

Revue générale

Comment évaluer la fonction systolique et diastolique du ventricule droit ?

RÉSUMÉ : L'analyse du ventricule droit (VD) en échocardiographie est difficile en raison de sa morphologie particulière en "croissant" qui s'enroule autour du ventricule gauche (VG). Il constitue l'essentiel de la partie antérieure du cœur. Aucune coupe échocardiographique ne permet de le visualiser en totalité et son étude complète nécessite de multiplier les incidences. Il est composé de la chambre de remplissage ou d'admission du VD et de la chambre d'éjection, ou zone infundibulaire, se terminant par les valves pulmonaires.

Les dimensions du VD varient beaucoup avec la respiration et la position du patient. Les surfaces endocardiques sont irrégulières et trabéculées, rendant plus difficiles la détermination de leurs contours et l'appréciation de la fonction systolique ventriculaire droite.



C. SZYMANSKI

Service de Cardiologie, Hôpital Ambroise-Paré,
BOULOGNE-BILLANCOURT.

Évaluation de la fonction systolique du ventricule droit

La mesure des volumes ventriculaires droits en échocardiographie bidimensionnelle est rendue difficile en raison de la géométrie complexe du ventricule droit (VD) avec chambres d'admission et d'éjection bien distinctes, trabéculations abondantes et dépendance des indices vis-à-vis des conditions de charge. Cette géométrie complexe du VD ne permet pas d'appliquer un modèle mathématique simple pour l'estimation des volumes comme pour le ventricule gauche (*tableau I*).

L'imagerie par résonnance magnétique (IRM) est actuellement considérée comme la méthode la plus fiable pour l'évaluation de la fraction d'éjection ventriculaire droite (FEVD) avec une valeur normale de $61 \pm 7\%$ (47-76 %) [1].

1. Fraction de raccourcissement de surface

Elle est obtenue par le rapport (surface télédiastolique-surface télésystolique)/surface télédiastolique en coupe apicale 4 cavités (*fig. 1*). Elle ne suppose aucune hypothèse de géométrie ventriculaire. Les valeurs normales varient de 46 à

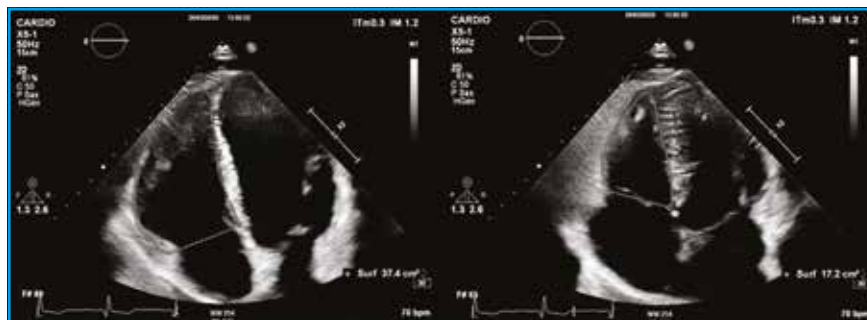


Fig. 1 : Exemple de calcul de fraction de raccourcissement de surface du VD ($(37,4-17,2)/37,4 = 54\%$).

Paramètres	Seuil	Avantages	Limites
Fraction de raccourcissement de surface	< 35 %	- Possible sur tous les échographes - Évaluation de la fonction longitudinale et radiale - Bonne corrélation avec la FEVD en IRM	- Reproductibilité moyenne - Ne prend pas en compte la contribution de la chambre de chasse VD dans la fonction VD globale
TAPSE	< 17 mm	- Simple et disponible sur tous les échographes - Reproductible - Marqueur pronostique établi dans plusieurs pathologies	- Très dépendant des conditions de charge - Angle-dépendant - Évalue seulement la fonction longitudinale du VD - Ne prend pas en compte les différences régionales dans la fonction systolique - Affecté par la translation et la rotation du cœur
S'	< 9,5 cm/sec	- Simple et disponible sur la majorité des échographes - Reproductible - Marqueur pronostique établi dans plusieurs pathologies	- Très dépendant des conditions de charge - Angle-dépendant - Évalue seulement la fonction longitudinale du VD - Ne prend pas en compte les différences régionales dans la fonction systolique - Peu de données chez les sujets âgés
Tei	> 0,53 en Doppler pulsé > 0,43 en Doppler tissulaire	- Disponible sur tous les échographes - Évaluation de la fonction VD globale - Indépendant de la fréquence cardiaque	- Non fiable si la pression auriculaire droite est élevée - Mesure indirecte de la fonction VD
dP/dT		- Disponible sur tous les échographes - Facile à obtenir - Reproductible	- Nécessite la présence d'une fuite tricuspide - Dépendant des conditions de charge - Non valide si fuite tricuspide laminaire - Rythme cardiaque irrégulier (méthode Doppler pulsé) - Moins validé que pour le VG
FEVD	< 45 %	- Reproductible - Bonne corrélation avec l'IRM - Valeur pronostique confirmée	- Faisabilité de 80 à 85 % - Nécessite des logiciels dédiés - Dépend de la qualité de l'image
Strain longitudinal global	> -20 %	Moins affecté par la translation et la rotation du cœur que les autres indices de fonction longitudinale	- Prend du temps - Moyennement reproductible - Valeur dépendante du constructeur
IVA	< 1,8 m/s ²	Indice semblant être le moins charge-dépendant	- Pas dans les recommandations actuelles - Peu d'études chez le sujet sain - Reproductibilité moyenne

Tableau I : Avantages et limites des différents paramètres échographiques permettant d'évaluer la fonction systolique VD.

52 % [2]. Il s'agit de l'une des méthodes de quantification de la fonction systolique VD recommandées, considérée comme anormale si sa valeur est inférieure à 35 %. **Elle mesure un rapport de surfaces et non de volumes.** Sa mesure est possible dans la majorité des cas. Elle est bien corrélée à la FEVD en IRM [3, 4].

L'existence de trabéculations peut rendre difficile la localisation de la pointe. Cette mesure reflète la fonction longitudinale et radiale du VD mais ne tient compte que de la chambre de remplissage du VD et ne prend pas en compte la contractilité de la chambre de chasse.

2. Excursion systolique de l'anneau tricuspide (TAPSE)

Elle est obtenue sur l'incidence apicale 4 cavités, en mode TM avec curseur au niveau de la jonction anneau tricuspide – paroi latérale du VD. Elle se mesure entre la télédiastole et la mésosystole (**fig. 2**).

Elle nécessite un alignement correct du curseur en mode M avec la jonction anneau tricuspide-paroi latérale du VD. Elle est bien corrélée à la FEVD isotopique [5].

Le TAPSE est un paramètre actuellement recommandé dans l'évaluation de

la fonction systolique du VD avec une valeur normale de 24 ± 4 mm, avec une limite inférieure à 17 mm, marquant un dysfonctionnement systolique du VD.

3. Vitesse systolique à l'anneau tricuspide

Elle est obtenue sur l'incidence apicale 4 cavités, en mode Doppler tissulaire avec curseur au niveau de la jonction anneau tricuspide-paroi latérale du VD [6].

Elle se mesure au pic de l'onde systolique S' (fig. 3). Elle est bien corrélée à la FEVD isotopique [5, 7]. Sa valeur normale est de $14,1 \pm 2,3$ cm/s et une valeur

Revue générale

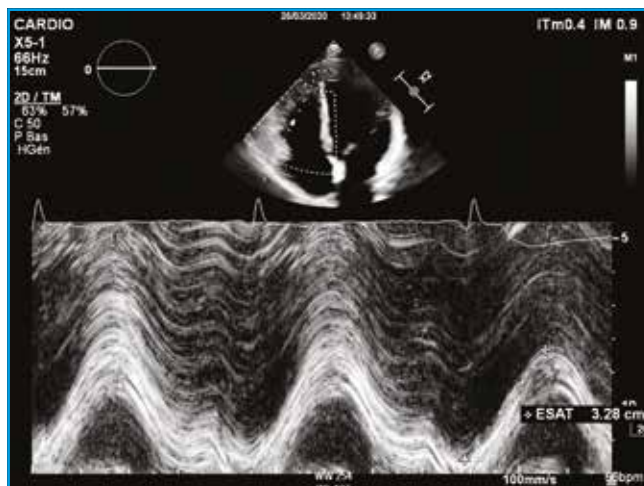


Fig. 2 : Exemple de mesure de l'excursion systolique de l'anneau tricuspidé (TAPSE).

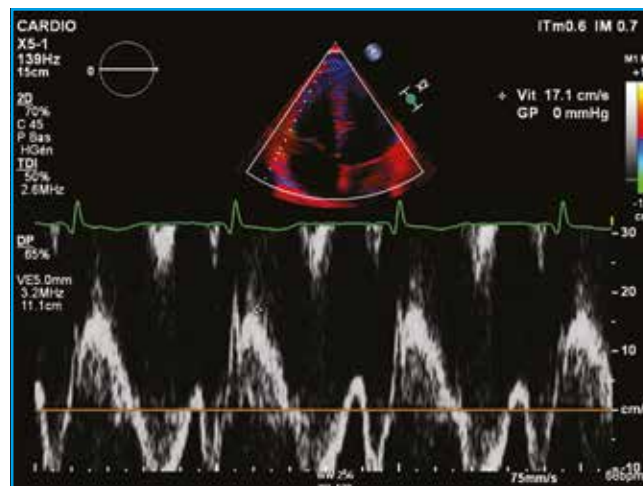


Fig. 3 : Vitesse systolique à l'anneau tricuspidé de l'onde S' en Doppler tissulaire.

inférieure à 9,5 cm/s doit faire suspecter une dysfonction systolique du VD.

4. Index de Tei ou index de performance myocardique

Cet index se définit comme le rapport (temps de contraction isovolumique + temps de relaxation isovolumique)/ temps d'éjection. Il représente un indice de performance VD globale, peu utilisé en pratique clinique.

Il est mesurable de deux façons [2, 8] :

>>> En Doppler pulsé : (a-b)/b où a est le temps séparant la fermeture de l'ouverture tricuspidé (sur le flux antérograde tricuspidé) et b la durée de l'éjection VD

(sur la voie d'éjection du VD). La valeur normale [2] est de 0,26 (fig. 4).

>>> En Doppler tissulaire sur la paroi latérale VD : le temps d'éjection correspond à la durée de l'onde systolique ; le temps de contraction isovolumique est mesuré entre la fin de l'onde a' et le début de l'onde S ; le temps de relaxation isovolumique est mesuré entre la fin de l'onde S et le début de l'onde e' (fig. 5). La valeur normale [2] est de 0,38 :

– un index de Tei > 0,43 en Doppler pulsé ou > 0,54 en Doppler tissulaire indique une dysfonction VD ;

– cet index dépend du niveau de pression artérielle pulmonaire, de la pression dans l'oreillette droite et de la relaxation VD.

5. Accélération myocardique isovolumique (IVA)

Elle se mesure au bord latéral de l'anneau tricuspidé en Doppler tissulaire pulsé en incidence apicale 4 cavités. L'accélération myocardique isovolumique correspond au rapport pic de contraction isovolumique/durée du début de la contraction isovolumique à son pic (fig. 5) [9, 10]. La valeur normale est supérieure à 2,2 m/s², une valeur inférieure à 1,8 m/s² indique une dysfonction VD.

6. dP/dt ventriculaire droit

Il correspond à la vitesse d'augmentation de la pression intraventriculaire

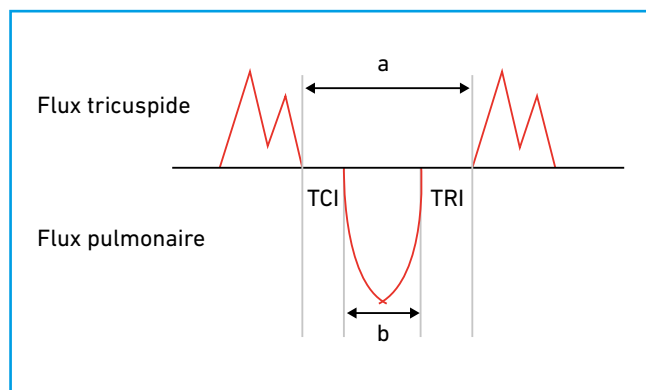


Fig. 4 : Exemple de mesure de l'indice de Tei par Doppler pulsé.

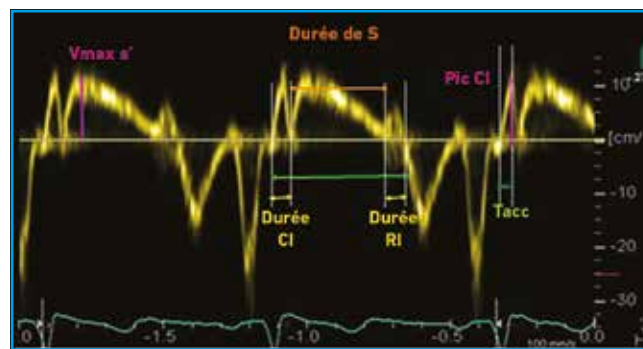


Fig. 5 : Exemple de mesure en Doppler tissulaire pulsé à l'anneau tricuspidé. CI : contraction isovolumique ; RI : relaxation isovolumique ; Vmax S' : vitesse systolique à l'anneau tricuspidé ; Tacc : temps d'accélération myocardique isovolumique.

POINTS FORTS

- Le volume télédiastolique VD étant supérieur au volume télédiastolique VG à volumes d'éjection identiques, la FEVD est inférieure à la FEVG.
- Tous les indices sont influencés par les conditions de charge.
- Les surfaces endocardiques sont irrégulières et trabéculées, rendant plus difficile la détermination du contour endocardique.
- En cas de suspicion de dysfonction VD, une approche multiparamétrique est indispensable pour évaluer la fonction ventriculaire droite.
- En cas de trouble de la cinétique segmentaire du VD, il convient de privilégier un indice de performance global plutôt que le TAPSE ou l'onde S' qui ne reflètent le déplacement que d'un seul segment.
- En cas de pression dans l'oreillette droite élevée, le temps de relaxation isovolumique est raccourci, l'indice de Tei peut être normal et faussement rassurant, et masquer ainsi une dysfonction VD.
- En cas de rythme cardiaque irrégulier, ne pas utiliser la méthode par Doppler pulsé mais plutôt la méthode par Doppler tissulaire pour le calcul de l'indice de Tei.

droite, mesurée sur le flux d'insuffisance tricuspide (IT) [11]. Elle correspond à la mesure du temps t que met le flux d'insuffisance tricuspide pour passer d'une vitesse de 1 à 2 m/s. La valeur normale du dp/dt est de 12/t (mmHg/s). Elle est non valide en cas d'IT avec flux laminaire [12]. Elle est pathologique si sa valeur est inférieure à 400 mmHg/s.

7. Strain longitudinal global de la paroi libre du VD

Il peut être obtenu en imagerie par *speckle-tracking* en incidence apicale 4 cavités centrée sur les cavités droites avec exclusion des 3 segments du septum interventriculaire [6]. La mesure se fait sur la moyenne des 3 segments (basal, médian et apical) (fig. 6).

La valeur moyenne est de $-29 \pm 4,5 \%$, elle est pathologique quand elle est supérieure à -20% .

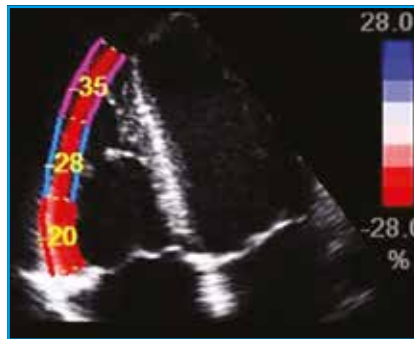


Fig. 6 : Exemple de *strain* longitudinal de la paroi libre du VD.

8. Fraction d'éjection ventriculaire droite tridimensionnelle (3D)

Elle permet de s'affranchir de la complexité géométrique du VD en prenant en compte l'ensemble des parois du VD. Elle nécessite une bonne expérience du 3D et un patient "échogène". Elle est bien corrélée avec la FEVD en IRM [13]. Elle se mesure par une approche semi-automatique de détection des contours du VD.

Les recommandations actuelles retiennent une valeur moyenne normale de FEVD [14] mesurée par échocardiographie 3D de 58 % (44-69 %) avec dysfonction VD si la FEVD 3D est inférieure à 45 %. Cette mesure est charge-dépendante. Les anomalies de cinétique du septum interventriculaire, une faible échogénicité et un rythme irrégulier rendent difficile l'acquisition 3D.

Évaluation de la fonction diastolique du ventricule droit

Elle peut être étudiée par l'analyse du flux de remplissage ventriculaire et par l'analyse des vitesses myocardiques à l'anneau tricuspide. Elle est peu utilisée en pratique clinique en raison du faible nombre de données dans la littérature.

1. Étude du flux tricuspide

Il s'enregistre en Doppler pulsé en incidence apicale 4 cavités en Doppler pulsé au sommet du bord libre des feuillets tricuspides [15]. Il comporte une onde protodiastolique E contemporaine de la relaxation VD et une onde télédiastolique A contemporaine de la systole auriculaire (flux similaire au flux transmitral). La respiration a une influence notable sur le flux tricuspide, il est préférable de moyenner au moins 5 cycles en respiration libre. Les valeurs normales sont de 50 ± 10 cm/s pour l'onde E et 30 ± 8 cm/s pour l'onde A, 200 ± 20 cm/s pour le temps de décélération de l'onde E. Les paramètres du flux tricuspide varient avec l'âge (le rapport E/A diminue de 0,1 par décennie) et en cas de tachycardie (qui est à l'origine d'une augmentation de l'onde E, d'une diminution de l'onde A et d'une diminution du rapport E/A). Ces mesures ne sont pas réalisables en cas de fibrillation atriale ou en cas de fuite tricuspide moyenne à sévère.

2. Doppler tissulaire à l'anneau tricuspide

Les vitesses protodiastoliques e' et télédiastolique a' peuvent être mesurées en

Revue générale

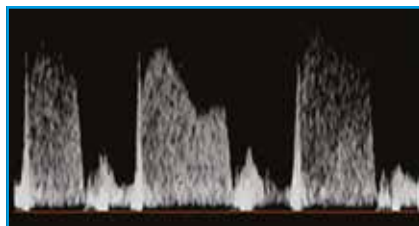


Fig. 7 : Exemple de dip-plateau sur un flux d'insuffisance pulmonaire.

Doppler pulsé tissulaire à l'anneau tricuspide (**fig. 5**) [2]. Un rapport $E/A < 0,8$ est en faveur d'un trouble de la relaxation. Un rapport E/A entre 0,8 et 2,1 associé à un rapport $E/e' > 6$ est en faveur d'un flux pseudo-normal. Un rapport $E/A > 2,1$ avec un temps de décélération < 120 ms est en faveur d'un flux restrictif.

3. Pression et surface de l'oreillette droite

L'estimation de la pression auriculaire droite fait partie de l'estimation des pressions de remplissage du VD. Celle-ci se fait par l'analyse du diamètre et des variations respiratoires de la veine cave inférieure.

4. Flux d'insuffisance pulmonaire

En cas de trouble de la compliance du VD, il existe une diminution mésodiastolique brutale de la vitesse de l'insuffisance pulmonaire correspondant à un "dip plateau" traduisant une adiaastolie. L'adiaastolie traduit une égalisation des pressions diastoliques entre l'artère pulmonaire et le VD. Elle s'accompagne d'une réduction du temps de demi-décroissance (< 150 ms) (**fig. 7**). L'adiaastolie se voit surtout en cas de constriction péricardique ou d'infarctus du VD.

BIBLIOGRAPHIE

1. HADDAD F, HUNT SA, ROSENTHAL DN *et al.* Right ventricular function in cardiovascular disease, part I: Anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle. *Circulation*, 2008; 117:1436-1448.
2. 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.
3. LAI WW, GAUVREAU K, RIVERA ES *et al.* Accuracy of guideline recommendations for two-dimensional quantification of the right ventricle by echocardiography. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2008;24:691-698.
4. ANAVEKAR NS, GERSON D, SKALI H *et al.* Two-dimensional assessment of right ventricular function: an echocardiographic-MRI correlative study. *Echocardiography*, 2007;24:452-456.
5. KUKULSKI T, HÜBBERT L, ARNOLD M *et al.* Normal regional right ventricular function and its change with age: a Doppler myocardial imaging study. *J Am Soc Echocardiogr*, 2000;13:194-204.
6. MOR-AVI V, LANG RM, BADANO LP *et al.* Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr*, 2011;12:167-205.
7. MELUZÍN 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; 22:340-348.
8. TEI C, DUJARDIN KS, HODGE DO *et al.* Doppler echocardiographic index for assessment of global right ventricular function. *J Am Soc Echocardiogr*, 1996; 9:838-847.
9. VOGEL M, SCHMIDT MR, KRISTIANSEN SB *et al.* Validation of myocardial acceleration during isovolumic contraction as a novel noninvasive index of right ventricular contractility: comparison with ventricular pressure-volume relations in an animal model. *Circulation*, 2002; 105:1693-1699.
10. LINDQVIST P, WALDENSTROM A, WIKSTROM G *et al.* The use of isovolumic contraction velocity to determine right ventricular state of contractility and filling pressures A pulsed Doppler tissue imaging study. *Eur J Echocardiogr*, 2005;6:264-270.
11. ANCONINA J, DANCHIN N, SELTON-SUTY C *et al.* Noninvasive estimation of right ventricular dP/dt in patients with tricuspid valve regurgitation. *Am J Cardiol*, 1993;71:1495-1497.
12. JURCUT R, GIUSCA S, LA GERCHE A *et al.* The echocardiographic assessment of the right ventricle: what to do in 2010? *Eur J Echocardiogr*, 2010;11:81-96.
13. GOPAL AS, CHUKWU EO, IWUCHUKWU CJ *et al.* Normal values of right ventricular size and function by real-time 3-dimensional echocardiography: comparison with cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr*, 2007;20: 445-455.
14. TAMBORINI G, MARSAN NA, GRIPARI P *et al.* Reference values for right ventricular volumes and ejection fraction with real-time three-dimensional echocardiography: evaluation in a large series of normal subjects. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010;23:109-115.
15. KLEIN AL, LEUNG DY, MURRAY RD *et al.* Effects of age and physiologic variables on right ventricular filling dynamics in normal subjects. *Am J Cardiol*, 1999; 84:440-448.

L'auteure a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.