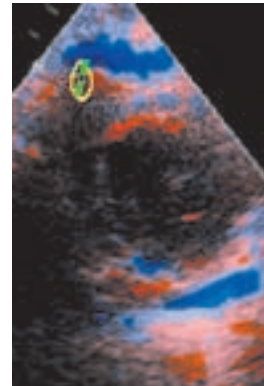


> Le ventricule droit (VD) est essentiel à la physiologie et la physiopathologie cardio-pulmonaires. La présence d'une dysfonction systolique du VD est un élément pronostique à prendre en compte dans la prise en charge des patients atteints d'infarctus du myocarde (IDM) inférieur, de valvulopathies significatives, de cardiopathies congénitales, d'hypertension artérielle pulmonaire (HTAP) et chez les patients en insuffisance cardiaque aiguë ou chronique. L'analyse du VD repose sur une approche non invasive (échocardiographie-Doppler, méthode isotopique, imagerie par résonance magnétique cardiaque) et/ou invasive (cathétérisme cardiaque droit). Longtemps négligée en échocardiographie, l'analyse du VD a le vent en poupe avec l'arrivée de nouvelles technologies d'imagerie : doppler tissulaire myocardique, *strain imaging* et *2D speckle tracking*. Ce travail résume et discute les paramètres d'analyse du VD en échocardiographie-Doppler. ◀

Pendant de nombreuses années, l'analyse du VD a souvent été négligée dans l'évaluation échocardiographique des patients. Pourtant, le VD joue un rôle important en physiologie et en physiopathologie cardio-pulmonaires. Le pronostic des patients est affecté en cas d'atteinte de la fonction du VD dans l'infarctus du myocarde (IDM), les cardiopathies congénitales, l'hypertension artérielle pulmonaire (HTAP) et chez les patients atteints d'insuffisance cardiaque aiguë ou chronique. Plusieurs techniques permettent d'analyser le VD. L'approche peut être non invasive et/ou invasive. L'approche invasive est ancienne et garde sa place surtout dans l'évaluation précise des patients atteints d'HTAP et dans le cadre d'un bilan pré-transplantation cardiaque (mesure des résistances vasculaires pulmonaires). L'approche non invasive comprend l'échocardiographie-Doppler, l'évaluation isotopique et l'imagerie par résonance magnétique cardiaque. L'approche échocardiographique a longtemps été limitée à cause de la géométrie complexe du VD. En effet, le VD présente une géométrie

Analyse échocardiographique du ventricule droit

Abdallah Fayssoil, Soumeth Abasse, Olivier Nardi



A. Fayssoil : Service de cardiologie, CHU de Bicêtre, AP-HP, 78, rue du Général Leclerc, 94275 Le Kremlin-Bicêtre, France.

fayssoil2000@yahoo.fr

S. Abasse : Service de pédiatrie, CHU de Reims, Reims, France.

O. Nardi : Service de rééducation cardiovasculaire, CHU Raymond Poincaré, AP-HP, Garches, France.

particulière (*Figure 1*) ; il est composé de 2 entités : un corps qui représente la chambre de remplissage et une zone infundibulaire qui représente la chambre d'éjection. Il en résulte une impossibilité quant à l'utilisation de modèles géométriques pour analyser le VD, contrairement au VG. De plus, la géométrie du VD change en fonction des conditions de charges imposées, en l'occurrence dans les pathologies pulmonaires chroniques, les valvulopathies significatives et les cardiopathies congénitales. Avec l'arrivée des nouvelles technologies en imagerie cardiaque (doppler tissulaire myocardique = DTI, *strain* et *2D speckle tracking*), on assiste à un regain d'intérêt pour l'approche échocardiographique.

Analyse morphologique du ventricule droit

Le VD est une cavité compliant et s'adapte donc aux conditions de charge. Il tolère mieux une surcharge de volume qu'une surcharge de pression. Ainsi, l'élévation des pressions pulmonaires peut altérer la fonction ventriculaire droite. Le VD s'adapte progressivement à l'élévation de la post-charge par une hypertrophie, un aplatissement du septum interventriculaire (SIV). Mais progressivement, la surcharge de pression finit par entraîner une altération de la fonction systolique du VD et sa dilatation, une dilatation de l'anneau tricuspide et donc une aggravation d'une insuffisance tricuspide (IT) préexistante, entraînant à son tour une altération de la fonction diastolique.

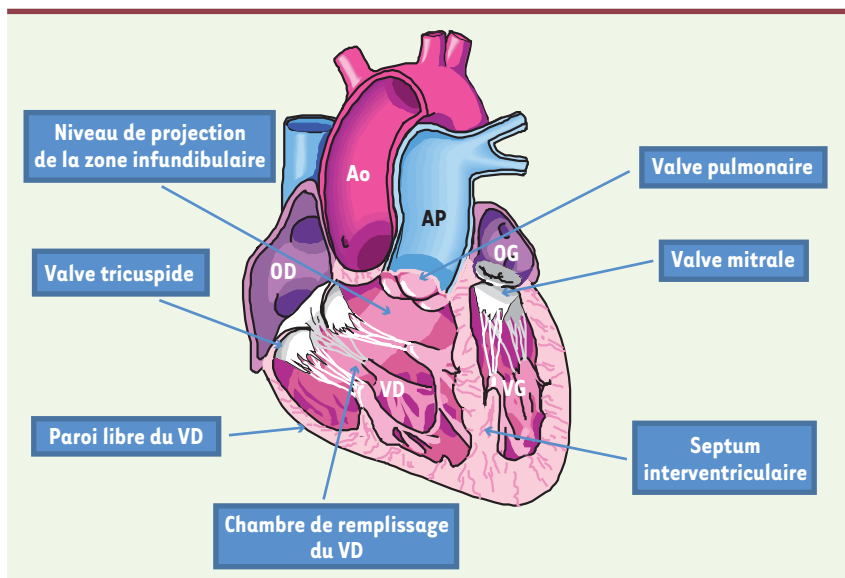


Figure 1. Rappel de l'anatomie des cavités cardiaques. Ao : aorte ; AP : artère pulmonaire ; OD : oreillette droite ; OG : oreillette gauche ; VD : ventricule droit ; VG : ventricule gauche.

Il est donc important de suivre les patients atteints d'une pathologie respiratoire chronique, d'une valvulopathie significative ou d'insuffisance cardiaque afin de dépister une atteinte du VD pouvant entraîner une sanction thérapeutique. L'échocardiographie demeure alors intéressante et importante. À partir des coupes en apical 4 cavités et en parasternal (voir glossaire), il est possible de décrire la morphologie du VD, sa cinétique segmentaire et l'épaisseur de sa paroi libre, d'analyser l'aspect du SIV, de mesurer le diamètre de l'anneau tricuspidale. En effet, par exemple, chez les patients ayant une insuffisance mitrale importante, la réparation de la valve mitrale peut être associée à une plastie tricuspide en cas de dilatation importante de l'anneau tricuspidale.

De même, en cas d'embolie pulmonaire, l'échocardiographie permet de rechercher les signes d'un cœur pulmonaire aigu et des signes de gravité. Par ailleurs, l'analyse morphologique du VD sera complétée par une analyse fonctionnelle évaluant la fonction systolique du VD, une mesure des pressions pulmonaires, la recherche d'une IT et enfin l'analyse de la veine cave inférieure (VCI).

Analyse classique de la fonction systolique du ventricule droit

Pendant longtemps, cette analyse reposait sur le calcul de la fraction de raccourcissement de surface (FRS) et une estimation semi-quantitative de la fraction d'éjection du ventricule droit (FEVD). La FRS est obtenue en mesurant la surface télésystolique et la surface télédiastolique du VD en 4 cavités, grâce à la formule suivante :
$$\frac{[(\text{surface télédiastolique} - \text{surface télésystolique}) / \text{surface télédiastolique}] \times 100.$$

La FEVD est calculée à partir des données systolique et diastolique du VD en planimétrie. La FEVD se situe habituellement entre 40 % et 76 % [1, 2]. Il existe une bonne corrélation entre la FEVD obtenue en échocardiographie et la FEVD obtenue par mesure isotopique ($r = 0,8$) [3]. Néanmoins, la FEVD n'est pas un bon reflet de la contractilité du VD. En effet, elle est dépendante des conditions de charge. De plus,

Calcul du débit du VD

Il est important de calculer le débit cardiaque à droite surtout chez les patients atteints de cardiopathies congénitales, en l'occurrence dans les *shunt* gauche-droit. Le débit du VD est calculé en multipliant le volume d'éjection systolique (VES) par la fréquence cardiaque (FC). Le VES est calculé à partir de la surface de l'anneau pulmonaire ($\pi D^2/4$) multipliée par l'ITV (intégrale temps vitesse du flux pulmonaire en doppler pulsé à l'anneau pulmonaire) sous-pulmonaire, D étant le diamètre de l'anneau pulmonaire. La mesure du débit est limitée par la mesure du diamètre de l'anneau.

Analyse de la fonction systolique du VD à l'aide du TAPSE

Le TAPSE (*tricuspid annular plane systolic excursion*) est l'excursion systolique du plan de l'anneau tricuspidale mesuré en temps-mouvement (TM). Ce déplacement de la valve tricuspidale vers l'apex du VD pendant la systole est un bon reflet de la fonction systolique du VD. Une excellente corrélation ($r = 0,92$) entre le TAPSE et la FE isotopique du VD a été trouvée par S. Kaul *et al.* [3] dans une série de 30 patients. Un TAPSE < 12 mm correspond à une dysfonction systolique du VD. En revanche, une excursion systolique de plus de 15 mm est le plus souvent associée à une FEVD normale.

Le TAPSE a aussi une valeur pronostique, notamment chez les patients en insuffisance cardiaque et chez les patients suivis pour HTAP. Dans une série analysée par S. Ghio [4] de 140 patients en insuffisance cardiaque avec une FE du VG < 35 %, un TAPSE < 14 mm était un élément de mauvais pronostic.

De même, dans un travail qui incluait 63 patients souffrant d'HTAP, P.R. Forfia *et al.* [5] ont analysé les données obtenues en cathétérisme et en échocardiographie-Doppler. Un TAPSE < 18 mm était associé à une dysfonction systolique du VD. Chez les patients ayant une HTAP, la survie à 1 an et à 2 ans était respectivement de 94 % et de 88 % si le TAPSE excédait 18 mm mais de 60 % et 50 % s'il était inférieur à 18 mm.

Doppler tissulaire myocardique (DTI)

Le DTI est utilisé depuis longtemps pour l'analyse de la fonction ventriculaire gauche. L'approche DTI permet l'analyse des vitesses de déplacement des parois au niveau d'un point spatial précis choisi. Pour cela, il est important d'avoir un alignement correct entre le tir Doppler et la paroi myocardique analysée. En effet, concernant l'analyse du VD, le tir Doppler doit être parallèle à la paroi libre du VD afin d'éviter une fausse estimation des vitesses myocardiques. Il est aussi important d'ajuster les filtres et de diminuer les gains Doppler avant le recueil du signal. Le DTI peut être utilisé en mode spectral pulsé permettant de recueillir les vitesses en systole et en diastole ou en mode couleur.

Pour l'exploration de la fonction du VD, le DTI est appliqué à la paroi latérale de l'anneau tricuspide et permet d'obtenir le pic systolique (S) à l'anneau tricuspide et les pics diastoliques (Ea, Aa) (Figure 2).

Chez les sujets sains, le pic de l'onde S à l'anneau tricuspide est en général plus important comparativement au pic de l'onde S recueilli à l'anneau mitral ($15,2 \pm 1,9$ cm/seconde contre $11,1 \pm 2,9$ cm/sec) [6].

Le DTI aide à trouver une dysfonction systolique du VD dans la pathologie coronarienne aiguë chez les patients atteints d'insuffisance cardiaque aiguë ou chronique et chez les patients atteints de pathologie pulmonaire chronique ou souffrant d'HTAP.

Ainsi, en cas d'IDM inférieur, le DTI permet de rechercher une atteinte du VD qu'il est important de reconnaître car elle sera prise en compte dans la prise en charge du patient, étant donné le pronostic péjoratif qui lui est associé. Un pic de l'onde S à l'anneau tricuspide (paroi

latérale) < 10,6 cm/s permet le diagnostic d'atteinte du VD (sensibilité 100 %, spécificité 92 %) chez les patients ayant une atteinte électrique myocardique, d'après M. Yilmaz [7].

Dans un travail réalisé par J. Meluzin *et al.* [8], une onde S systolique à l'anneau tricuspide (Sa VD) < 11,5 cm/s reflétait une FE isotopique du VD < 45 % (sensibilité de 90 %, spécificité de 85 %). Il existait une bonne corrélation entre le SaVD et la FEVD obtenue par méthode isotopique ($r = 0,65$; $p < 0,001$) [8]. Chez les patients en insuffisance cardiaque, une diminution du pic de l'onde Sa VD est corrélée à une atteinte sévère du VD [8]. Par ailleurs, ces mêmes auteurs observent qu'une diminution du pic de l'onde Sa VD (< 10,8 cm/seconde) est un élément de mauvais pronostic chez les patients en insuffisance cardiaque [9].

Chez les patients atteints d'HTAP, le DTI apporte des informations sur une éventuelle atteinte du VD. Il apporte une aide diagnostique pour le suivi et l'analyse de la réponse thérapeutique des patients atteints de pathologie systémique (sclérodermie par exemple). P.L. Lindqvist *et al.* [10] ont observé un allongement du temps de relaxation isovolémique chez les patients atteints de sclérodermie comparativement à un groupe contrôle.

Strain et Strain rate dans l'analyse de la fonction ventriculaire droite

Une des limites de l'analyse des vitesses myocardiques à un point donné du myocarde en DTI résulte du fait que le DTI ne permet pas de différencier les mouvements passifs des mouvements actifs de la région myocardique

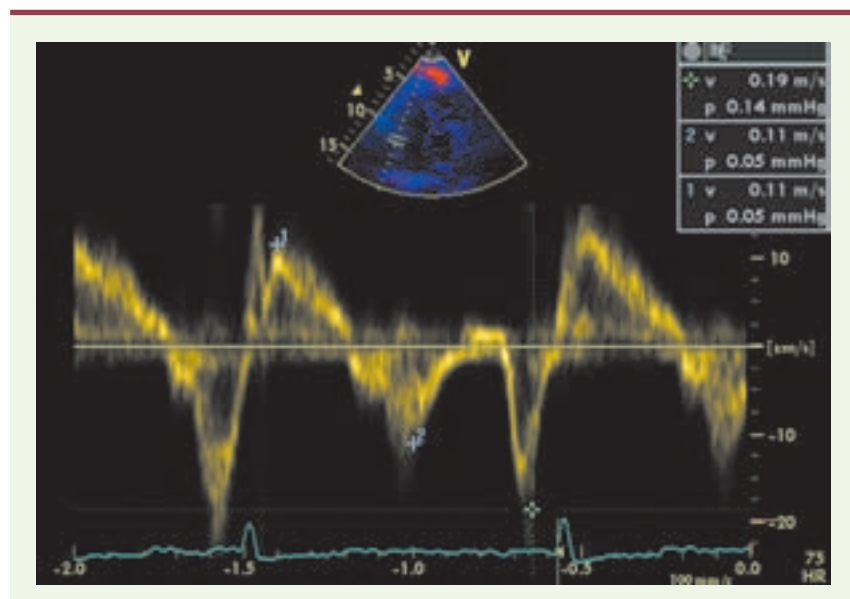


Figure 2. Doppler tissulaire myocardique à l'anneau tricuspide pour l'analyse du VD. À partir d'une coupe apicale 4 cavités, l'échantillon doppler est positionné au niveau de la paroi latérale de l'anneau tricuspide et l'analyse DTI permet d'obtenir les vitesses de la paroi en (onde S) et en diastole (onde Ea et Aa).

1 = onde S systolique.
2 = onde Ea diastolique.
+ = onde Aa diastolique.

sélectionnée, ce qui peut être à l'origine d'une erreur d'analyse d'un segment non fonctionnel. Le *strain*, technologie dérivée des applications du DTI, permet de pallier ce défaut en permettant une analyse de la déformation segmentaire (Figure 3).

Le *strain* permet de quantifier la déformation relative d'un segment lors de l'application d'une force. Ainsi, si un segment de longueur L0 présente une longueur L1 en réponse à l'application d'une force, le *strain* est donné par la valeur du rapport $L1-L0/L0$. Exprimé en pourcentage, le *strain* est négatif en cas de raccourcissement et positif en cas d'étirement du segment. Il permet d'analyser la fonction systolique myocardique régionale. Le *strain rate* dérive du *strain* et mesure la vitesse de déformation myocardique. Il s'exprime en 1/s.

Dans le VD, en analyse longitudinale, il existe un gradient physiologique des vitesses entre la base et l'apex, les vitesses étant plus importantes à la base. Les vitesses du VD sont par ailleurs plus élevées que les vitesses myocardiques du VG [11]. Cette différence s'explique par les conditions de charge qui sont plus élevées pour le VG comparativement au VD. De plus, les fibres longitudinales et obliques sont nombreuses au niveau de la paroi libre du VD [12]. En échocardiographie Doppler, les valeurs obtenues en *strain* et *strain rate* au niveau du VD sont très hétérogènes avec des valeurs très élevées au niveau du segment apical [13]. Le *strain* normal est de $19 \pm 6\%$ en basal, de $27 \pm 6\%$ en médian et de $32 \pm 6\%$ en apical [11].

Chez les patients suivis pour HTAP [14], ou pour BPCO (broncho-pneumopathie chronique obstructive) avec HTAP (>35mmHg) [15], les valeurs de *strain* sont diminuées comparativement à un groupe contrôle.

Cela étant, l'analyse du VD par *strain* et *strain rate* présente des limites. En effet, comme dans l'analyse par DTI, il faut un alignement parfait avec la paroi libre du VD en coupe apicale pour éviter des résultats erronés. Par ailleurs, il est difficile d'analyser les données en parasternal petit axe (fonction radiale) ; la paroi libre du VD est fine et les données de la littérature insuffisantes. Un défaut de visibilité de la paroi du VD

peut aussi être à l'origine de valeurs erronées. De même, les conditions de charge influencent les résultats [16].

2D speckle tracking

Contrairement au DTI et au *strain*, le 2D *speckle tracking* permet de se passer du problème d'angle. En revanche, pour l'obtention des mesures, il est important d'avoir une meilleure délimitation des contours de l'endocarde [17]. Le 2D *speckle tracking* repose sur l'analyse de pixels (*speckle*). Au niveau de chaque zone sélectionnée, le logiciel repère un groupe de pixels (*speckle*) qu'il recherche dans l'image suivante au sein d'une zone élargie. On peut ainsi analyser le déplacement d'une zone dans les 2D voire 3 dimensions de l'espace. Cependant, cette technologie présente une résolution temporelle faible.

Appliqué au VG, le 2D *speckle tracking* permet donc une analyse séparée des fonctions longitudinale, radiale et de la torsion du VG. Les données sont encore insuffisantes dans la littérature pour la fonction ventriculaire droite. Le 2D *speckle tracking* peut aider au diagnostic de certaines dysplasies comme la dysplasie arythmogène du VD [17].

Fonction diastolique du VD

La fonction diastolique du VD est influencée par plusieurs paramètres : la compliance et la relaxation du VD, la fréquence cardiaque et l'état du péricarde. L'analyse de la fonction diastolique du VD repose sur l'analyse du flux de remplissage tricuspide, du flux de l'insuffisance pulmonaire (IP), des pics diastoliques au doppler tissulaire myocardique (anneau tricuspide) et de la veine cave inférieure (VCI). Le flux tricuspide est composé d'une onde protodiastolique Et (relaxation du VD) et d'une onde télédiastolique At (systole auriculaire). Cependant, ce flux est rythmé par la respiration. Un rapport $Et/At > 2$ avec un temps de décélération court < 150 ms est en faveur d'une cardiopathie restrictive [18]. Par ailleurs, la morphologie du flux de l'IP permet d'évaluer la pression diastolique du VD. Un aspect de l'IP en forme de *dip* plateau est évocateur d'adiastolie. L'adiastolie s'explique par une augmentation rapide de la pression du VD, à l'origine d'une diminution rapide du gradient entre l'artère pulmonaire et le VD pendant la diastole. L'adiastolie est souvent présente dans les pathologies cardiaques constrictive ou restrictive. La pression dans

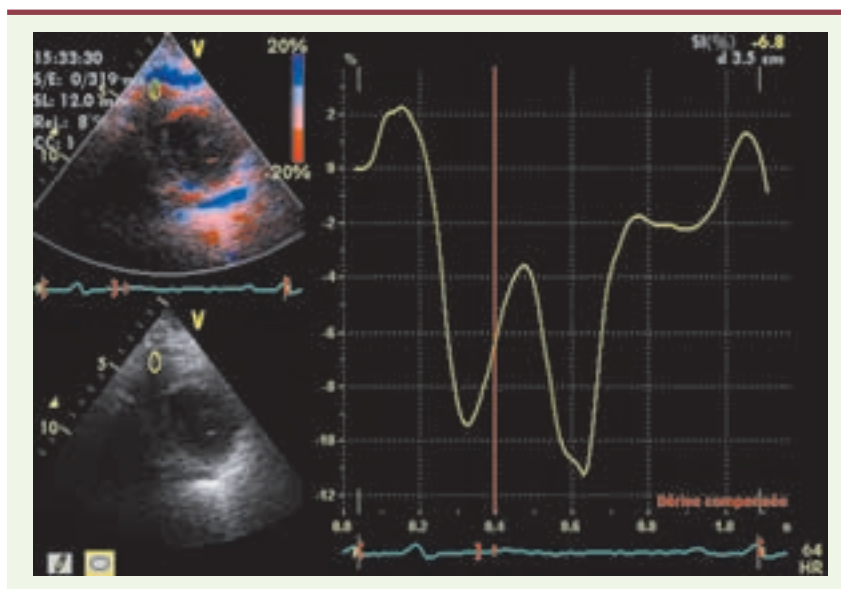


Figure 3. Analyse du ventricule droit en strain à partir d'une coupe parasternale petit axe. L'échantillon doppler est positionné au niveau de la paroi libre du VD.

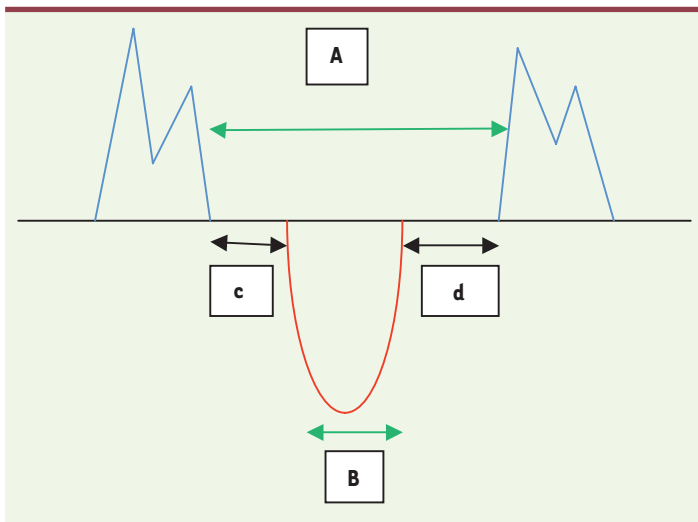


Figure 4. Représentation schématique du doppler pulsé tricuspidien et du doppler pulsé sous-pulmonaire pour le calcul l'index de performance myocardique (IPM).

B = temps d'éjection.

$A - B = c + d = \text{TCIV} + \text{TRIV}$.

$\text{IPM} = (A - B) / B = \text{TCIV} + \text{TRIV} / \text{temps d'éjection}$.

c = TCIV = temps de contraction isovolumique.

d = TRIV = temps de relaxation isovolumique.

L'oreillette droite (OD) est évaluée de manière semi-quantitative à partir de l'analyse de la compliance de la VCI.

Index de performance myocardique (index de Tei)

L'index de performance myocardique (IPM) permet d'évaluer la fonction systolique et la fonction diastolique ventriculaires. Il est calculé à partir des temps de contraction et de relaxation isovolumiques ventriculaires (Figure 4) [19]. La valeur seuil de l'IPM est de 0,83. L'IPM est intéressant dans la mesure où ce paramètre s'affranchit des modèles géométriques. Cet index peut être calculé pour l'analyse du VG ou du VD.

$\text{IPM} = \text{index de Tei} = \text{temps de contraction isovolumique} + \text{temps de relaxation isovolumique} / \text{temps d'éjection}$. Le rythme cardiaque du patient doit être régulier pour pouvoir calculer l'IPM. La mesure n'est donc pas valable en cas de fibrillation auriculaire.

L'IPM s'allonge en cas d'atteinte des performances du VD. Ce paramètre présente par ailleurs un intérêt pronostique chez les patients ayant une HTAP idiopathique [20].

Calcul des pressions pulmonaires

Les pressions pulmonaires reflètent la post-charge du VD, et il est important de les connaître dans l'évaluation de la fonction du cœur droit. Elles peuvent être évaluées à partir de la mesure, soit du flux d'insuffisance tricuspidienne (IT) (Figure 5), soit du flux d'insuffisance pulmonaire (IP).

Aspect du flux d'éjection pulmonaire

L'analyse de l'aspect du flux d'éjection pulmonaire peut aider au diagnostic d'HTAP. En cas d'HTAP chronique, le flux présente un aspect triangulaire avec un pic protosystolique et une encoche sur la phase de décélération [23]. Par ailleurs, la mesure du temps d'accélération pulmonaire permet aussi une estimation indirecte des pressions pulmonaires. En effet, il existe une corrélation négative entre la PAP moyenne et le

temps d'accélération pulmonaire. Ainsi, un temps d'accélération pulmonaire < 100 ms est évocateur d'une PAP moyenne > 20 mmHg (sensibilité de 95 %, spécificité de 97 %) [24].

Apport de l'échocardiographie 3D

L'échocardiographie 2D présente des limites dans la mesure où il est essentiel de se baser sur des modèles géométriques pour évaluer les volumes ventriculaires. L'analyse échocardiographique en 3D est intéressante car elle permet de surseoir à ces modèles géométriques utilisés en échocardiographie 2D. Dans ces conditions, l'évaluation des volumes ventriculaires et de la masse ventriculaire est plus performante qu'en échocardiographie 2D. L'examen peut être couplé à l'injection d'agents de contraste en vue d'une meilleure délimitation de l'endocarde du VD pour l'analyse des données.

Conclusion

L'analyse de la fonction ventriculaire droite est importante et doit être systématique chez les patients atteints d'infarctus du myocarde, de valvulopathies, d'insuffisance cardiaque aiguë ou chronique, d'HTAP et chez les patients suivis pour une pathologie pulmonaire chronique.

L'échocardiographie 2D (\pm 3D) couplée au doppler tissulaire myocardique fournit les paramètres essentiels dans cette optique et apporte une aide pour la décision thérapeutique et le suivi des patients. \diamond

SUMMARY

Right ventricular assessment with echocardiography

Right ventricular (RV) function is essential in cardio-pulmonary physiology and physiopathology. RV dysfunction has prognostic impact in inferior myocardial infarction, significant valvulopathies, congenital cardiopathies, arterial pulmonary hypertension and in patients suffering from acute or chronic heart failure. RV analysis relies on non invasive (echocardiography-Doppler, isotopic technology, cardiac magnetic resonance imaging) and/or invasive approaches (right cardiac catheterization). Neglected a short time ago, RV assessment has regained interest with tissular Doppler imaging, strain imaging and 2D speckle tracking. We review echocardiography and Doppler parameters used for right ventricular assessment. \diamond

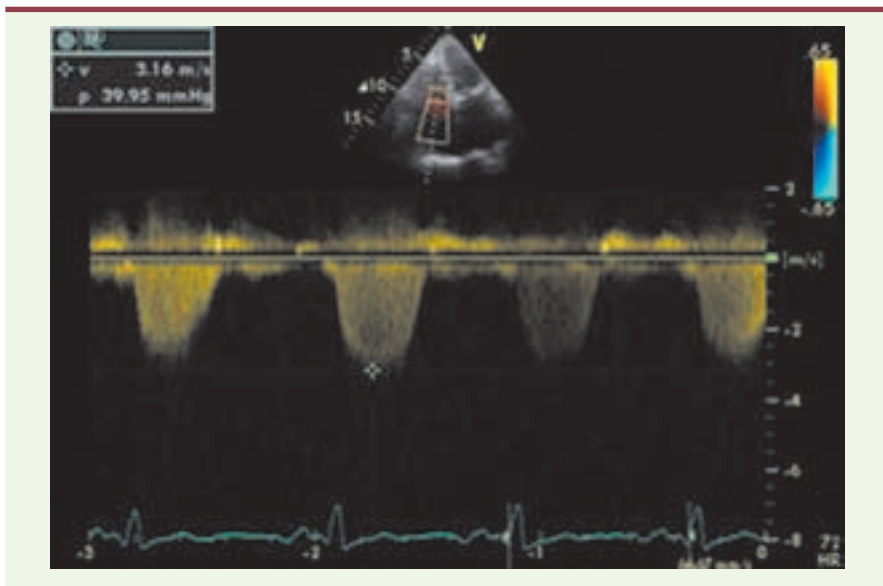


Figure 5. Recueil du flux d'insuffisance tricuspide (IT) en Doppler continu. La pression artérielle pulmonaire systolique (PAPS) est calculée à partir de la vitesse maximale (V max) du flux de l'IT grâce à l'équation de Bernouilli : gradient de pression entre le ventricule droit et l'oreillette droite = $4 (V_{max})^2$. Ici $V_{max} = 3,16$ m/s donc le gradient de pression = 39,9 mmHg. La pression systolique du ventricule droit étant égale à la PAPS (en l'absence de sténose pulmonaire), on déduit ici la PAPS = 39,9 mm Hg + pression de l'oreillette droite.

GLOSSAIRE

Coupe apicale 4 cavités : la sonde est positionnée en regard du choc de pointe, le patient étant en décubitus latéral gauche.

Coupe parasternale grand axe et petit axe : la sonde est positionnée au niveau parasternal gauche, le patient étant en décubitus latéral gauche.

Cœur pulmonaire aigu : le cœur droit est soumis à une post-charge importante (exemple dans l'embolie pulmonaire).

Téléstysole : en fin de systole.

Télédiastole : en fin de diastole.

Planimétrie : elle est utilisée en échocardiographie bidimensionnelle pour calculer la surface d'un orifice valvulaire; elle nécessite une meilleure visualisation des contours valvulaires.

Mode spectral pulsé : le doppler pulsé permet d'enregistrer les vitesses de déplacement de la paroi analysée.

Alignement des flux : le faisceau ultrasonore doit être parallèle au flux sanguin analysé en Doppler afin d'éviter une fausse estimation des vitesses.

Flux d'insuffisance pulmonaire : flux sanguin de la fuite valvulaire pulmonaire.

Anneau tricuspide : anneau de la valve tricuspide.

Anneau pulmonaire : anneau de la valve pulmonaire.

8. Meluzin J, Spinarová 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.

9. Meluzin J, Spinarová L, Hude P, et al. Prognostic importance of various echocardiographic right ventricular functional parameters in patients with symptomatic heart failure. *J Am Soc Echocardiogr* 2005; 18 : 435-44.

10. Lindqvist P, Caidahl K, Neuman-Andersen G, et al. Disturbed right ventricular diastolic function in patients with systemic sclerosis: a Doppler tissue imaging study. *Chest* 2005; 128 : 755-63.

11. Kowalski M, Kukulski T, Jamal F, et al. Can natural strain and strain rate quantify regional myocardial deformation? A study in healthy subjects. *Ultrasound Med Biol* 2001; 27 : 1087-97.

12. Torrent-Guasp F, Ballester M, Buckberg GD, et al. Spatial orientation of the ventricular muscle band: physiologic contribution and surgical implications. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001; 122 : 389-92.

13. Jamal F, Bergerot C, Argaud L, Loufouat J, Ovize M. Longitudinal strain quantitates regional right ventricular contractile function. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2003; 285 : H2842-7.

14. López-Candales A, Dohi K, Bazaz R, Edelman K. Relation of right ventricular free wall mechanical delay to right ventricular dysfunction as determined by tissue Doppler imaging. *Am J Cardiol* 2005; 96 : 602-6.

15. Vitarelli A, Conde Y, Cimino E, et al. Assessment of right ventricular function by strain rate imaging in chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J* 2006; 27 : 268-75.

16. Marwick TH. Measurement of strain and strain rate by echocardiography: ready for prime time? *J Am Coll Cardiol* 2006; 47 : 1313-27.

17. Teske AJ, De Boeck BW, Olimulder M, et al. Echocardiographic assessment of regional right ventricular function: a head-to-head comparison between 2-dimensional and tissue Doppler-derived strain analysis. *J Am Soc Echocardiogr* 2008; 21 : 275-83.

18. Appleton CP, Hatle LK, Popp RL. Demonstration of restrictive ventricular physiology by Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1988; 11 : 757-68.

19. Tei C, Dujardin KS, Hodge DO, et al. Doppler echocardiographic index for assessment of global right ventricular function. *J Am Soc Echocardiogr* 1996; 9 : 838-47.

20. Yeo TC, Dujardin KS, Tei C, et al. Value of a Doppler-derived index combining systolic and diastolic time intervals in predicting outcome in primary pulmonary hypertension. *Am J Cardiol* 1998; 81 : 1157-61.

21. Mc Quillan BM, Picard MH, Leavitt M, Weyman AE. Clinical correlates and reference intervals for pulmonary artery systolic pressure among echocardiographically normal subjects. *Circulation* 2001; 104 : 2797-802.

22. Pepi M, Tamborini G, Galli C, et al. A new formula for echo-Doppler estimation of right ventricular systolic pressure. *J Am Soc Echocardiogr* 1994; 7 : 20-6.

23. Marchandise B, De Bruyne B, Delaunois L, Kremer R. Noninvasive prediction of pulmonary hypertension in chronic obstructive pulmonary disease by Doppler echocardiography. *Chest* 1987; 91 : 361-5.

24. Miguéres M, Escamilla R, Coca F, Didier A, Krempf M. Pulsed Doppler echocardiography in the diagnosis of pulmonary hypertension in COPD. *Chest* 1990; 98 : 280-5.

RÉFÉRENCES

1. Triulzi M, Gillam L, Gentile F, Weyman A. Normal adult cross sectional echocardiography values: linear dimensions and chamber areas. *Echocardiography* 1984; 1 : 403-26.
2. Lorenz CH, Walker ES, Morgan VL, Klein SS, Graham TP Jr. Normal human right and left ventricular mass, systolic function, and gender differences by cine magnetic resonance imaging. *J Cardiovascular Magn Reson* 1999; 1 : 7-21.
3. Kaul S, Tei C, Hopkins JM, Shah PM. Assessment of right ventricular function using two-dimensional echocardiography. *Am Heart J* 1984; 107 : 526-31.
4. Ghio S, Recusani F, Klersy C, et al. Prognostic usefulness of the tricuspid annular plane systolic excursion in patients with congestive heart failure secondary to idiopathic or ischemic dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 2000; 85 : 837-42.
5. Forfia PR, Fisher MR, Mathai SC, et al. Tricuspid annular displacement predicts survival in pulmonary hypertension. *Am J Respir Crit Care Med* 2006; 174 : 1034-41.
6. Alam M, Wardell J, Andersson E, Samad BA, Nordlander R. Characteristics of mitral and tricuspid annular velocities determined by pulsed wave Doppler tissue imaging in healthy subjects. *J Am Soc Echocardiogr* 1999; 12 : 618-28.
7. Yilmaz M, Erol MK, Acikel M, Sevimli S, Alp N. Pulsed Doppler tissue imaging can help to identify patients with right ventricular infarction. *Heart Vessels* 2003; 18 : 112-6.

TIRÉS À PART
A. Fayssoil