J Cardiol*, 1996; 77: 979-84.
5. MELUZIN J, SPINAROVA L, BAKALA J *et al.* Pulsed Doppler tissue imaging of the velocity of tricuspid annular systolic motion; a new, rapid, and non-invasive method of evaluating right ventricular systolic function. *Eur Heart J*, 2001; 22: 340-8.
6. GARCIA MJ, RODRIGUEZ L, ARES M *et al.* Differentiation of constrictive pericarditis from restrictive cardiomyopathy: assessment of left ventricular diastolic velocities in longitudinal axis by Doppler tissue imaging. *J Am Coll Cardiol*, 1996; 27: 108-14.
7. VINERANU D, FLORESCU N, SCULTHORPE N *et al.* Differentiation between pathologic and physiologic left ventricular hypertrophy by tissue Doppler assessment of long-axis function in patients with hypertrophic cardiomyopathy or systemic hypertension and in athletes. *Am J Cardiol*, 2001; 88: 53-8.
8. PALKA P, LANGE A, FLEMING AD *et al.* Differences in myocardial velocity gradient measured throughout the cardiac cycle in patients with hypertrophic cardiomyopathy, athletes and patients with left ventricular hypertrophy due to hypertension. *J Am Coll Cardiol*, 1997; 30: 760-8.
9. DERUMEAUX G, DOUILLET R, REDONNET M *et al.* Detection of acute rejection of heart transplantation by Doppler color imaging. *Arch Mal Cœur Vaiss*, 1998; 91: 1255-62.
10. DERUMEAUX G, COCHONNEAU O, DOUILLET R *et al.* Comparison of myocardial velocities by tissue Doppler imaging in normal subjects and in dilated cardiomyopathy. *Arch Mal Cœur Vaiss*, 1997; 90: 773-8.
11. LAFITTE S, GARRIGUE S, PERRON J. Improvement of left ventricular wall synchronization with multisite ventricular pacing in heart failure: a prospective study using Doppler tissue imaging. *Eur J Heart*, 2004; 6: 203-12.
12. GARCIA-FERNANDEZ MA, AZEVEDO J, MORENO M *et al.* Regional diastolic function in ischaemic heart disease using pulsed wave Doppler tissue imaging. *Eur Heart J*, 1999; 20: 496-505.
13. GAROT J, DERUMEAUX GA, MONIN JL *et al.* Quantitative systolic and diastolic transmural velocity gradients assessed by M-mode colour Doppler tissue imaging as reliable indicators of regional left ventricular function after acute myocardial infarction. *Eur Heart J*, 1999; 20: 593-603.
14. FATHI R, CAIN P, NAKATANI S *et al.* Effect of tissue Doppler on the accuracy of novice and expert interpreters of dobutamine echocardiography. *Am J Cardiol*, 2001; 88: 400-5.
15. SERRI K, REANT P, LAFITTE S. Global and regional myocardial function quantification by two-dimensional strain: application in hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* (in press).