

Intérêt de l'étude par Doppler pulsé du flux mitral et du flux veineux pulmonaire dans l'évaluation des pressions de remplissage du ventricule gauche

A. Boussuges^{1*}, P. Blanc²

¹ Service de réanimation médicale, hôpital Sainte-Marguerite, 270, boulevard de Sainte-Marguerite, BP 29, 13009 Marseille, France; ² service de réanimation polyvalente, hôpital Félix-Guyon, Saint-Denis, Île-de-la-Réunion, France

(Reçu le 26 juin 2000 ; accepté le 5 décembre 2000)

Résumé

L'analyse par le Doppler pulsé des flux transmitraux et veineux pulmonaires permet la détection d'une élévation des pressions de remplissage du ventricule gauche. Nous décrivons dans cette mise au point les différents indices Doppler pouvant être utilisés ainsi que leurs limites d'interprétation. © 2001 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

Doppler / échocardiographie / flux mitral / flux veineux pulmonaire / fonction diastolique / pressions de remplissage

Summary – Estimation of left ventricular filling pressures using Doppler echocardiography: importance of transmitral and pulmonary venous flow velocities.

Left ventricular diastolic filling pressure can be assessed by Doppler-derived mitral and pulmonary venous flow velocities recorded by transthoracic pulsed Doppler echocardiography. In this review, Doppler indexes are described and their limitations in interpreting left ventricular filling pressure are discussed. © 2001 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

diastolic function / Doppler / echocardiography / left ventricular filling pressure / mitral flow velocity / pulmonary vein flow velocity

L'exploration de l'état hémodynamique d'un patient en réanimation fait régulièrement appel au cathétérisme droit par sonde de Swan-Ganz. Cette technique permet la mesure du débit cardiaque, des pressions artérielles pulmonaires et de la pression auriculaire droite. De plus, la précharge ventriculaire gauche peut être appréciée par la mesure de la pression d'occlusion de l'artère

pulmonaire. Le cathétérisme droit est cependant un geste invasif qui n'est pas exempt de complications thrombotiques et infectieuses. Dans certaines circonstances telles que la ventilation mécanique avec pression de fin d'expiration, les sujets porteurs d'une pression expiratoire positive intrinsèque, et plus généralement lorsque l'extrémité du cathéter se trouve en dehors de la

*Correspondance et tirés à part.

Adresse e-mail : aboussuges@mail.ap-hm.fr (A. Boussuges).

zone 3 de West, la pression d'occlusion de l'artère pulmonaire n'est pas un bon reflet de la précharge ventriculaire gauche [1].

Les techniques ultrasonores ont progressivement démontré leur intérêt dans les unités de réanimation. La prise en charge d'une détresse vitale tire un grand avantage de l'utilisation de l'échocardiographie qui permet une orientation diagnostique rapide [2]. L'échocardiographie en modes bidimensionnel et temps-mouvements fournit des informations sur la fonction contractile du ventricule gauche ainsi que sur l'état volémique du patient. Il est également indispensable d'apprécier la fonction diastolique du ventricule gauche. En effet, l'insuffisance cardiaque à fonction systolique conservée est une entité fréquente : elle pourrait représenter jusqu'à 40 % des insuffisances cardiaques [3]. Enfin, plusieurs indices Doppler ont récemment démontré leur intérêt dans l'estimation de la pression de remplissage du ventricule gauche. Ils ont été développés à partir de l'analyse des flux mitraux et veineux pulmonaires recueillis par voie transthoracique ou transœsophagienne. Nous décrivons dans cette mise au point les indices permettant d'évaluer la qualité du remplissage ventriculaire gauche, leurs difficultés d'interprétation et l'intérêt que peut en attendre le réanimateur.

LA DIASTOLE VENTRICULAIRE GAUCHE ET SON ÉTUDE PAR ÉCHOGRAPHIE DOPPLER

Les indices utilisés dans l'évaluation des pressions de remplissage sont issus des profils Doppler mitraux et veineux pulmonaires. Ces mêmes indices permettent l'analyse de la fonction diastolique du ventricule gauche. Nous débuterons donc par un rappel sur la diastole du ventricule gauche [4].

La diastole : définition

Pour le clinicien la diastole ventriculaire gauche s'étend de la fermeture de la valve aortique jusqu'à la fermeture de la valve mitrale. Elle comprend la période de relaxation isovolumétrique, le remplissage rapide passif, le remplissage lent passif et la contraction auriculaire. La relaxation du ventricule gauche débute durant la deuxième partie de l'éjection aortique, elle se poursuit durant la période de relaxation isovolumétrique et le remplissage rapide passif. C'est un phénomène actif qui crée une aspiration du sang de l'oreillette gauche vers le ventricule gauche. Elle est, au niveau du myocyte,

consommatrice d'énergie. Le substrat énergétique est utilisé afin de réduire la concentration intracytoplasmique de calcium, ce qui permet aux protéines contractiles (actine-myosine) de se dissocier. C'est un phénomène activé par la stimulation bêtamimétique. La relaxation est en principe achevée à la fin du remplissage rapide. La période comprenant le remplissage lent passif et la contraction auriculaire est sous la dépendance des propriétés passives d'extension du ventricule gauche : la compliance ventriculaire. Dans les conditions normales, environ 80 % du remplissage ventriculaire gauche surviennent durant le remplissage rapide passif. Un nouveau gradient transmitral positif résulte de la contraction auriculaire gauche dans la phase tardive de la diastole (15 à 20 % du remplissage). La proportion de remplissage dans chaque phase dépend des forces élastiques ventriculaires gauches (succion), de la rapidité de la relaxation, de la compliance ventriculaire gauche et de la pression auriculaire gauche.

Technique d'étude par Doppler pulsé

L'évaluation de la fonction diastolique fait appel à l'étude du remplissage ventriculaire gauche par l'analyse du flux mitral et à l'étude du remplissage de l'oreillette gauche par le flux veineux pulmonaire [5].

Doppler mitral

Le profil de vélocité transmitral est déterminé à chaque instant par le gradient de pression régnant entre l'oreillette gauche et le ventricule gauche (*figure 1*). Son analyse est réalisée à l'aide du Doppler pulsé qui alterne phases d'émission et phases de réception des ultrasons. Les enregistrements sont effectués, de préférence en phase expiratoire, à partir d'une incidence apicale quatre cavités. Le volume d'échantillonnage guidé par l'échographie bidimensionnelle est placé soit à l'extrémité des feuillets mitraux soit à l'anneau mitral. L'onde protodiastolique (onde E) représente le remplissage rapide et sa vitesse dépend du gradient de pression régnant, à cet instant, entre l'oreillette gauche et le ventricule gauche. Le temps de décélération de l'onde E mesure le délai entre la vitesse maximale et la vitesse nulle. La contraction auriculaire se traduit par l'onde A. La mesure du temps de relaxation isovolumétrique peut être effectuée en Doppler pulsé ou en Doppler continu en enregistrant sur un même tracé le clic de fermeture du flux aortique et le clic d'ouverture du flux transmi-

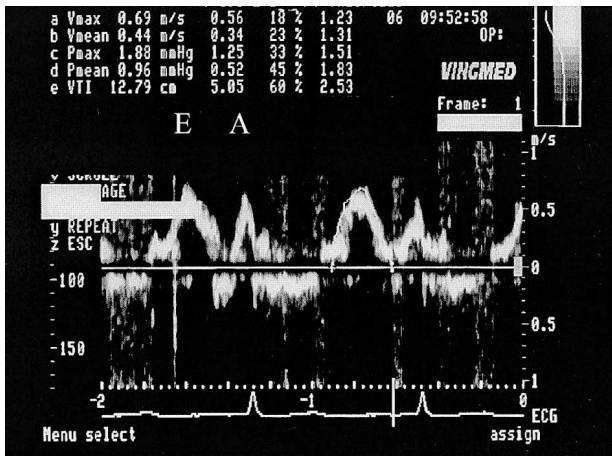


Figure 1. Flux mitral normal chez un sujet adulte d'âge moyen (40 ans). E : onde E contemporaine du remplissage passif du ventricule gauche, $V_{\max}$: vitesse maximale = 0,69 m/s ; A : onde A secondaire à la contraction de l'oreillette gauche, $V_{\max}$: vitesse maximale = 0,56 m/s.

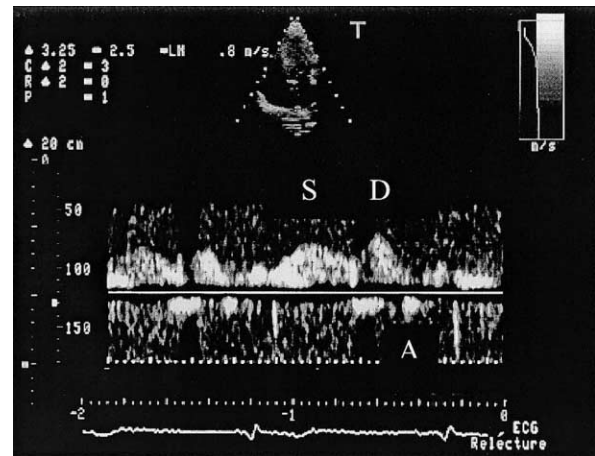


Figure 2. Flux veineux pulmonaire normal. S : onde systolique antérograde (remplissage de l'oreillette gauche à partir des veines pulmonaires) ; D : onde diastolique antérograde contemporaine du remplissage passif du ventricule gauche ; A : onde diastolique rétrograde secondaire à la contraction de l'oreillette gauche.

tral. Il peut également être mesuré entre le clic de fermeture du flux aortique et le début du flux transmitral.

Doppler veineux pulmonaire

Les modifications du flux veineux pulmonaire suivent qualitativement les modifications du gradient de pression régnant entre veines pulmonaires et oreillette gauche [6].

Le flux veineux pulmonaire peut être enregistré à l'aide du Doppler pulsé par voie transthoracique en coupe quatre cavités apicale au niveau de la veine supérieure droite [7] ou plus facilement par voie transœsophagienne. Le flux veineux pulmonaire présente quatre composantes différentes : deux vélocités systoliques antérogades (ondes S1 et S2) et deux diastoliques (une antérograde [onde D] et une rétrograde [onde A pulmonaire]) (figure 2). La première vélocité systolique (S1) est secondaire à la relaxation de l'oreillette gauche, le second flux systolique (S2) est secondaire à l'augmentation de la pression veineuse pulmonaire après la systole ventriculaire droite et à l'abaissement du plancher ventriculaire lors de la contraction du ventricule gauche. Les flux S1 et S2 sont souvent fusionnés et donnent l'aspect d'un flux unique (S). Le flux positif recueilli durant la diastole (onde D) est contemporain de la

phase de remplissage rapide passif qui provoque une aspiration du sang à partir des veines pulmonaires. Lors de la contraction auriculaire, le sang reflue de l'oreillette gauche vers les veines pulmonaires et se traduit par une onde A négative.

Le recueil du flux veineux pulmonaire bénéficie de façon importante de la voie œsophagienne. La détection est aisée à partir d'une incidence passant juste au dessus de l'auricule gauche, l'échantillon Doppler étant placé au niveau de la veine supérieure gauche (repérée au Doppler couleur), à 10 mm de son abouchement dans l'oreillette gauche (figure 3). L'utilisation d'une sonde multiplans facilite le recueil des flux aussi bien dans les veines pulmonaires gauches que droites.

Les tableaux I et II fournissent les valeurs normales des flux transmitraux et veineux pulmonaires.

ESTIMATION DES PRESSIONS DE REMPLISSAGE

Les variations de la pression auriculaire gauche modifient les gradients de pression entre oreillette gauche et ventricule gauche, et entre oreillette gauche et veines pulmonaires. La quasi-totalité des indices Doppler proposés concerne donc l'étude du flux mitral et du flux veineux pulmonaire.

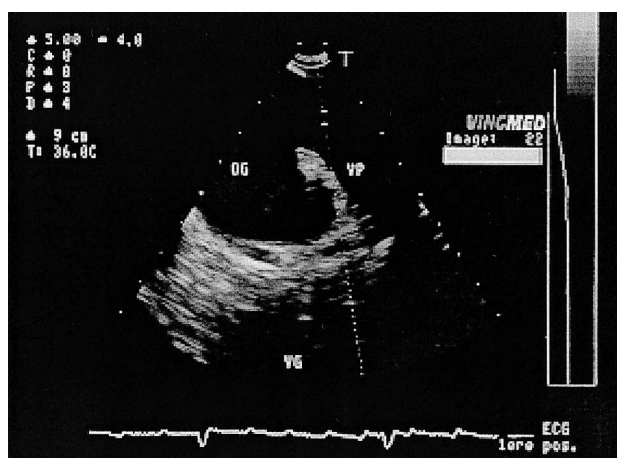


Figure 3. Étude du flux veineux pulmonaire par échographie transœsophagienne. Positionnement de l'échantillon Doppler dans la veine pulmonaire supérieure gauche. OG : oreillette gauche ; VP : veine pulmonaire ; VG : ventricule gauche.

Profils évocateurs de pressions de remplissage élevées

Ce profil de remplissage correspond au flux mitral de type 3 (aspect restrictif) rapporté par Christopher Appleton pour la description des troubles de la fonction diastolique [9].

Flux mitral

Une élévation de la pression auriculaire gauche entraîne un gradient de pression élevé entre oreillette et ventricule gauche ce qui retentit sur l'aspect du flux mitral [10-13]. Ce gradient de pression élevé raccourcit la période de relaxation isovolumétrique. Lors de l'ouverture de la valve mitrale, le flux sanguin est élevé ce qui se

Tableau I. Valeurs normales du flux transmitral d'après Appleton et al. [8].

Indices	Valeurs
$V_{\max}$ E (cm/s)	86 ± 16
$V_{\max}$ A (cm/s)	56 ± 13
Rapport E/A	$1,9 \pm 0,6$ (avant 50 ans) $1,1 \pm 0,3$ (après 50 ans)
Temps décélération onde E (ms)	199 ± 32
TRIV (ms)	95 ± 20 (clic à clic) 70 ± 15 (clic à flux)

$V_{\max}$ E : vitesse maximale de l'onde E ; $V_{\max}$ A : vitesse maximale de l'onde A ; Rapport E/A : rapport entre les vitesses maximales des ondes E et A ; TRIV : temps de relaxation isovolumétrique.

Tableau II. Valeurs normales du flux veineux pulmonaire d'après Masuyama et al. [7].

Indices	Valeurs
$V_{\max}$ S (cm/s)	53 ± 12
$V_{\max}$ D (cm/s)	47 ± 11
$V_{\max}$ Ap (cm/s)	20 ± 4
Durée de l'onde Ap (ms)	101 ± 26

$V_{\max}$ S : vitesse maximale de l'onde S ; $V_{\max}$ D : vitesse maximale de l'onde D ; $V_{\max}$ Ap : vitesse maximale de l'onde A pulmonaire.

traduit par une onde E importante lors de l'enregistrement du flux transmitral (figure 4). Le remplissage d'un ventricule gauche peu compliant se traduit par une augmentation de la pression ventriculaire gauche avec annulation rapide du gradient pression auriculaire gauche—pression ventriculaire gauche. Le temps de décélération de l'onde E est court. Chez des sujets victimes d'un infarctus du myocarde et porteurs d'une altération sévère de la fonction systolique (fraction d'éjection inférieure ou égale à 35 %) un temps de décélération de l'onde E inférieur ou égal à 120 ms aurait une bonne sensibilité et une bonne spécificité de la pression d'occlusion de l'artère pulmonaire supérieure ou égale à 20 mmHg [14]. Lorsque l'élévation de la pression ventriculaire gauche est très importante une régurgitation mitrale peut apparaître en milieu de diastole. Le remplissage du ventricule gauche se produisant en majeure partie durant le début de la diastole, la contribution de la contraction auriculaire au remplissage est très faible (onde A de faible amplitude et fraction de remplissage secondaire à la contraction auriculaire réduite). De nombreux auteurs ont ainsi observé une corrélation significative entre le rapport E/A et la pression d'occlusion de l'artère pulmonaire [10-12]. La mesure du temps de décélération de l'onde A mitrale serait également prédictive de la pression auriculaire gauche. D'après Tenenbaum un temps de décélération inférieure ou égale à 60 ms serait prédictif d'une pression auriculaire gauche supérieure à 18 mmHg [15].

Flux veineux pulmonaire

Les courbes de vitesse du flux mitral sont étroitement liées au gradient de pression existant entre l'oreillette et les ventricules gauches. Celles du flux veineux pulmonaire sont en rapport avec la résultante des gradients veines pulmonaires—oreillette gauche et oreillette gauche—ventricule gauche.

Les indices issus du flux pulmonaire paraissent d'après plusieurs études récentes plus performants que ceux

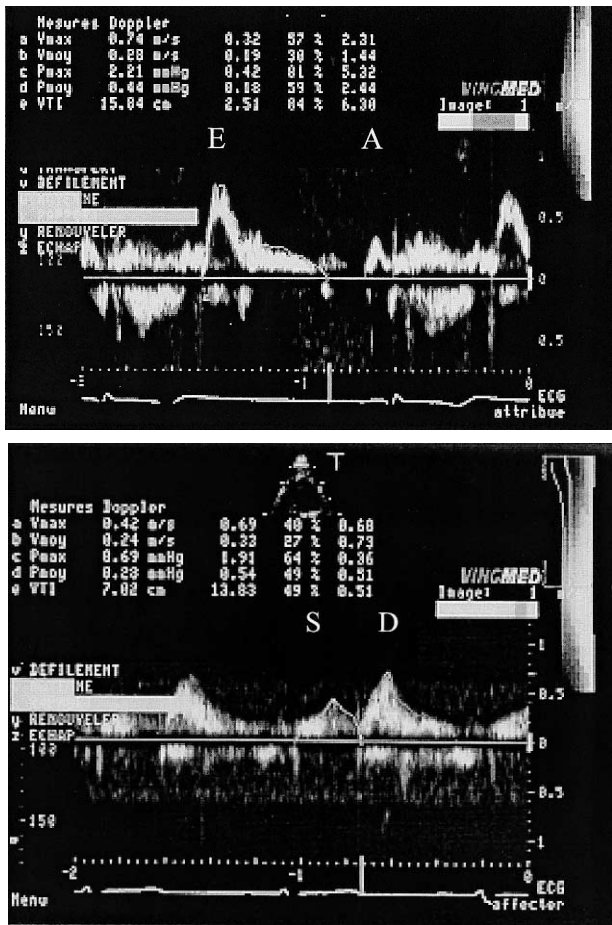


Figure 4. Profils évocateurs de pressions de remplissage élevées. a : flux mitral ; E : onde E, $V_{\max}$: vitesse maximale = 0,74 m/s ; A : onde A, $V_{\max}$: vitesse maximale = 0,32 m/s. b : flux veineux pulmonaire ; S : onde S, $V_{\max}$: vitesse maximale = 0,42 m/s ; D : onde D, $V_{\max}$: vitesse maximale = 0,69 m/s.

issus du flux mitral [16, 17]. Au niveau du flux veineux pulmonaire, une élévation de la pression auriculaire gauche se traduit par une onde systolique réduite en raison de la diminution de la compliance auriculaire gauche (figure 4). La baisse du remplissage de l'oreillette gauche durant la systole est également secondaire à la réduction de la course de l'anneau mitral qui diminue le phénomène d'aspiration du sang à partir des veines pulmonaires. Le flux diastolique antérograde est bref (arrêt en milieu de diastole) et prédominant par rapport au flux systolique (vitesse maximale de l'onde D supérieure à la vitesse maximale de l'onde S). Il est contemporain du remplissage rapide passif du ventricule gauche

ce qui provoque par répercussion un remplissage important de l'oreillette gauche à partir des veines pulmonaires. La fraction systolique de l'intégrale temps/vitesse (ITV) du flux veineux pulmonaire antérograde (ITV S / ITV S + ITV D) est l'indice qui présente d'après plusieurs auteurs la corrélation la plus étroite avec la pression d'occlusion de l'artère pulmonaire [18, 19]. Une fraction systolique du flux veineux pulmonaire inférieure à 0,4 serait le témoin d'une pression auriculaire gauche supérieure à 18 mmHg [20].

Intérêt de la combinaison de l'étude du flux mitral et du flux veineux pulmonaire

En cas d'élévation de la pression télédiastolique ventriculaire gauche le gradient de pression entre l'oreillette gauche et le ventricule gauche s'annule précocement durant la diastole ce qui raccourcit la durée du flux antérograde transmitral secondaire à la contraction auriculaire au profit du flux rétrograde vers les veines pulmonaires [21]. Ainsi, une durée de l'onde A du flux veineux pulmonaire supérieure à celle du flux mitral serait prédictive d'une pression télédiastolique ventriculaire gauche supérieure à 15 mmHg [20]. Plus récemment, l'étude du rapport entre la vitesse maximale de l'onde A mitrale et la vitesse maximale de l'onde A pulmonaire a montré son intérêt [22]. Lorsque la pression d'occlusion de l'artère pulmonaire s'élève, la vitesse maximale de l'onde A pulmonaire augmente au détriment de la vitesse maximale de l'onde A mitrale.

Profil évocateurs de pressions de remplissage normales ou basses

Certains profils de remplissage sont évocateurs de pressions de remplissage basses ou normales. C'est le cas pour le profil mitral de type 1 rapporté par Christopher Appleton pour la description des troubles de la fonction diastolique [9]. Ce profil correspond à une anomalie de la relaxation ventriculaire gauche, c'est-à-dire à un ralentissement de la chute de la pression intraventriculaire gauche durant la période isovolumique. Il en résulte un allongement du temps de relaxation isovolumétrique car la pression intraventriculaire gauche reste longtemps supérieure à la pression intra-auriculaire gauche. De plus, lorsque l'ouverture mitrale se produit, il existe un gradient réduit entre oreillette et ventricule gauche, et par conséquent une diminution de l'amplitude de l'onde E. La diminution du remplissage protodiastolique est compensée par une augmentation du remplissage ventriculaire pendant la contraction auriculaire. Le

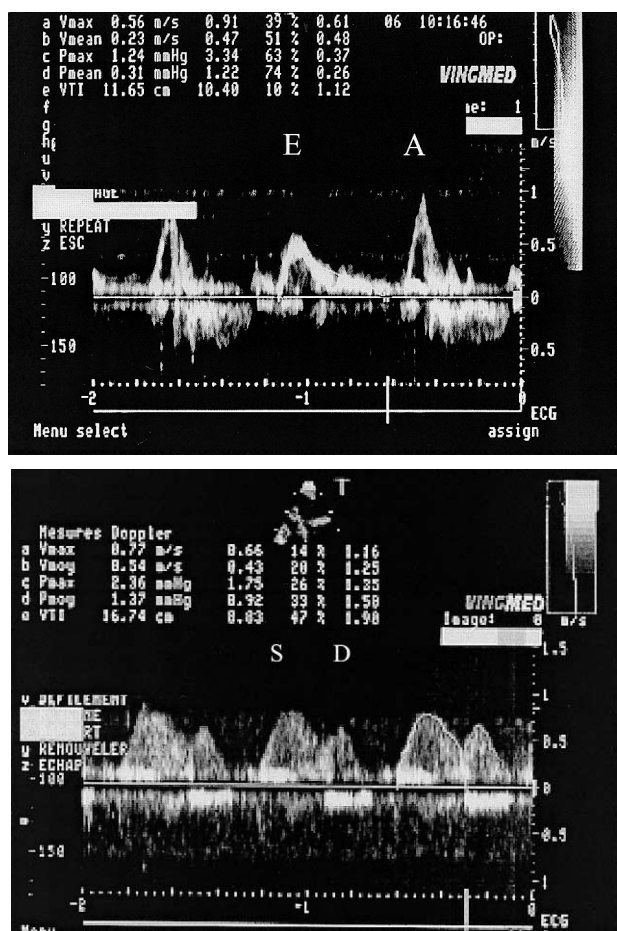


Figure 5. Profils évocateurs d'un trouble de la relaxation et de pressions de remplissage normales ou basses. a : flux mitral ; E : onde E, $V_{\max}$: vitesse maximale = 0,56 m/s ; A : onde A, $V_{\max}$: vitesse maximale = 0,91 m/s ; b : flux veineux pulmonaire ; S : onde S, $V_{\max}$: vitesse maximale = 0,77 m/s ; D : onde D, $V_{\max}$: vitesse maximale = 0,66 m/s.

profil transmitral inscrit donc une onde E de faible amplitude et une onde A ample avec un rapport E/A inférieur à 1 (figure 5). Chez ces sujets, les pressions ventriculaires ne sont pas élevées et les sujets sont asymptomatiques au repos. Les modifications des gradients de pression retentissent également sur le flux veineux pulmonaire. À son niveau, une diminution de l'onde diastolique au profit de l'onde systolique est observée (figure 5).

Un flux normal (type 2 d'Appleton) traduit le plus souvent des pressions de remplissage ventriculaire gau-

che normales. Il peut néanmoins être la conséquence de troubles évolués de la fonction diastolique, on parle alors de profil pseudo-normal.

Profils pseudo-normaux

Un trouble de la relaxation du ventricule gauche peut se compliquer d'un trouble de la compliance. C'est par exemple le cas dans la cardiopathie hypertensive évoluée. Alors que le profil mitral enregistre en cas de trouble de la relaxation isolé, un rapport E/A inférieur à 1, l'élévation de la pression auriculaire gauche va normaliser le gradient protodiastolique. L'aspect du flux mitral redevient donc normal (rapport E/A supérieur à 1). L'analyse du flux veineux pulmonaire est dans ce cas particulièrement importante. L'élévation des pressions de remplissage se traduit au niveau du flux veineux pulmonaire par une augmentation de l'onde A de contraction auriculaire, l'onde D est prédominante par rapport à l'onde S. L'élargissement du diamètre de l'oreillette gauche en l'absence de pathologie de la valve mitrale est également évocatrice d'élévation de la pression auriculaire gauche, de même qu'une onde A mitrale courte par rapport à une onde A pulmonaire rétrograde longue [21]. C'est donc la combinaison de l'étude Doppler des flux mitraux et veineux pulmonaire qui permet de distinguer un flux mitral normal d'un flux pseudo-normal. La réalisation de manœuvres faisant varier les conditions de charge est également intéressante car elle est susceptible de dépister des troubles masqués du remplissage [23, 24]. Ainsi, la manœuvre de Valsalva ou la trinitrine sublinguale, en diminuant la précharge ventriculaire gauche, permettent de démasquer un trouble de la relaxation en provoquant une inversion du rapport E/A mitral (inférieur à 1). Chez le sujet normal ces manœuvres entraînent une baisse simultanée des $V_{\max}$ E et $V_{\max}$ A.

Le tableau III présente les différents profils mitraux et veineux pulmonaires permettant le classement des troubles du remplissage.

DIFFICULTÉS D'INTERPRÉTATION

Les profils de remplissage de l'oreillette gauche et du ventricule gauche sont influencés par de nombreux facteurs qui doivent être connus pour ne pas commettre d'erreur d'interprétation.

Tableau III. Classification des anomalies du remplissage ventriculaire gauche selon C. Appleton [9].

<i>Remplissage</i>	<i>Normal</i>	<i>Pseudo-normal (type 2)</i>	<i>Anomalie de la relaxation (type 1)</i>	<i>Anomalie de la compliance (type 3)</i>
Rapport E/A	> 1	> 1	< 1	> 2
Temps décélération de l'onde E	160–240	160–240	> 240	< 160
TRIV	70–120	70–120	> 120	< 70
Rapport S/D	positif	négatif	positif	négatif
Durée Ap/Amit	Amit > Ap	Amit < Ap	Amit > Ap	Amit < Ap
Pressions de remplissage VG	normales	élevées	normales ou basses	élevées

Rapport E/A : rapport entre les vitesses maximales des ondes E et A ; TRIV : temps de relaxation isovolumétrique ; rapport S/D : rapport entre les vitesses maximales des ondes S et D ; Durée Ap/Amit : comparaison entre les durées des ondes A pulmonaire et A mitrale, VG : ventricule gauche.

Paramètres physiologiques influençant les flux Doppler

Chez l'enfant et l'adulte jeune la relaxation est rapide, la majorité du remplissage ventriculaire gauche s'effectue en début de diastole (grande onde E mitrale et D pulmonaire). Avec l'âge, la relaxation se ralentit, le remplissage protodiastolique diminue et c'est la contraction auriculaire qui devient le facteur primordial du remplissage ventriculaire gauche [25, 26]. Le rapport E/A mitral s'inverse vers l'âge de 55 ans, les temps de relaxation isovolumétrique et de décélération s'allongent. Le flux veineux pulmonaire est également influencé par l'âge [7, 27, 28]. La vitesse maximale et l'intégrale temps/vitesse du flux systolique (onde S), le rapport entre vitesses maximales des flux systolique et diastolique (onde D) ainsi que la vitesse maximale du flux diastolique rétrograde (onde A pulmonaire) augmentent avec l'âge. L'interprétation des profils de remplissage de l'oreillette gauche et du ventricule gauche doit donc impérativement tenir compte de l'âge du sujet.

Le cycle ventilatoire est également à l'origine de modifications du profil de remplissage ventriculaire gauche du fait des interactions cœur-poumons et des modifications de la précharge cardiaque. L'inspiration est à l'origine d'une diminution des vitesses des ondes E et A et d'une augmentation du temps de décélération de l'onde E mitrale.

Quand la fréquence cardiaque augmente, la contribution de la contraction auriculaire au remplissage du ventricule gauche augmente. Le rapport E/A mitral diminue, cette baisse est nette chez le sujet jeune [29, 30]. Lorsque la fréquence cardiaque est rapide (supérieure à 90 battements par minute), il existe une fusion

plus ou moins complète des ondes E et A qui rend l'analyse des divers indices difficile. Dans ces circonstances, la valeur de la comparaison des durées des ondes A mitrale et pulmonaire est altérée [31].

Les troubles du rythme et de la conduction modifient les paramètres du remplissage et perturbent son analyse. En présence d'une arythmie complète par fibrillation auriculaire les ondes A mitrales et pulmonaires sont absentes. Néanmoins, les indices issus de l'onde E mitrale et des ondes antérogrades (S et D) du flux veineux pulmonaire gardent leur intérêt [32, 33].

Les valvulopathies sont à l'origine de modifications des gradients de pression entre les veines pulmonaires, l'oreillette gauche et le ventricule gauche rendant obsoletes la plupart des indices proposés à partir du flux mitral ou du flux veineux pulmonaire. En présence d'une insuffisance mitrale, certains auteurs ont proposé l'utilisation des vitesses du flux régurgitant pour estimer la pression télédiastolique du ventricule gauche [34, 35]. Neumann et al. retrouvent une bonne corrélation entre la pression télédiastolique du ventricule gauche mesurée par cathétérisme et son estimation non invasive par la formule suivante :

$$PAo \text{ diast} - 4 \times (\text{vitesse du flux d'insuffisance mitrale} \\ \text{à l'ouverture des sigmoïdes } Ao)^2$$

Le recueil des vitesses du flux veineux pulmonaire peut être difficile par voie transthoracique, le taux d'échec est voisin de 20 % [18]. Ce pourcentage est encore accru chez le sujet de réanimation ce qui rend la voie œsophagienne particulièrement intéressante. L'onde A rétrograde est le paramètre le plus difficile à recueillir, cette onde peut être absente en cas de tachycardie.

Extrapolation des études antérieures aux malades de réanimation

Les études ayant permis d'identifier les indices Doppler ont le plus souvent été réalisées dans des populations homogènes de patients (patients de chirurgie cardiaque, patients porteurs de cardiopathies sévères). Il a pu être montré que la valeur de ces indices peut être affectée lorsque leur utilisation est étendue à des populations plus hétérogènes. La qualité de la fonction systolique ventriculaire gauche influence par exemple la valeur de certains indices [36, 37]. Plusieurs auteurs ont proposé des formules mathématiques afin de calculer la pression auriculaire gauche à partir d'indices issus des flux Doppler mitraux et veineux pulmonaires. Les variations physiologiques des flux Doppler que nous venons de décrire rendent cependant leur utilisation très aléatoire en dehors de populations ciblées de malades.

Il paraît important d'évaluer la validité des différents indices proposés dans la littérature dans des populations de sujets hospitalisés en réanimation. À l'heure actuelle, très peu d'études ont été réalisées dans ce contexte. Nagueh et al. ont confirmé la bonne corrélation entre la pression d'occlusion de l'artère pulmonaire et certains indices issus de l'analyse Doppler du flux transmitral recueillis par échographie transthoracique [38]. Il s'agit du rapport E/A, du temps de relaxation isovolumétrique, de la fraction de remplissage ventriculaire gauche secondaire à la contraction auriculaire, et du temps de décélération de l'onde E mitrale. Dans un travail récent, nous avons confirmé la validité de ces corrélations dans une population de sujets admis en réanimation médicale et soumis à la ventilation mécanique [39]. Dans cette étude, les indices issus du flux veineux pulmonaire sont apparus également intéressants, notamment la fraction systolique de l'intégrale temps/vitesse pulmonaire. Lorsque cette fraction est supérieure ou égale à 0,4 et que l'onde A mitrale a une durée plus importante que l'onde A pulmonaire, la pression d'occlusion de l'artère pulmonaire est inférieure à 17 mmHg chez la quasi-totalité des sujets (97 %).

Applications en réanimation

L'évaluation échographique de la fonction ventriculaire gauche systolique permet au réanimateur une prise en charge plus aisée des tableaux d'insuffisance respiratoire aiguë [40]. Lorsqu'une défaillance ventriculaire gauche

systolique est documentée, le traitement peut être débuté sans retard alors que le tableau clinique n'est pas suffisamment évocateur. L'étude Doppler des flux mitraux et veineux pulmonaires est complémentaire en confirmant l'élévation des pressions de remplissage du ventricule gauche. En présence d'un état de choc cette analyse est indispensable, la coexistence d'une altération de la fonction ventriculaire gauche et d'une hypovolémie n'étant pas exceptionnelle. Une étude récente a ainsi pu montrer que les sujets porteurs d'une insuffisance cardiaque sont le plus souvent hypovolémiques [41]. On comprend donc l'importance de l'analyse du profil de remplissage ventriculaire gauche afin d'optimiser la prise en charge thérapeutique. Dans ces circonstances, le monitoring des profils mitraux et veineux pulmonaires est intéressant pour évaluer la tolérance de l'expansion volémique [42]. L'étude des profils de remplissage du ventricule gauche et de l'oreillette gauche est également indispensable lors de la suspicion d'un trouble de la fonction diastolique avec conservation d'une fonction systolique correcte. Cette éventualité n'est pas exceptionnelle chez le sujet âgé porteur d'affections telles que hypertension artérielle, diabète, insuffisance rénale ou insuffisance respiratoire chronique obstructive [43-45]. Certaines pathologies aiguës sont susceptibles de modifier la fonction diastolique. L'hypoxie augmente la contribution de l'oreillette gauche au remplissage du ventricule gauche [46]. Dans les syndromes infectieux sévères, le pronostic est d'autant plus réservé que le trouble de la relaxation du ventricule gauche est marqué [47].

Enfin, lors de l'évolution d'une cardiopathie, le trouble de la relaxation fait progressivement place à un trouble de la compliance qui est à l'origine d'une élévation des pressions de remplissage. Il a pu être montré qu'un flux mitral de type restrictif (rapport E/A supérieur à 2 et/ou temps de décélération de l'onde E court inférieur à 150 ms), qui traduit un trouble de la compliance, avait une valeur pronostique péjorative chez les sujets porteurs d'une cardiopathie évoluée [48, 49]. Chez un même patient et sous l'influence du traitement, un flux restrictif de type 3 peut rester inchangé ou évoluer vers un flux de type 1 ou de type 2. Le caractère fixe du flux mitral restrictif possède une forte valeur pronostique péjorative dans une population atteinte de cardiopathie dilatée (13 % de survie à quatre ans) [50].

CONCLUSION

La fréquence élevée d'admission en réanimation de sujets âgés porteurs d'atteintes multiviscérales et le retentissement fréquent des affections sévères sur la fonction cardiaque rend nécessaire une analyse échographique et Doppler détaillée. L'évaluation des profils de remplissage de l'oreillette gauche et du ventricule gauche par l'intermédiaire du recueil des flux mitraux et veineux pulmonaires, complète avantageusement l'exploration échographique conventionnelle. Elle permet de résoudre certains problèmes difficiles telles que les insuffisances cardiaques diastoliques à fonction systolique conservée, et l'hypovolémie chez les sujets ayant une altération sévère de la fonction ventriculaire gauche systolique.

Néanmoins, les flux Doppler recueillis ne traduisent que des gradients de pressions et sont influencés par de nombreux paramètres tels que l'âge, la fréquence cardiaque, les conditions de charge, la qualité de la relaxation et la compliance du myocarde. Il est donc nécessaire de connaître les limites de leur utilisation. De plus, il est indispensable d'intégrer ces indices Doppler dans le contexte clinique (l'âge du sujet, ses antécédents, l'histoire de la maladie) et paraclinique afin de ne pas commettre d'interprétations erronées.

RÉFÉRENCES

- 1 Teboul JL. La pression artérielle pulmonaire d'occlusion. *Réanim Urg* 1998 ; 7 (suppl 1) : 13-20.
- 2 Slama M, Novara A, Van de Putte P, Diebold B, Safavian A, Safar M, et al. Diagnostic and therapeutic implications of transesophageal echocardiography in medical ICU patients with unexplained shock, hypoxemia or suspected endocarditis. *Intensive Care Med* 1996 ; 22 : 916-22.
- 3 Williams JF, Bristow MR, Fowler MB, Francis GS, Garson A, Gersh BJ, et al. Guidelines for the evaluation and management of heart failure. Report of the American College of Cardiology / American Heart Association task Force on Practice Guidelines (Committee on Evaluation and Management of Heart Failure). *J Am Coll Cardiol* 1995 ; 26 : 1376-89.
- 4 Gékière JP, Valat P, Gosse P, Kabbani Y, Janvier G. Fonction diastolique ventriculaire gauche : physiologie, physiopathologie, évaluation, moyens thérapeutiques, incidences en anesthésie. *Ann Fr Anesth Réanim* 1998 ; 17 : 319-39.
- 5 Oh JK, Appleton CP, Hatle LK, Nishimura RA, Seward JB, Tajik AJ. The noninvasive assessment of left ventricular diastolic function with two-dimensional and Doppler echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1997 ; 10 : 246-70.
- 6 Appleton CP. Hemodynamic determinants of Doppler pulmonary venous flow velocity components : New insights from studies in lightly sedated normal dogs. *J Am Coll Cardiol* 1997 ; 30 : 1562-74.
- 7 Masuyama T, Lee JM, Tamai M, Tanouchi J, Kitabatake A, Kamada T. Pulmonary venous flow velocity pattern as assessed with transthoracic pulsed Doppler echocardiography in subjects without cardiac disease. *Am J Cardiol* 1991 ; 67 : 1396-404.
- 8 Appleton CP, Hatle LK, Popp RL. Demonstration of restrictive ventricular physiology by Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* 1988 ; 11 : 757-68.
- 9 Appleton CP, Hatle LK. The natural history of left ventricular filling abnormalities : assessment by two-Dimensional and Doppler echocardiography. *Echocardiography* 1992 ; 9 : 437-57.
- 10 Choong CY, Abascal VM, Thomas JD. Combined influence of ventricular loading and relaxation on the transmitral flow velocity profile in dogs measured by Doppler echocardiography. *Circulation* 1988 ; 78 : 672-83.
- 11 Kuecherer HF, Ruffmann K, Schaefer E, Kuebler W. Doppler echocardiographic assessment of left ventricular filling dynamics in patients with coronary heart disease and normal systolic function. *Eur Heart J* 1988 ; 9 : 649-56.
- 12 Stork TV, Muller RM, Piske GJ, Ewert CO, Hochrein H. Non invasive measurement of left ventricular filling pressures by means of transmitral pulsed Doppler ultrasound. *Am J Cardiol* 1989 ; 64 : 655-60.
- 13 Mulvagh S, Quinones MA, Kleiman NS, Cheirif J, Zoghbi WA. Estimation of left ventricular end-diastolic pressure from Doppler transmitral flow velocity in cardiac patients independent of systolic performance. *J Am Coll Cardiol* 1992 ; 20 : 112-9.
- 14 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.
- 15 Tenenbaum A, Motro M, Hod H, Kaplinsky E, Vered Z. Shortened Doppler-derived mitral A wave deceleration time : an important predictor of elevated left ventricular filling pressure. *J Am Coll Cardiol* 1996 ; 27 : 700-5.
- 16 Kuecherer HF, Muhideen IA, Kusumoto F. Estimation of left atrial pressure from transesophageal pulsed Doppler echocardiography of pulmonary venous flow. *Circulation* 1990 ; 81 : 1488-97.
- 17 Yamamoto K, Nishimura RA, Chaliki HP, Appleton CP, Holmes DR Jr, Redfield MM. Determination of left ventricular pressure by Doppler echocardiography in patients with coronary artery disease : critical role of left ventricular systolic function. *J Am Coll Cardiol* 1997 ; 30 : 1819-26.
- 18 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.
- 19 Pozzoli M, Capomolla S, Pinna G, Cobelli F, Tavazzi L. Doppler echocardiography reliably predicts pulmonary artery wedge pressure in patients with chronic heart failure with and without mitral regurgitation. *J Am Coll Cardiol* 1996 ; 27 : 883-93.
- 20 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.
- 21 Appleton CP, Galloway JM, Gonzalez MS, Gaballa M, Basnight MA. Estimation of left ventricular pressures using two-dimensional and Doppler echocardiography in adult patients with cardiac disease : additional value of analyzing 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.
- 22 Ito T, Suwa M, Kobashi A, Hirota Y, Kawamura K. Ratio of pulmonary venous to mitral A velocity is a useful marker for predicting mean pulmonary capillary pressure in patients

- with left ventricular systolic dysfunction. *J Am Soc Echocardiogr* 1998 ; 11 : 961-5.
- 23 Dumesnil JG, Gaudreault G, Honos GN, Kingma JG. Use of Valsalva maneuver to unmask left ventricular diastolic function abnormalities by Doppler echocardiography in patients with coronary artery disease or systemic hypertension. *Am J Cardiol* 1991 ; 68 : 515-9.
 - 24 Hurrell DG, Nishimura RA, Ilstrup DM, Appleton CP. Utility of preload alteration in assessment of left ventricular filling pressure by Doppler echocardiography : a simultaneous catheterization and Doppler echocardiographic study. *J Am Coll Cardiol* 1997 ; 30 : 459-67.
 - 25 Kuo LC, Quinones MA, Rokey R, Sartori M, Abinader EG, Zoghbi WA. Quantification of atrial contribution to left ventricular filling by pulsed Doppler echocardiography and the effect of age in normal and diseased hearts. *Am J Cardiol* 1987 ; 59 : 1174-8.
 - 26 Klein AL, Burstow DJ, Tajik AJ, Zachariah PK, Bailey KR, Seward JB. Effects of age on left ventricular dimensions and filling dynamics in 117 normal persons. *Mayo Clin Proc* 1994 ; 69 : 212-24.
 - 27 Gentile F, Mantero A, Lippolis A, Ornaghi M, Azzolini M, Barbier P, et al. Pulmonary venous flow velocity patterns in 143 normal subjects aged 20 to 80 years old. An echo 2D colour Doppler cooperative study. *Eur Heart J* 1997 ; 18 : 148-64.
 - 28 Arakawa M, Akamatsu S, Terazawa E, Dohi S, Miha H, Kagawa K, et al. Age-related increase in systolic fraction of pulmonary vein flow velocity-time integral from transesophageal Doppler echocardiography in subjects without cardiac disease. *Am J Cardiol* 1992 ; 70 : 1190-4.
 - 29 Yamamoto K, Masuyama T, Tanouchi J, Doi Y, Kondo H, Hori M, et al. Effects of heart rate on left ventricular filling dynamics : assessment from simultaneous recordings of pulsed Doppler transmitral flow velocity pattern and haemodynamic variables. *Cardiovasc Res* 1993 ; 27 : 935-41.
 - 30 Voutilainen S, Kupari M, Hippelainen M, Karppinen K, Venttilä M. Age-dependent influence of heart rate on Doppler indexes of left ventricular filling. *J Intern Med* 1994 ; 235 : 435-41.
 - 31 Sohn DW, Choi YJ, Oh BH, Lee MM, Lee YW. Estimation of left ventricular end-diastolic pressure with the difference in pulmonary venous and mitral A durations is limited when mitral E and A waves are overlapped. *J Am Soc Echocardiogr* 1999 ; 106-12.
 - 32 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.
 - 33 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.
 - 34 Gorcsan J, Snow FR, Paulsen W, Nixon JV. Non invasive estimation of left atrial pressure in patients with congestive heart failure and mitral regurgitation by Doppler echocardiography. *Am Heart J* 1991 ; 121 : 858-63.
 - 35 Neumann A, Soble JS, Anagnos PC, Kagzi M, Parillo JE. Accurate noninvasive estimation of left ventricular end-diastolic pressure : comparison with catheterization. *J Am Soc Echocardiogr* 1998 ; 11 : 126-31.
 - 36 Yamamoto K, Nishimura RA, Chaliki HP, Appleton CP, Holmes DR Jr, Redfield MM. Determination of left ventricular pressure by Doppler echocardiography in patients with coronary artery disease : critical role of left ventricular systolic function. *J Am Coll Cardiol* 1997 ; 30 : 1819-26.
 - 37 Castello R, Vaughn M, Dressler FA, McBride LR, Willman VL, Kaiser GC, et al. Relation between venous flow and pulmonary wedge pressure : influence of cardiac output. *Am Heart J* 1995 ; 130 : 127-34.
 - 38 Nagueh SF, Kopelen HA, Zoghbi WA. Feasibility and accuracy of Doppler echocardiographic estimation of pulmonary artery occlusive pressure in the intensive care unit. *Am J Cardiol* 1995 ; 75 : 1256-62.
 - 39 Boussuges A, Blanc P, Habib G, Sainty JM. Étude des pressions de remplissage du ventricule gauche par échographie Doppler. Quels indices retenir ? *Réanim Urg* 1999 ; 8 : 135S.
 - 40 Vignon P. Échocardiographie-Doppler et détresse respiratoire aiguë. In : Cohen Y, Mercat A, Timsit JF, Dhainaut JF, Slama M, Vallet B, et al., Eds. *Actualités en réanimation et urgences* 1999. Paris : Elsevier ; 1999. p. 241-52.
 - 41 Feigenbaum MS, Feigenbaum M, Welsch MA, Mitchell M, Vincent K, Braith RW, et al. Contracted plasma and blood volume in chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2000 ; 35 : 51-5.
 - 42 De Pamphilis O, Thyraut M, Anguel N, Mercat A, Richard C, Teboul JL. Intérêt de l'analyse par échocardiographie transœsophagienne des flux veineux pulmonaire et transmitral pour optimiser la précharge ventriculaire gauche chez l'insuffisant cardiaque. *Réanim Urg* 1996 ; 5 : 784.
 - 43 Bonow RO, Udelson JE. Left ventricular diastolic dysfunction as a cause of congestive heart failure. *Ann Intern Med* 1992 ; 117 : 502-10.
 - 44 Boussuges A, Pinet C, Molenat F, Burnet H, Ambrosi P, Badier M, et al. Left atrial and ventricular filling in chronic obstructive pulmonary disease : An echo-Doppler study. *Am J Resp Crit Care Med* 2000 ; 162 : 670-5.
 - 45 Gouello JP, Dussaussoy C, Roy PM, Guiraud MP, Bouachour G, Alquier P. Altération de la fonction diastolique responsable d'une insuffisance cardiaque gauche : difficultés diagnostique et thérapeutique. *Réanim Urg* 1996 ; 5 : 115-6.
 - 46 Boussuges A, Molenat F, Burnet H, Cauchy E, Sainty JM, Gardette B, et al. Operation Everest III : Modification of cardiac function secondary to altitude induced hypoxia : An echocardiography and Doppler study. *Am J Resp Crit Care Med* 2000 ; 161 : 264-70.
 - 47 Munt B, Jue J, Gin K, Fenwick J, Tweeddale M. Diastolic filling in human severe sepsis : An echocardiographic study. *Crit Care Med* 1998 ; 26 : 1829-33.
 - 48 Klein AL, Hatle LK, Taliercio CP, Oh JK, Kyle RA, Gertz MA, et al. Prognostic significance of Doppler measures of diastolic function in cardiac amyloidosis. A Doppler echocardiographic study. *Circulation* 1991 ; 83 : 808-16.
 - 49 Xie GY, Berk MR, Smith MD, Gurley JC, DeMaria AN. Prognostic value of Doppler transmitral Flow patterns in patients with congestive heart failure. *J Am Coll Cardiol* 1994 ; 24 : 132-9.
 - 50 Pinamonti B, Zecchin M, Di Lenarda A, Gregori D, Sinagra G, Camerini F. Persistence of restrictive left ventricular filling pattern in dilated cardiomyopathy : an ominous prognostic sign. *J Am Coll Cardiol* 1997 ; 29 : 604-12.