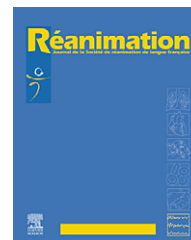


available at www.sciencedirect.comjournal homepage: <http://france.elsevier.com/direct/REAURG/>

MISE AU POINT

Évaluation des pressions de remplissage ventriculaire gauche par échocardiographie-doppler

Evaluation of left ventricular filling pressure using echocardiography Doppler

P. Vignon

Service de réanimation polyvalente, CHU Dupuytren, 2, avenue Martin-Luther-King, 87042 Limoges cedex, France

Disponible sur internet le 13 mars 2007

MOTS CLÉS

Échocardiographie ;
Doppler ;
Insuffisance respiratoire
aiguë ;
Pression ventriculaire
gauche ;
Diastole

Résumé L'évaluation des pressions de remplissage du ventricule gauche (VG) est essentielle pour déterminer une éventuelle participation cardiaque à un tableau d'insuffisance respiratoire aiguë. Elle repose traditionnellement sur la mesure invasive de la pression artérielle pulmonaire d'occlusion par cathétérisme droit. L'échocardiographie-doppler est une alternative avantageuse qui fournit en outre des informations anatomiques et fonctionnelles sur le cœur et les gros vaisseaux. Le doppler pulsé appliqué à la valve mitrale et aux veines pulmonaires fournit des indices simples à mesurer qui permettent d'évaluer de manière semi-quantitative le niveau des pressions de remplissage du VG. Leur précision s'accroît s'il existe une dysfonction systolique du VG. Les nouveaux indices doppler qui évaluent plus spécifiquement les propriétés diastoliques du VG (doppler tissulaire à l'anneau mitral, vitesse de propagation en TM couleur) peuvent être combinés aux paramètres doppler classiques pour affiner cette évaluation. L'échocardiographie permet également une analyse complète de la fonction de chaque ventricule, l'identification d'une cardiopathie gauche ou droite, voire une pathologie du cœur ou des gros vaisseaux à l'origine de l'épisode d'insuffisance respiratoire aiguë. C'est pourquoi, l'échocardiographie-doppler est un examen de première ligne essentiel dans la prise en charge des patients admis en réanimation pour défaillance respiratoire. Elle est particulièrement utile dans la démarche diagnostique face à un patient insuffisant respiratoire chronique ayant une cardiopathie associée, pour confirmer ou infirmer l'origine cardiogénique d'un œdème pulmonaire hypoxémiant, ou encore pour identifier une participation cardiaque à un échec de sevrage du respirateur.

© 2007 Société de réanimation de langue française. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

Echocardiography;
Doppler;

Abstract The evaluation of left ventricular (LV) filling pressures is crucial to identify a congestive heart failure in a patient presenting with an acute respiratory failure. This evaluation traditionally relies on the invasive measurement of the pulmonary artery occlusion pressure during right heart catheterization. Echocardiography Doppler is an unparalleled alternative

Adresse e-mail : philippe.vignon@unilim.fr (P. Vignon).

Acute respiratory failure;
Left ventricular filling pressure;
Diastole

technique to assess LV filling pressures, which also provides anatomical and functional information on the heart and great vessels. Pulsed wave Doppler of the mitral valve and pulmonary veins provides indices that are easy to measure and allow a semi-quantitative assessment of LV filling pressures. Their accuracy increases in the presence of a LV systolic dysfunction. New Doppler indices, which assess more specifically LV diastolic properties (Doppler Tissue Imaging of the mitral ring, color M-mode propagation velocity) can be combined to traditional Doppler parameters to more precisely assess LV filling pressures. In addition, echocardiography allows a comprehensive assessment of both the left and right ventricular function, the diagnosis of an underlying cardiopathy, or the identification of an acute condition of the heart or great vessels that precipitated the acute respiratory failure. Accordingly, echocardiography Doppler is a cornerstone in the evaluation of patients presenting to the intensive care unit with a respiratory failure and a high index of suspicion of pulmonary venous congestion. This imaging modality is particularly valuable for the evaluation of patients with a medical history of chronic respiratory failure and cardiac failure, to confirm or confidently rule out a cardiogenic pulmonary edema, or to identify a cardiac source of ventilator weaning failure.

© 2007 Société de réanimation de langue française. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Introduction

L'évaluation des pressions de remplissage du ventricule gauche (VG) est fréquemment nécessaire en réanimation. Elle a été longtemps utilisée pour évaluer les besoins en remplissage vasculaire chez les patients en défaillance circulatoire. Cependant, ces mesures hémodynamiques « statiques » ne permettent pas de prédire de manière fiable la réponse au remplissage vasculaire [1]. La raison en est double : la courbe pression/volume diastolique du VG n'est pas linéaire mais curvilinéaire ; les patients hospitalisés en réanimation ont fréquemment une cardiopathie sous-jacente et une compliance du VG diminuée. C'est pourquoi, l'évaluation des pressions de remplissage du VG est essentiellement utile pour identifier une congestion veineuse pulmonaire face à un tableau d'insuffisance respiratoire aiguë [2]. Il s'agit le plus souvent d'une défaillance respiratoire survenant chez un patient aux antécédents de bronchopneumopathie chronique obstructive et de cardiopathie, d'un œdème pulmonaire hypoxémiant (distinction entre œdème pulmonaire cardiogénique et lésionnel), ou d'un échec de sevrage du respirateur.

La mesure de référence pour l'évaluation des pressions de remplissage du VG est la pression télédiastolique du VG obtenue par cathétérisme gauche. Elle n'est pas accessible en réanimation où la mesure de la pression artérielle pulmonaire d'occlusion (PAPO) par cathétérisme droit est habituellement utilisée comme succédané.

L'échocardiographie-doppler est une méthode moins invasive qui fournit en outre des informations morphologiques et fonctionnelles sur le cœur et les gros vaisseaux, et bénéficie de progrès technologiques incessants [3].

Cet article a pour but :

- de décrire la méthode d'évaluation des pressions de remplissage du VG à l'aide de l'effet Doppler ;
- de présenter les principales études cliniques de validation ;
- de proposer une mise en application de cette approche pour l'évaluation des patients de réanimation en insuffisance respiratoire aiguë.

Pourquoi utiliser l'échocardiographie-doppler ?

L'échocardiographie est la seule modalité d'imagerie qui permette de visualiser en temps réel le fonctionnement du cœur au lit du patient, où qu'il se trouve. Le doppler spectral permet d'enregistrer la vitesse de déplacement des globules rouges à travers les différents orifices anatomiques (Fig. 1). En l'absence de sténose, les vitesses Doppler dépendent du gradient de pression de part et d'autre de l'orifice où elles sont enregistrées. Ainsi, le profil des vitesses Doppler enregistrées à l'extrémité de la valve mitrale en diastole et dans les derniers centimètres des veines pulmonaires fournit des informations sur les pressions de remplissage des cavités cardiaques gauches (Fig. 2). Cependant, les vitesses Doppler mitrales et veineuses pulmonaires sont également influencées par de nombreux autres paramètres, notamment les propriétés diastoliques du VG, la fréquence cardiaque et l'âge (Fig. 3).

Plus récemment, d'autres méthodes Dopplers ont été proposées [4]. Il s'agit du doppler tissulaire qui permet de mesurer les vitesses de déplacement de l'anneau mitral en diastole et du doppler couleur en mode temps-mouvement qui permet de mesurer la vitesse de propagation du courant protodiastolique dans la cavité du VG (Fig. 4). Ces nouveaux indices Doppler pourraient être moins dépendants des conditions de charge que les paramètres obtenus en doppler spectral. Ils refléteraient donc plus fidèlement les propriétés diastoliques du VG. C'est pourquoi, leur combinaison avec les indices Doppler spectral est susceptible d'améliorer la précision de l'évaluation des pressions de remplissage du VG.

Études de validation

Les études de validation ont comparé les valeurs de certains paramètres Doppler aux mesures de pression invasives utilisées comme référence chez le gros animal et chez l'homme. Les études cliniques ont été pratiquées initialement en cardiologie chez des patients en ventilation spontanée, pour la plupart insuffisants cardiaques. Elles ont

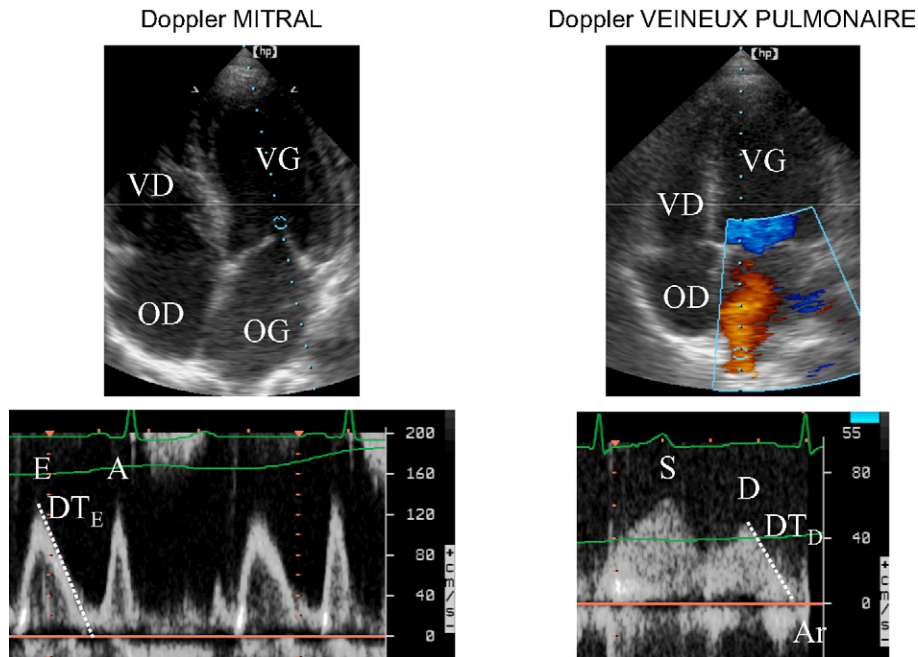


Figure 1 On utilise le doppler pulsé guidé par l'imagerie bidimensionnelle pour localiser précisément l'enregistrement des vitesses de déplacement des globules rouges dans le massif cardiaque (en haut, ligne surimposée à l'image avec sa « fenêtre »). Appliqué à l'orifice mitral (à gauche) et aux veines pulmonaires (à droite), le doppler pulsé enregistre des profils de vitesses caractéristiques (en bas). À partir du profil Doppler mitral enregistré chez un patient en rythme sinusal, on mesure plusieurs paramètres dont la vitesse maximale de l'onde E (protodiastolique, contemporaine du remplissage ventriculaire rapide) et de l'onde A (télédiastolique, contemporaine de la systole auriculaire), le temps de décélération de l'onde E (DT_E) et la durée de l'onde A. À partir du profil veineux pulmonaire, on mesure plusieurs paramètres dont la vitesse maximale de l'onde S (systolique) et de l'onde D (diastolique), les intégrales temps-vitesse de ces ondes, le temps de décélération de l'onde D (DT_D), la durée de l'onde Ar (onde rétrograde contemporaine de la systole auriculaire). Certaines de ces mesures sont combinées pour aboutir à un paramètre Doppler (E/A, S/D...). Abréviations : VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit ; OG : oreillette gauche ; OD : oreillette droite.

ensuite été étendues aux patients de réanimation sous ventilation mécanique.

Approches méthodologiques

Bien que le cathétérisme droit soit une procédure invasive qui expose à certaines complications [5] et que les sources d'erreur dans la mesure de la PAPO soient nombreuses [6], cette technique demeure la méthode de référence pour la mesure de la PAPO. Dans certaines études pratiquées chez des malades de cardiologie, la pression télédiastolique du VG ou la pression diastolique du VG avant la systole auriculaire mesurées par cathétérisme gauche ont été prises comme valeur de référence.

La première approche méthodologique a été de tenter de prédire la valeur absolue de PAPO à l'aide de paramètres Doppler combinés dans des équations plus ou moins complexes [7]. Cette approche quantitative est lourde à utiliser. La seconde approche méthodologique a été de déterminer des valeurs seuils de paramètres Doppler spectral, isolées ou combinées à un nouvel indice Doppler, pour prédire un niveau de PAPO invasive. Cette approche semi-quantitative doit être privilégiée en réanimation. Le nombre d'études de validation de l'échocardiographie-doppler pour la prédiction de la PAPO invasive est plus important dans le domaine de la cardiologie que de la réanimation [7].

Études de validation conduites en cardiologie

Ces études concernent principalement des patients cardiopathes bénéficiant d'un cathétérisme gauche et examinés en ventilation spontanée. La plupart des études ont eu une approche quantitative et ont montré une relation linéaire entre certains indices Doppler spectral et la pression de remplissage du VG mesurée de manière invasive. Globalement, la corrélation linéaire entre valeurs prédites par doppler et mesurées par cathétérisme était plus étroite pour des niveaux élevés de PAPO, où la dysfonction systolique du VG est fréquente, que pour des niveaux bas de PAPO [8,9]. Le manque de précision pour prédire les valeurs basses de PAPO (< 12 mmHg) n'est pas cliniquement pertinent. En effet, pouvoir prédire qu'une PAPO est à 5 mmHg ou à 10 mmHg n'a généralement que peu d'impact sur la prise en charge d'un patient. Inversement, la fiabilité de la prédiction de valeurs élevées de PAPO est fondamentale dans la démarche diagnostique et thérapeutique face à un patient en insuffisance respiratoire aiguë.

L'approche semi-quantitative a l'avantage de sa simplicité puisque l'évaluation des pressions de remplissage du VG repose sur des mesures isolées de paramètres Doppler. À titre indicatif, le Tableau 1 liste les valeurs seuils de quelques indices Doppler utilisables pour prédire le niveau de PAPO invasive. La plupart de ces indices sont moins performants si

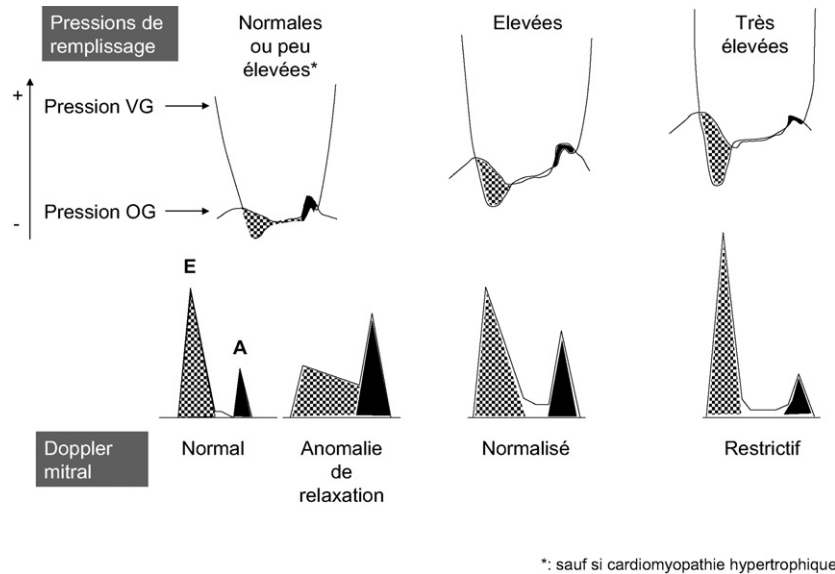


Figure 2 Influence des pressions de remplissage et des propriétés diastoliques du ventricule gauche sur le profil Doppler mitral. Le gradient de pression entre l'oreillette et le ventricule gauche en diastole conditionne l'amplitude respective des ondes E et A (aires sous les profils de vitesses). Le profil Doppler mitral normal est caractérisé par un remplissage ventriculaire rapide (onde E) prépondérant. En cas d'anomalie de relaxation du ventricule gauche, le remplissage lié à la systole auriculaire (onde A) devient prépondérant, mais les pressions de remplissage restent en général peu élevées, sauf en cas de cardiomyopathie hypertrophique. Lorsque la dysfonction diastolique du ventricule gauche devient plus sévère, les pressions de remplissage augmentent et rétablissent la prépondérance du remplissage rapide, d'où le nom de profil « normalisé ». À un stade évolué de dysfonction diastolique du ventricule gauche (dysfonction systolique fréquemment associée et compliance effondrée), les pressions de remplissage deviennent très élevées et entraînent une restriction au remplissage du ventricule gauche (profil Doppler restrictif). Abréviations : VG : ventricule gauche ; OG : Oreillette gauche.

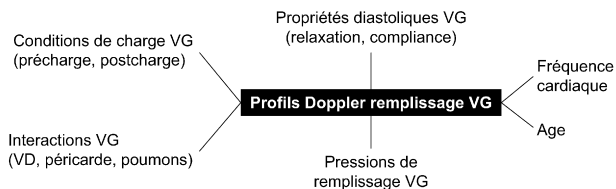


Figure 3 Principaux facteurs influençant le profil Doppler de remplissage du ventricule gauche. Les pressions de remplissage ne sont que l'un d'entre eux. Abréviations : VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit.

la fonction systolique du VG est conservée [17], situation rare dans un contexte clinique évocateur de congestion veineuse pulmonaire [18]. La combinaison des paramètres Doppler spectral et des nouveaux indices Doppler a également certaines limites pour l'évaluation semi-quantitative des pressions de remplissage du VG. En particulier, la mesure de la vitesse de propagation du courant protodiastolique dans le VG (V_p) est moins reproductible que celle de la vitesse maximale de l'onde protodiastolique recueillie en doppler tissulaire à l'anneau mitral (E') et l'interprétation du rapport E/V_p reste difficile entre 1,5 et 2,5.

Études de validation conduites en réanimation

En réanimation, les quelques études réalisées chez les patients ventilés ont utilisé le doppler pulsé seul [19,20], couplé au doppler tissulaire [21-23], ou couplé au doppler TM couleur [21,23]. Toutes ces études ont eu une approche

semi-quantitative et ont utilisé la mesure de la PAPO par cathétérisme droit comme méthode de référence. La prédiction d'une PAPO inférieure ou égale à 18 mmHg, critère hémodynamique actuellement retenu pour le diagnostic de syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA) [24], n'a été que peu étudiée [19,20,23].

La précision diagnostique d'indices Doppler simples pour prédire le niveau de pression de remplissage du VG est résumée dans le Tableau 2. Là encore, la combinaison avec les nouveaux indices Doppler a certaines limites. La mesure de V_p reste la moins reproductible [21,23] et l'interprétation du rapport E/E' est difficile entre 10 et 15 (Tableau 2). Plusieurs explications sont possibles. Certains de ces nouveaux indices Doppler semblent influencés par de fortes et rapides variations de précharge, comme celles observées dans certains modèles animaux [28] et dans certaines circonstances cliniques [29-31]. De plus, les vitesses Doppler tissulaires enregistrées à l'anneau mitral peuvent être influencées par la présence d'une anomalie de contraction segmentaire touchant les segments basaux du VG, notamment au niveau de sa paroi latérale.

Cas particuliers des patients en fibrillation auriculaire

La fibrillation auriculaire rend caduque l'utilisation de la plupart des indices Doppler en raison de la durée variable des diastoles et de la perte de la systole auriculaire qui modifie le profil Doppler [32]. Néanmoins, des indices Doppler simples et robustes ont été proposés dans ce

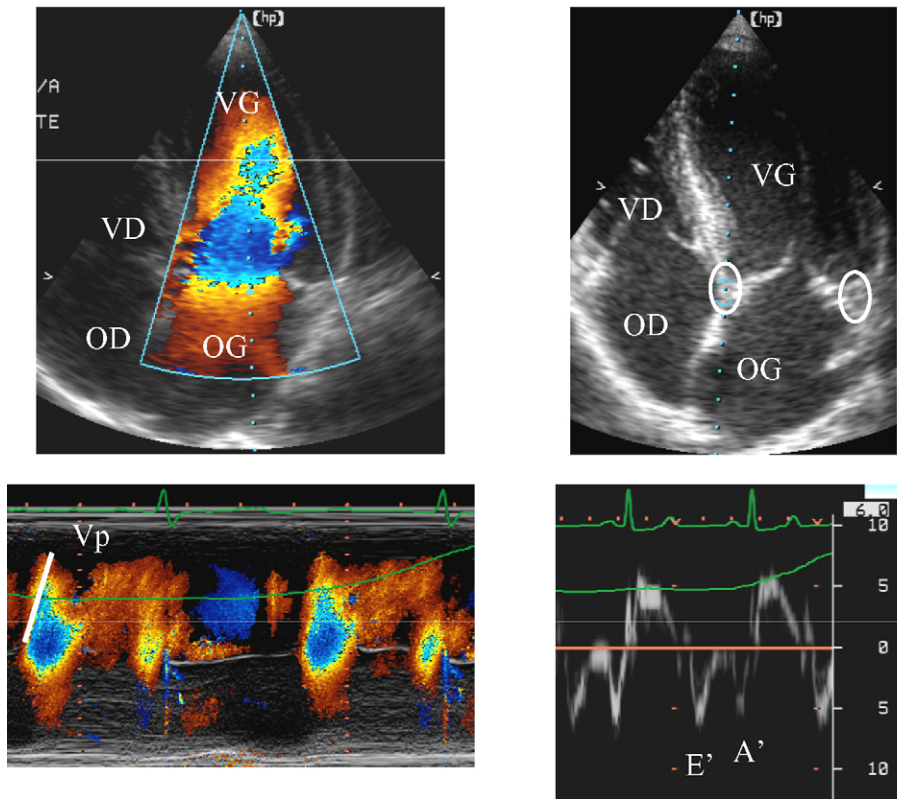


Figure 4 Nouveaux outils Doppler utilisés pour évaluer les propriétés diastoliques et les pressions de remplissage du ventricule gauche, ici présentés en vue apicale des quatre cavités cardiaques (en haut). La cartographie Doppler couleur couplée au mode M (à gauche) permet de mesurer la vitesse de propagation du courant protodiastolique entrant dans la cavité ventriculaire (Vp). Le doppler tissulaire pulsé appliqué à l'anneau mitral (ronds blancs, à droite) permet d'enregistrer les faibles vitesses de déplacement du myocarde, en particulier en protodiastole (onde E') et en télédiastole (onde A'). Abréviations : VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit ; OG : oreillette gauche ; OD : oreillette droite.

Tableau 1 Exemples de valeurs seuils proposées pour certains indices Doppler afin de prédire de manière semi-quantitative le niveau de pression de remplissage du ventricule gauche chez des patients de cardiologie en ventilation spontanée

Paramètres Doppler	Valeur seuil	Pression de remplissage VG prédite (mmHg)	Sensibilité	Spécificité
E/A	≥ 2	≥ 20	43 %	99 % [10] ^a
TD _E	< 120 ms	≥ 20	100 %	99 % [10] ^a
Durée Ar - A mitrale ^b	> 0 ms	> 15	85 %	79 % [11]
		> 19	82 %	92 % [12]
Fraction systolique ^c	< 40 %	> 18	-	- [11]
	< 36 %	≥ 18	90 %	85 % [13]
TD _D	≤ 160 ms	≥ 18	97 %	96 % [14]
E/E'	> 10	> 15	97 %	78 % [15]
E/Vp	$\geq 2,5$	> 15	86 %	85 % [16]

VG : ventricule gauche ; TD_E : temps de décélération de l'onde E mitrale ; Ar : onde A rétrograde contemporaine de la systole auriculaire enregistrée dans la veine pulmonaire ; TD_D : temps de décélération de l'onde D pulmonaire ; E' : onde protodiastolique recueillie en doppler tissulaire à l'anneau mitral ; Vp : vitesse de propagation du courant protodiastolique dans le ventricule gauche mesuré en mode TM couleur.

^a Patients insuffisants cardiaques.

^b Paramètre indépendant de l'âge.

^c ITV onde S/ITV onde S + ITV onde D exprimé en pourcentage (doppler veineux pulmonaire ; ITV : intégrale temps-vitesse).

contexte particulier pour évaluer de manière semi-quantitative les pressions de remplissage du VG (Tableau 3).

Applications cliniques

L'évaluation non invasive des pressions de remplissage du VG est indispensable dans toutes les circonstances cliniques

où une congestion veineuse pulmonaire est suspectée à l'origine d'une insuffisance respiratoire aiguë ou d'un échec de sevrage du respirateur. Dans le cadre d'un œdème pulmonaire hypoxémiant, l'évaluation cherche à déterminer la valeur de PAPO par rapport au seuil de 18 mmHg qui proposé dans la définition actuelle du SDRA [24].

Tableau 2 Exemples de valeurs seuils proposées pour certains indices Doppler afin de prédire de manière semi-quantitative le niveau de pression de remplissage du ventricule gauche chez des patients de réanimation ou en peropératoire de chirurgie cardiaque

Paramètres Doppler	Valeur seuil	Pression de remplissage VG prédite (mmHg)	Sensibilité	Spécificité	Valeur prédictive positive
E/A	> 2	> 18	-	-	100 % [19] ^{b,c}
Fraction systolique ^a	< 55 %	> 15	91 %	87 %	- [25]
	< 40 %	> 18	-	-	55 % [19] ^{b,c}
	≤ 40 %	≥ 18	100 %	100 %	100 % [20] ^{b,c}
	≤ 44 %	> 18	85 %	88 %	- [23] ^{b,c}
TD _D	< 175 ms	≥ 18	100 %	94 %	- [26] ^b
E/E'	> 15	> 15	86 %	88 %	- [27] ^c
	> 7	≥ 13	86 %	92 %	- [21] ^{b,c}
	> 7,5	≥ 15	86 %	81 %	- [22] ^{b,c}
	> 9,5	> 18	100 %	86 %	- [23] ^{b,c}
E/Vp	> 2	≥ 13	-	-	- [21] ^{b,c}
	> 2,6	> 18	100 %	86 %	- [23] ^{b,c}

VG : ventricule gauche ; TD_D : temps de décélération de l'onde D pulmonaire ; E' : onde protodiastolique recueillie en doppler tissulaire à l'anneau mitral (paroi latérale) ; Vp : vitesse de propagation du courant protodiastolique dans le ventricule gauche mesuré en mode TM couleur.

^a ITV onde S /ITV onde S + ITV onde D exprimé en pourcentage (doppler veineux pulmonaire ; ITV : intégrale temps-vitesse).

^b Patients ventilés.

^c Patients de réanimation.

Tableau 3 Exemples de valeurs seuils proposées pour certains indices Doppler afin de prédire de manière semi-quantitative le niveau de pression de remplissage du ventricule gauche chez les patients en fibrillation auriculaire

Paramètres Doppler	Valeur seuil	Pression de remplissage VG prédite (mmHg)	Sensibilité (%)	Spécificité (%)
TD _E	< 150 ms	> 15	71	100 [33]
	< 120 ms	≥ 20	100	96 [34]
TD _D	> 220 ms	≤ 12	100	100 [35]
E/E'	> 10	≥ 15	75	93 [36]
E/Vp	≥ 1,4	> 15	71	88 [33]

VG : ventricule gauche ; TD_E : temps de décélération de l'onde E mitrale ; TD_D : temps de décélération de l'onde D pulmonaire ; E' : onde protodiastolique recueillie en doppler tissulaire à l'anneau mitral ; Vp : vitesse de propagation du courant protodiastolique dans le ventricule gauche mesuré en mode TM couleur.

Tableau 4 Critères diagnostiques d'insuffisance cardiaque diastolique [38]

Critères diagnostiques	Méthodes diagnostiques
Signes francs d'insuffisance cardiaque congestive ^a	<ul style="list-style-type: none"> • Symptômes et signes cliniques • Radiographie thoracique compatible • Réponse favorable aux diurétiques • Avec/sans la documentation d'une élévation des pressions de remplissage du ventricule gauche
ET	
Preuve d'une fonction systolique du ventricule gauche normale à proximité de la poussée d'insuffisance cardiaque	Fraction d'éjection du ventricule gauche ≥ 50 % dans les 72 heures suivant la poussée d'insuffisance cardiaque
ET	
Preuve d'une dysfonction diastolique du ventricule gauche	Indices anormaux lors du cathétérisme cardiaque gauche ^b

^a La forme la plus sévère de congestion veineuse pulmonaire étant l'œdème pulmonaire cardiogénique.

^b Si ce critère manque, la dysfonction diastolique n'est que probable ; si de plus la fraction d'éjection normale du ventricule gauche n'est mesurée qu'à distance de l'épisode aiguë, la dysfonction diastolique est qualifiée de « possible ».

Algorithme diagnostique face à un œdème pulmonaire

Le diagnostic d'œdème pulmonaire cardiogénique repose sur l'existence d'une élévation des pressions de remplissage du VG dans un contexte clinique évocateur, et non sur la présence d'une dysfonction systolique du VG [18]. En effet, la fonction systolique du VG n'est pas discriminante

dans ce contexte clinique, car elle peut être préservée, voire augmentée en présence d'un œdème pulmonaire cardiogénique (par exemple, insuffisance mitrale aiguë volumineuse). De même, une dysfonction systolique du VG peut être précocement observée chez un patient ventilé pour un SDRA (par exemple, choc septique). Chez les patients admis en réanimation avec un infiltrat radiologique bilatéral et une hypoxémie, un algorithme diagnostique

fondé sur une évaluation par échocardiographie-doppler peut être proposé (Fig. 5). Lorsque l'échocardiographie met en évidence une dysfonction systolique du VG, elle permet de quantifier cette dysfonction et d'identifier une éventuelle cardiopathie sous-jacente. Dans cette situation, la pertinence clinique des anomalies identifiées doit être soigneusement évaluée afin de déterminer leur imputabilité dans l'œdème pulmonaire observé (par exemple, valvulopathie chronique).

Lorsque la fonction systolique du VG est conservée et les pressions de remplissage sont élevées, une insuffisance cardiaque aiguë à haut débit doit être éliminée, en particulier une surcharge volémique iatrogène ou une régurgitation valvulaire aiguë sévère [37]. L'absence de dilatation des cavités cardiaques gauches constatée en échocardiographie plaide en faveur d'une surcharge volémique aiguë. Le niveau d'hypertension artérielle pulmonaire qui est évalué en doppler continu à partir de l'insuffisance tricuspide excède rarement 60 mmHg de systolique, car le ventricule droit ne peut pas générer des pressions plus élevées en situation aiguë. Enfin, l'échocardiographie peut directement identifier la cause de la surcharge volémique aiguë du VG (par exemple, endocardite, rupture de muscles papillaires ou de cordage mitral) et en confirme la sévérité [18].

Lorsqu'une insuffisance cardiaque congestive et une insuffisance cardiaque à haut débit ont été éliminées par échocardiographie, le diagnostic d'exclusion face à un œdème pulmonaire est la dysfonction diastolique pure et sévère du VG (Fig. 5). Cette situation clinique est généralement rencontrée chez des patients âgés et hypertendus admis en œdème pulmonaire suraigu dans un contexte de poussée hypertensive [37]. Des critères diagnostiques standardisés de dysfonction diastolique du VG ont été récemment proposés [38] et sont résumés dans le Tableau 4. L'échocardiographie-doppler permet d'identifier la dys-

fonction diastolique du VG à l'aide, notamment des nouveaux indices Doppler [4] : diminution de la vitesse maximale de l'onde E' enregistrée à l'anneau mitral (< 8,5 cm/sec) et/ou diminution de la vitesse de propagation protodiastolique du courant sanguin entrant dans le VG ($V_p < 45$ cm/sec). De plus, l'échocardiographie peut identifier la cardiomyopathie responsable de la dysfonction diastolique (par exemple, hypertrophie du VG). Pour un rendement diagnostique maximal, l'échocardiographie-doppler doit être réalisée le plus précocement possible, au mieux lorsque les symptômes sont encore présents [18], car les pressions de remplissage du VG peuvent varier rapidement en réponse aux variations de condition de charge induites par le traitement (diurétiques, dérivés nitrés, ventilation mécanique...) (Fig. 6). Dans ce contexte d'œdème pulmonaire hypertensif à fonction systolique conservée, l'existence d'un facteur déclenchant tel qu'un accès de fibrilla-

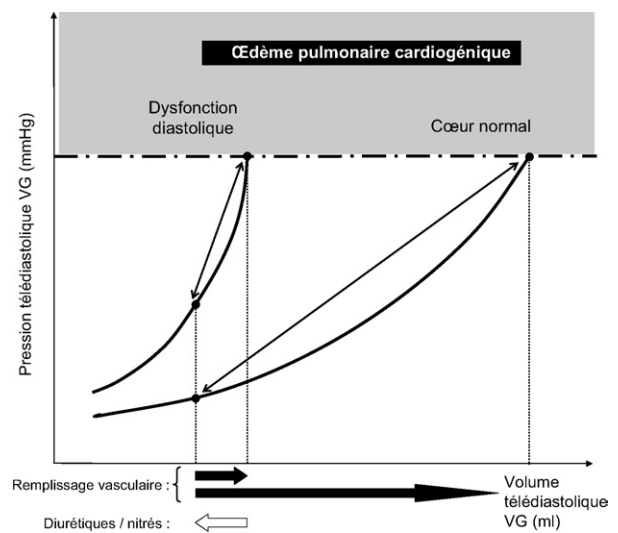


Figure 6 Exemples de courbes pression/volume diastoliques d'un cœur peu compliant qui a une relaxation prolongée (par exemple, hypertrophie ventriculaire gauche) et d'un cœur normal pour comparaison. Pendant la diastole, le sang remplit une plus petite cavité avec une pression plus élevée en cas d'hypertrophie ventriculaire gauche, car la courbe pression/volume diastolique est décalée en haut et à gauche comparée au cœur normal. Ainsi, en cas de dysfonction diastolique sévère, l'administration d'un faible volume de remplissage vasculaire peut rapidement conduire à un œdème pulmonaire cardiogénique (flèche courte). Inversement, une expansion volémique beaucoup plus importante serait nécessaire pour qu'un ventricule gauche normal atteigne un niveau de pression de remplissage compatible avec la survenue d'un œdème pulmonaire (flèche noire longue). L'accentuation de la pente de la courbe pression/volume liée à la dysfonction diastolique du ventricule gauche explique qu'un traitement qui réduit la précharge (diurétiques, nitrés) peut rapidement normaliser les pressions de remplissage du ventricule gauche (flèche blanche). Dans ce cas, le diagnostic d'œdème pulmonaire secondaire à une dysfonction diastolique est plus difficile (voir texte pour détails). Les doubles flèches indiquent « l'index thérapeutique » du remplissage vasculaire selon les caractéristiques des courbes pression/volume diastoliques du ventricule gauche.

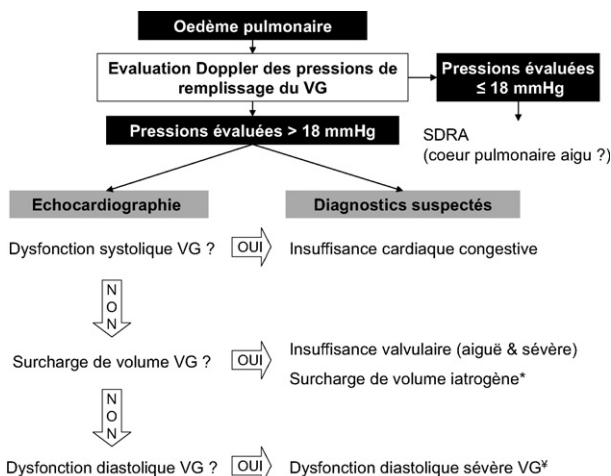


Figure 5 Algorithme diagnostique proposé pour identifier le mécanisme et la cause potentielle d'un œdème pulmonaire hypoxémiant chez un patient ayant un infiltrat radiologique bilatéral à l'aide de l'échocardiographie-doppler. *: généralement associé à une oligurie (insuffisance rénale) ; ‡: les critères diagnostiques de dysfonction diastolique doivent être tous présents (voir texte pour détails). Abréviations : VG : ventricule gauche ; SDRA : syndrome de détresse respiratoire aiguë.

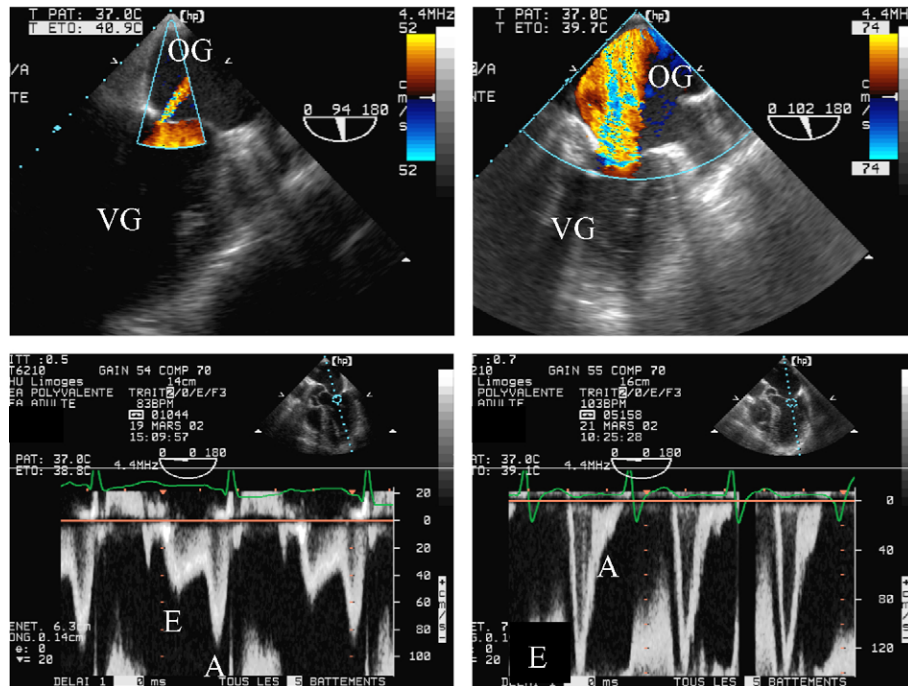


Figure 7 Exemple d'insuffisance mitrale ischémique aiguë identifiée en échocardiographie transœsophagienne au décours d'un échec d'épreuve de pièce en T. Ce patient a été ventilé pour œdème pulmonaire cardiogénique. Sous respirateur (à gauche), on note une insuffisance mitrale négligeable centrale en doppler couleur (en haut) et un profil Doppler mitral en faveur d'une dysfonction diastolique sans élévation des pressions de remplissage (en bas). L'épreuve de pièce en T échoue rapidement en raison de la réapparition d'un œdème pulmonaire. Ce nouvel épisode est lié à l'apparition d'une insuffisance mitrale aiguë sévère (à droite) rapidement identifiée en doppler couleur (en haut) et à l'origine d'une élévation brutale et importante des pressions de remplissage du ventricule gauche reflétée par un profil Doppler mitral restrictif (en bas).

tion auriculaire ou un remplissage vasculaire abusif même minime suggèrent l'existence d'une dysfonction diastolique du VG sévère [38]. Sa fréquence peut atteindre 38 % des patients hospitalisés pour insuffisance cardiaque aiguë [39]. L'éventualité d'une dysfonction systolique du VG transitoire ou d'une insuffisance mitrale transitoire est faible dans ce contexte clinique [40].

Évaluation d'un échec de sevrage du ventilateur

Le sevrage de la ventilation mécanique entraîne une modification des conditions de charge du VG qui sont défavorables en cas de dysfonction systolique. De plus, l'augmentation de la consommation en oxygène liée à la sollicitation des muscles respiratoires peut favoriser l'apparition d'une ischémie myocardique. Celle-ci à son tour peut être à l'origine d'une élévation de la pression veineuse pulmonaire en induisant une insuffisance cardiaque congestive ou une insuffisance mitrale aiguë liée à une dysfonction de pilier (Fig. 7). C'est pourquoi, chez les patients à risque, l'échocardiographie-doppler est très utile pour tenter de prédire un échec du sevrage du respirateur secondaire à une poussée d'insuffisance cardiaque congestive.

Un examen complet de référence doit être réalisé chez le patient éveillé, en position demi-assise et souvent en aide inspiratoire. L'examen peut être répété au terme d'une épreuve sur tube en T de 30 minutes, même si le patient remplit les critères pour être extubé. La constata-

tion d'une élévation des pressions de remplissage du VG jugée sur les indices Doppler, tout comme l'apparition ou la majoration d'une insuffisance mitrale pertinente, doivent rendre prudent (Fig. 7). L'épreuve sur tube en T peut alors être prolongée, par exemple sur une durée de deux heures [41], afin de s'assurer que le patient reste asymptomatique avant de l'extuber. Un traitement visant à réduire la pression veineuse pulmonaire s'impose si le patient est symptomatique. Dans le cas contraire, l'intérêt d'instaurer un tel traitement n'est actuellement pas démontré.

Conclusion

L'échocardiographie-doppler est l'examen fondamental à réaliser en première ligne afin d'évaluer les patients admis en réanimation pour insuffisance respiratoire aiguë (œdème pulmonaire, exacerbation d'insuffisance respiratoire chronique). Cet examen est également très utile pour guider la prise en charge des patients à haut risque d'échec d'extubation au moment du sevrage du respirateur. Dans tous les cas, l'échocardiographie-doppler permet d'évaluer de manière semi-quantitative le niveau des pressions de remplissage des cavités cardiaques gauches, d'identifier le mécanisme de l'hyperpression veineuse pulmonaire, voire sa cause, et souvent de guider la prise en charge thérapeutique. Outre l'évaluation des patients en insuffisance circulatoire aiguë, cette autre indication fondamentale de l'échocardiographie-doppler plaide en faveur

de sa plus large diffusion dans les services de réanimation et pour la formation des utilisateurs potentiels.

Références

- [1] Bendjelid K, Romand JA. Fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: a review of indices used in intensive care. *Intensive Care Med* 2003;29:352-60.
- [2] Vignon P. Échocardiographie-doppler et détresse respiratoire aiguë. In: *Actualités en Réanimation et Urgences*. Paris: Elsevier; 1999. p. 241-52.
- [3] Vignon P. Hemodynamic assessment of critically ill patients using echocardiography Doppler. *Curr Opin Crit Care* 2005;11:227-34.
- [4] Garcia MJ, Thomas JD, Klein AL. New Doppler echocardiographic applications for the study of diastolic function. *J Am Coll Cardiol* 1998;32:865-75.
- [5] Connors AF, Speroff T, Dawson NV, Thomas C, Harrell FE, Wagner D, et al. The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. *JAMA* 1996;276:889-97.
- [6] Rapper R, Sibbald WJ. Misled by the wedge? *Chest* 1986;89:427-34.
- [7] Slama M, Feissel M. Œdème aigu du poumon. In: Vignon P, Goarin JP, editors. *Échocardiographie-doppler en réanimation, anesthésie et médecine d'urgence*. Paris: Elsevier; 2002. p. 478-506.
- [8] Vanoverschelde JLJ, Robert AR, Gerbaux A, Michel X, Hanet C, Wijns W. Non-invasive estimation of pulmonary arterial wedge pressure with Doppler transmitral flow velocity pattern in patients with known heart disease. *Am J Cardiol* 1995;75:383-9.
- [9] Suwa M, Otake Y, Ito T, Moriguchi A, Hirota Y, Kawamura K. Non-invasive estimation of pulmonary capillary wedge pressure from pulmonary venous flow using transesophageal echocardiography. *Am J Non-invasive Cardiol* 1994;8:207-14.
- [10] Giannuzzi P, Imparato A, Temporelli PL, De Vito F, Silva PL, Scapellato F, et al. Doppler-derived mitral deceleration time of early filling as a strong predictor of pulmonary capillary wedge pressure in postinfarction patients with left ventricular systolic dysfunction. *J Am Coll Cardiol* 1994;23:1630-7.
- [11] Rossvoll O, Hatle LK. Pulmonary venous flow velocities recorded by transthoracic Doppler ultrasound: relation to left ventricular diastolic pressures. *J Am Coll Cardiol* 1993;21:1687-96.
- [12] Yamamoto K, Nishimura RA, Burnett JC, Redfield MM. Assessment of left ventricular end-diastolic pressure by Doppler echocardiography: contribution of duration of pulmonary venous versus mitral flow velocity curves at atrial contraction. *J Am Soc Echocardiogr* 1997;10:52-9.
- [13] Brunazzi MC, Chirillo F, Pasqualini M, Gemelli M, Franceschini-Grisolia E, Longhini C, et al. Estimation of left ventricular diastolic pressures from precordial pulsed-Doppler analysis of pulmonary venous and mitral flow. *Am Heart J* 1994;128:293-300.
- [14] Yamamuro A, Yoshida K, Hozumi T, Akasaka T, Takagi T, Kaji S, et al. Non-invasive evaluation of pulmonary capillary wedge pressure in patients with acute myocardial infarction by deceleration time of pulmonary venous flow velocity in diastole. *J Am Coll Cardiol* 1999;34:90-4.
- [15] Nagueh SF, Middleton KJ, Kopelen HA, Zoghbi WA, Quinones MA. Doppler Tissue Imaging: a non-invasive technique for evaluation of left ventricular relaxation and estimation of filling pressures. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:1527-33.
- [16] Gonzalez-Vilchez F, Ares M, Ayuela J, Alonso L. Combined use of pulsed and color M-mode Doppler echocardiography for the estimation of pulmonary capillary wedge pressure: an empirical approach based on an analytical relation. *J Am Coll Cardiol* 1999;34:515-23.
- [17] Appleton CP, Galloway JM, Gonzalez MS, Basnight MA. Estimation of left ventricular filling pressures using two-dimensional and Doppler echocardiography in adult patients with cardiac disease. Additional value of analysing left atrial size, left atrial ejection fraction and the difference in duration of pulmonary venous and mitral flow velocity at atrial contraction. *J Am Coll Cardiol* 1993;22:1972-82.
- [18] Vignon P. Assessment of patients with acute heart failure syndrome using echocardiography Doppler. In: *Acute heart failure syndrome*. Springer; 2007 (in press).
- [19] Boussuges A, Blanc P, Molenat F, Burnet H, Habib G, Sainty JM. Evaluation of left ventricular filling pressure by transthoracic Doppler echocardiography in the intensive care unit. *Crit Care Med* 2002;30:362-7.
- [20] Vargas F, Gruson D, Valentino R, Bui HN, Salmi LR, Gilleron V, et al. Transesophageal pulsed Doppler echocardiography of pulmonary venous flow to assess left ventricular filling pressure in ventilated patients with acute respiratory distress syndrome. *J Crit Care* 2004;19:187-97.
- [21] Bouhemad B, Nicolas-Robin A, Benoist A, Lemaire S, Goarin JP, Rouby JJ. Echocardiographic Doppler assessment of pulmonary capillary wedge pressure in surgical patients with postoperative circulatory shock and acute lung injury. *Anesthesiology* 2003;98:1091-100.
- [22] Combes A, Arnoult F, Trouillet JL. Tissue Doppler imaging estimation of pulmonary artery occlusion pressure in ICU patients. *Intensive Care Med* 2004;30:75-81.
- [23] Vignon P, François B, Pichon N, Clavel M, Dugard A, Ait Hssain A, et al. Évaluation non invasive des la PAPO par échocardiographie-doppler chez les patients ventilés : quelle est sa précision et l'apport des nouvelles techniques ? *Réanimation* 2006;15(Suppl):S235 [Résumé].
- [24] Bernard GR, Artigas A, Brigham KL, Carlet J, Falke K, Hudson L, et al. The American-European consensus conference of ARDS. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;149:818-24.
- [25] Kuecherer HF, Muhiudeen IA, Kusumoto FM, Lee E, Mouligner LE, Cahalan MK, et al. Estimation of mean left atrial pressure from transesophageal pulsed Doppler echocardiography of pulmonary venous flow. *Circulation* 1990;82:1127-39.
- [26] Kinnaird TD, Thompson CR, Munt BI. The deceleration time of pulmonary venous diastolic flow is more accurate than the pulmonary artery occlusion pressure in predicting left atrial pressure. *J Am Coll Cardiol* 2001;37:2025-30.
- [27] Dokainish H, Zoghbi WA, Lakkis NM, Al-Bakshy F, Dhir M, Quinones MA, et al. Optimal non-invasive assessment of left ventricular filling pressures. A comparison of tissue Doppler echocardiography and B-type natriuretic peptide in patients with pulmonary artery catheters. *Circulation* 2004;109:2432-9.
- [28] Jacques DC, Pinsky MR, Severyn D, Gorcsan III J. Influence of alterations in loading on mitral annular velocity by tissue Doppler echocardiography and its associated ability to predict filling pressures. *Chest* 2004;126:1910-8.
- [29] Vignon P, Allot V, Mesage J, Martailié JF, Aldigier JC, François B, et al. Diagnosis of left ventricular diastolic dysfunction in the setting of acute changes in loading conditions. *Crit Care* (in press).
- [30] le EHY, Vletter WB, Ten Cate FJ, Nette RW, Weimer W, Roelandt JRTC, et al. Preload dependence of new Doppler techniques limits their utility for left ventricular diastolic function assessment in hemodialysis patients. *J Am Soc Nephrol* 2003;14:1858-62.
- [31] Seo Y, Ishimitsu T, Ishizu T, Obara K, Moriyama N, Sakane M, et al. Preload-dependent variation of the propagation velocity in patients with congestive heart failure. *J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:432-8.

- [32] Chirillo F. Évaluation hémodynamique des patients en fibrillation auriculaire. In: Vignon P, Goarin JP, editors. *Échocardiographie-doppler en réanimation, anesthésie et médecine d'urgence*. Paris: Elsevier; 2002. p. 232-56.
- [33] Nagueh SF, Kopelen HA, Quinones MA. Assessment of left ventricular filling pressures by Doppler in the presence of atrial fibrillation. *Circulation* 1996;94:2138-45.
- [34] Temporelli PL, Scapellato F, Corra U, Eleuteri E, Imparato A, Giannuzzi P. Estimation of pulmonary wedge pressure by transmitral Doppler in patients with chronic heart failure and atrial fibrillation. *Am J Cardiol* 1999;83:724-7.
- [35] Chirillo F, Brunazzi MC, Barbiero M, Giavarina D, Pasqualini M, Franceschini-Grisolia E, et al. Estimating mean pulmonary wedge pressure in patients with chronic atrial fibrillation from transthoracic Doppler indexes of mitral and pulmonary venous flow velocity. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:19-26.
- [36] Sohn DW, Song JM, Zo JH, Chai IH, Kim HS, Chum HG, et al. Mitral Annulus velocity in the evaluation of left ventricular diastolic function in atrial fibrillation. *J Am Soc Echocardiogr* 1999;12:927-31.
- [37] Swedberg K, Cleland J, Dargie H, Drexler H, Follath F, Komajda M, et al. Guidelines for the diagnosis and treatment of chronic heart failure (update 2005). The task force for the diagnosis and treatment of CHF of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2005;26:1115-40.
- [38] Vasan RS, Levy D. Defining diastolic heart failure. A call for standardized diagnostic criteria. *Circulation* 2000;101:2118-21.
- [39] Yamada H, Goh PP, Sun JP, Odabashian J, Garcia MJ, Thomas JD, et al. Prevalence of left ventricular diastolic function by Doppler echocardiography: clinical application of the Canadian consensus guidelines. *J Am Soc Echocardiogr* 2002; 15:1238-44.
- [40] Gandhi SK, Powers JC, Nomeir AM, Fowle K, Kitzman DW, Rankin KM, et al. The pathogenesis of acute pulmonary edema associated with hypertension. *N Engl J Med* 2001;344:17-22.
- [41] Esteban A, Alia I, Tobin MJ, Gil A, Gordo F, Vallverdu I, et al. Effect of spontaneous breathing trial duration on outcome of attempts to discontinue mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:512-8.