

# Évaluation hémodynamique en médecine d'urgence : apport de l'échocardiographie.

X. Bobbia, L. Muller, PG. Claret, S. Pommet, JE. de La Coussaye

Division Anesthésie Réanimation Douleur Urgences, CHU Nîmes, Nîmes, France.

## Points essentiels

- L'échocardiographie améliore la pertinence de l'examen clinique au cours de l'insuffisance circulatoire aiguë.
- Il s'agit d'un examen échocardiographique « focalisé » destiné à apporter facilement des réponses binaires à des questions cliniques (par exemple tamponnade : oui/non).
- L'échocardiographie n'est un outil diagnostique puissant que si les étapes habituelles du raisonnement médical ont été réalisées : histoire de la maladie, examen clinique.
- La parfaite connaissance théorique et pratique des coupes cardiaques est un prérequis indispensable.
- Les recommandations de l' *American College of Emergency Physicians* sur l'échocardiographie focalisée par le médecin urgentiste proposent 4 objectifs principaux:
  - Savoir identifier un épanchement péricardique.
  - Savoir évaluer une dysfonction ventriculaire gauche
  - Savoir évaluer une dilatation du ventricule droit
  - Savoir reconnaître une hypovolémie majeure
- Ces objectifs sont proches du niveau basique d'échocardiographie habituellement décrit en 3 niveaux.
- Il est probable que ces objectifs suffisent en médecine pré hospitalière. Leur réalisation est possible avec des échographes ultraportables.
- Les patients admis en salle d'accueil des urgences vitales doivent bénéficier d'une qualité de prise en charge initiale équivalente à celle d'un service de réanimation.
- Certains objectifs du niveau intermédiaire paraissent nécessaires pour une évaluation hémodynamique même simple :
  - Savoir réaliser et interpréter un Doppler mitral pour l'évaluation statique des pressions de remplissage du ventricule gauche.
  - Savoir reconnaître un septum paradoxal.
  - Savoir mesurer et interpréter un ITV sous aortique dans le but de prédire la réponse à l'expansion volémique.
  - Savoir détecter de grosses fuites valvulaires
- La diffusion, en France, de la pratique de l'échocardiographie à visée hémodynamique est encore beaucoup trop confidentielle en structures d'urgences.

## **I. Introduction : L'échocardiographie, une application de l'échographie focalisée.**

L'utilisation de l'échographe par le clinicien dépasse le champ de la médecine d'urgence<sup>1</sup>. L'échographie focalisée (appelée également échographie clinique, *bedside* ou *point of care ultrasonography* en anglais), a pour but de répondre de façon binaire (oui/non) à des questions non résolues par la démarche clinique. Cette technologie transportable au chevet du malade, y compris à la phase préhospitalière améliore la pertinence clinique du praticien<sup>2</sup>. Si la plupart des médecins urgentistes (MU) pratiquent l'échographie focalisée en intra- et extrahospitalier, les objectifs diagnostiques et thérapeutiques ne sont pas strictement superposables. La médecine d'urgence intra hospitalière des patients critiques est très proche de la prise en charge initiale en réanimation. En condition extra hospitalière, l'échographie, facilitée par les appareils ultraportables répondant aux contraintes du milieu, répond à des objectifs diagnostiques plus simples. Les techniques échographiques ne doivent être utilisées qu'en cas d'un bénéfice attendu immédiat, sans allonger inutilement les délais de prise en charge.

Dans le cadre des insuffisances circulatoires aiguës, l'échocardiographie transthoracique (ETT) constitue le moyen le moins invasif et le plus rapide d'obtenir une évaluation hémodynamique quasi complète<sup>3</sup>. En urgence, l'ETT permet d'identifier ou exclure une cause cardiogénique d'un état de choc, de guider le remplissage vasculaire et de préciser la cause et les conséquences ventriculaires droites d'une hypoxémie<sup>4</sup>. Si l'examen clinique et l'anamnèse doivent rester la base du raisonnement médical, plusieurs études montrent que la réalisation d'une ETT permet d'améliorer la performance diagnostique du praticien en montrant des anomalies significatives ignorées par la clinique<sup>4-7</sup>. Comme pour les autres applications de l'échographie focalisée, la performance diagnostique d'une ETT est d'autant plus élevée que l'étape clinique préalable a été complète et sérieuse. La justesse des informations fournies par une ETT est largement conditionnée par un enregistrement des coupes et des flux Doppler le plus exact possible, ce qui impose de connaître parfaitement l'examen d'une ETT normale. Au-delà de l'évaluation de la volémie, l'échocardiographie facilite le diagnostic de défaillance ventriculaire gauche ou droite<sup>7,8</sup>.

Ce texte décrit les objectifs de l'échocardiographie dans l'évaluation hémodynamique en médecine d'urgence, en présentant les différentes techniques et mesures utilisées et leur interprétation.

## **II. Techniques échocardiographiques :**

### **A. L'examen écho cardiographique en urgence :**

#### **1. Modes d'échographie :**

- **Mode B :**

L'échographie permet des images bidimensionnelles (mode 2D, BD ou mode B comme brillance) ou en temps-mouvement (mode TM ou M). Les images 2D montrent les structures anatomiques et constituent les images échographiques au sens commun du terme. Le mode TM ou M permet la visualisation de structures anatomiques en mouvement en fonction du temps à partir d'un plan de coupe choisi. Il permet notamment la mesure des diamètres de la veine cave inférieure.

- **Modes Doppler :**

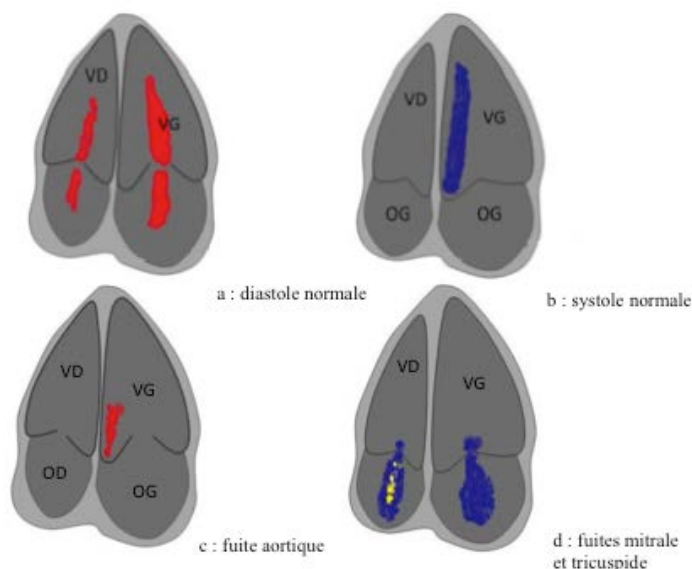
Deux modes Doppler peuvent être utilisés en routine aux urgences: couleur et pulsé. Physiologiquement, les vitesses intra cardiaques sont inférieures à 1,5 m/s. La base d'un examen Doppler est d'être aligné avec le flux analysé (angle < 30 ° entre le flux et le tir Doppler) sous peine de sous-estimer les vitesses. Un pré repérage en Doppler couleur permet de vérifier visuellement l'alignement du flux et du tir. Le Doppler continu est un troisième mode, réservé à l'évaluation fine des valvulopathies grâce à sa capacité à mesurer les vitesses élevées (> 1,5 m/s). Son utilisation dépasse le cadre de cet exposé.

○ *Doppler pulsé :*

Dans ce mode, les ultrasons (US) sont émis par paquets discontinus. Il permet d'analyser une zone précise, punctiforme mais ne permet pas l'analyse de vitesses supérieures à 1,5 m/s. Il existe donc une bonne résolution spatiale mais une ambiguïté des vitesses. Un flux venant vers la sonde est dit positif et est codé au-dessus de la ligne de base. Un flux fuyant la sonde est dit négatif et est codé au-dessous de la ligne de base. L'incapacité de ce mode à analyser les vitesses élevées, se traduit par le phénomène d'*aliasing* ou repliement spectral où le spectre Doppler est décapité sur les hautes vitesses apparaissant en miroir dans le sens inversé. En pratique, le mode pulsé permet d'analyser les flux physiologiques, en particulier les pressions de remplissage par le flux mitral et le calcul du débit cardiaque par le flux sous aortique.

○ *Doppler couleur (Figure 1) :*

Le Doppler couleur est un Doppler pulsé. Il comporte donc les limites de ce dernier : bonne résolution spatiale mais ambiguïté des vitesses (*Aliasing*). Le mode couleur consiste en une cartographie des vitesses au sein d'un volume d'échantillonnage matérialisé sur l'image par un secteur trapézoïdal. Au sein du volume d'échantillonnage, chaque globule rouge en mouvement reçoit un code couleur qui est fonction du sens de son déplacement. Un flux venant vers la sonde est dit positif et est codé en rouge. Un flux fuyant la sonde est dit négatif et est codé en bleu. Le phénomène d'*aliasing* est très informatif en Doppler couleur car il se traduit par un codage jaune. La visualisation d'un *aliasing* témoigne d'une accélération régionale du flux et permet de localiser la zone responsable d'une sténose. En pratique, le mode couleur permet un pré repérage pour vérifier visuellement l'alignement du flux et du tir en doppler pulsé. Il permet également une évaluation semiquantitative des pathologies valvulaires.



**Figure 1 : flux Doppler couleur normaux et pathologiques en diastole (a et c) et en systole (b et d).** En diastole, le flux de remplissage auriculo ventriculaire, codé en rouge, vient vers la sonde (a). En systole, le flux d'éjection ventriculaire, codé en bleu, fuit la sonde (b).

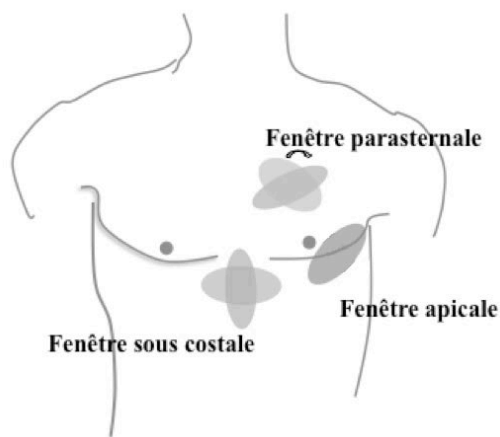
## 2. Coupes échographiques bidimensionnelles de base :

- Fenêtres acoustiques utilisables en ETT (figure 2):

Comme pour les foyers d'auscultation cardiaque, les images d'échographie cardiaque sont recueillies au niveau des régions thoraciques offrant une moindre résistance à la pénétration des ultrasons, appelées fenêtres acoustiques. Les fenêtres parasternales, apicales et sous-costales sont les 3 voies préférentielles.

- Coupes nécessaires :

Il s'agit des premières notions à acquérir lors de l'apprentissage de l'échocardiographie. Ces coupes doivent être parfaitement connues par l'opérateur. Pour fixer les idées, la connaissance de ces coupes peut être considérée acquise lorsque l'opérateur en apprentissage est capable de les dessiner de mémoire.



**Figure 2 : Fenêtres acoustiques en échocardiographie.** Les 3 fenêtres principales sont les fenêtres parasternales, apicales et sous-costales. Les ombres ovales grises représentent la zone cutanée sur laquelle est posée la surface d'émission de la sonde d'échographie.

- Coupe parasternale grand axe (PSGA) (Figure 3) :

La sonde est appliquée au bord gauche du sternum, son axe suivant une ligne imaginaire reliant le mamelon gauche à la zone médioclaviculaire droite. Les structures visualisées sont décrites en *Figure 3*. Cette coupe est fondamentale pour la recherche et la quantification d'un épanchement péricardique grâce à la visualisation du péricarde postérieur qui apparaît hyperéchogène et de son feuillet de réflexion. Ce dernier se trouve entre l'OG et l'aorte thoracique descendante. Ainsi, en cas d'épanchement péricardique, le liquide se localise entre l'OG et l'aorte, à la différence d'un épanchement pleural qui passe en arrière de l'aorte. Cette coupe est donc précieuse pour le diagnostic différentiel d'épanchement péricardique et pleural gauche. La coupe PSGA permet la mesure du diamètre de la chambre de chasse du ventricule gauche (VG) qui est utile au calcul du débit cardiaque (diamètre bord à bord interne au ras de l'insertion de feuillets aortiques, côté VG). Elle permet également d'étudier visuellement l'aspect et la cinétique des valves aortiques et mitrales en mode 2D et Doppler couleur pour la détection rapide d'une valvulopathie majeure.

- Coupe parasternale petit axe (PSPA) (Figure 3)

A partir de la position précédente, une rotation de 90° dans le sens horaire est appliquée à la sonde. Cette coupe visualise le VG et le ventricule droit (VD) en coupe transversale, séparés par le septum

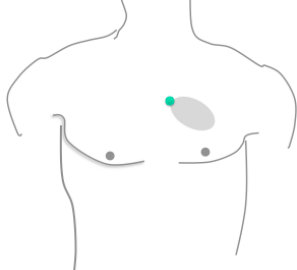
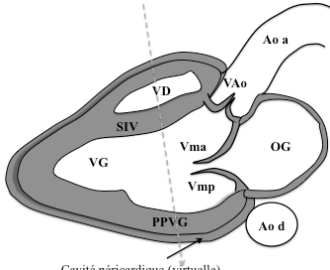
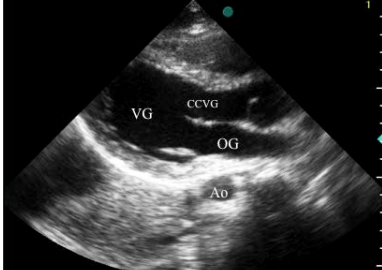
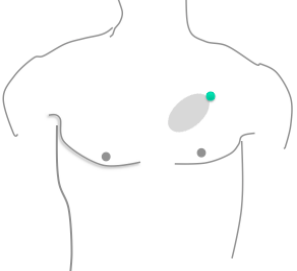
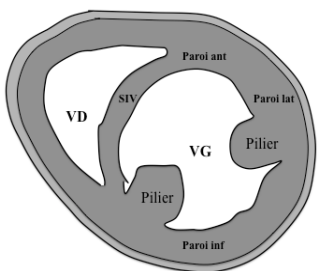

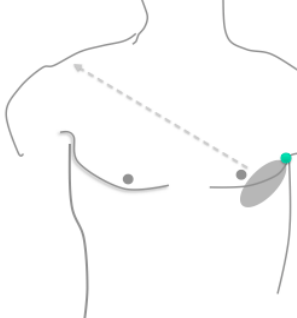
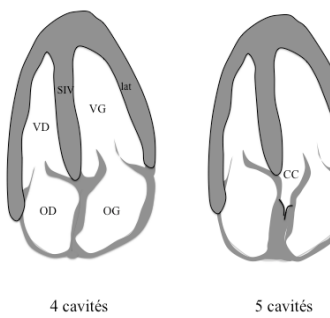
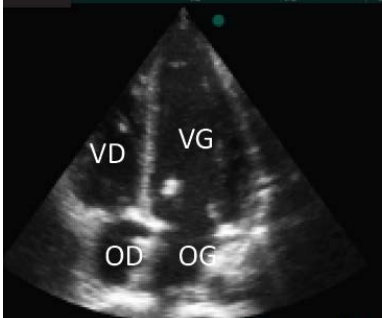
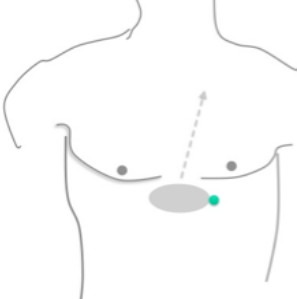
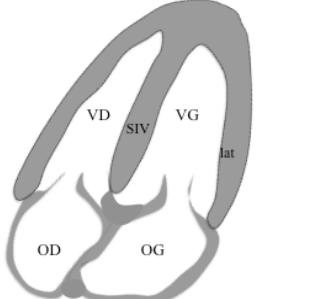
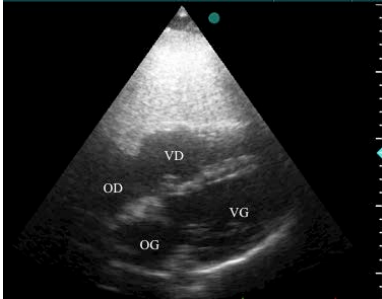
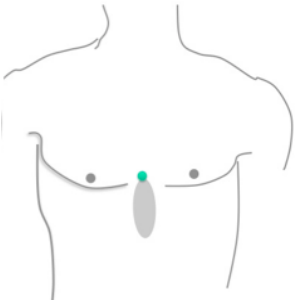
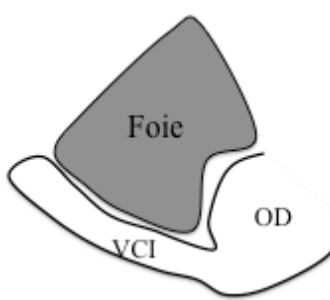
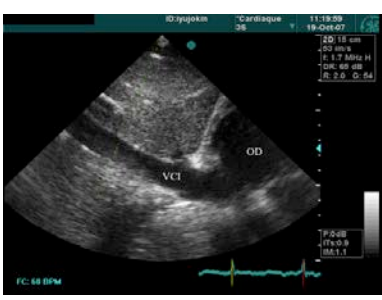
interventriculaire (*Figure 3*). Le VG doit apparaître parfaitement discoïde. L'intérêt de cette coupe est d'analyser la cinétique globale du VG et a un intérêt majeur dans le diagnostic du cœur pulmonaire aigu où elle permet la mise évidence du septum paradoxal.

○ *Coupes apicales 4 et 5 cavités (Figure 3)*

Ces deux coupes sont obtenues en positionnant la sonde au niveau du choc de pointe, au-dessous et en dehors du mamelon gauche, en « visant » l'épaule droite. La pointe du cœur se trouve dans le sommet du cône d'image, les 4 cavités cardiaques (VG, VD, oreillette gauche (OG), oreillette droite (OD)) sont visualisées en positionnant par convention les cavités gauches à droite de l'image. Une bascule minimale tangentielle (10°) de la sonde du patient permet de dégager la chambre de chasse du ventricule gauche qui constitue la cinquième cavité permettant de visualiser le flux d'éjection ventriculaire gauche nécessaire au calcul du débit cardiaque. Ces 2 coupes sont les plus informatives en urgence. La première analyse visuelle est le rapport des surfaces ventriculaire télédiastoliques droite et gauche. Physiologiquement, le VD a une forme triangulaire et sa surface est de 60 % de celle du VG<sup>9</sup>. La mesure du rapport STDVD/STDVG peut être remplacée par une évaluation visuelle (dilatation majeure, modérée, absente), notamment pour le diagnostic de dilatation aiguë du ventricule droit au cours du cœur pulmonaire aigu<sup>9</sup>. Elles permettent une appréciation globale de la fonction contractile ventriculaire gauche, le diagnostic d'une valvulopathie mitrale, tricuspide ou aortique majeure (la valve pulmonaire n'est pas visualisée), le diagnostic d'une dilatation ventriculaire gauche et surtout droite. Un épanchement péricardique important sera bien visualisé sur ces coupes. Enfin, du fait du bon alignement des flux avec l'axe de tir Doppler, elles permettent l'analyse des flux Doppler intra cardiaques mitral et aortique qui permettent l'évaluation des pressions de remplissage gauche, du débit cardiaque et la quantification grossière d'une valvulopathie par Doppler couleur. Le calcul de la FEVG par méthode de Simpson qui permet de reconstruire les volumes diastoliques et systoliques à partir de leur planimétrie est théoriquement la méthode de référence mais elle est difficile et peu reproductible, donc peu utile en pratique<sup>10</sup>. A contrario, l'évaluation visuelle de la FEVG est validée et bien adaptée à la pratique clinique<sup>10,11</sup>.

○ *Coupes sous-costales (Figure 3)*

La sonde est appliquée au creux épigastrique, horizontalement, en « visant » le médiastin, permettant d'obtenir une coupe 4 cavités oblique sur l'écran. En effectuant une rotation de 90° dans le sens anti horaire et en « visant » le bord droit du rachis, il est possible de dérouler la veine cave inférieure (VCI) en coupe longitudinale. L'étude des variations respiratoires de la VCI est un reflet indirect du statut volémique. Bien que moins précise en terme anatomique et ne permettant pas un bon alignement des flux Doppler, la coupe sous-costale reste parfois la seule exploitable lorsque le patient est peu échogène et fournit des éléments 2D précieux : fonctions systoliques VG et VD visuelles, épanchement péricardique. Une rotation de la sonde de 90° dans le sens anti horaire et en direction du médiastin permet d'obtenir une coupe transversale dont les informations fournies sont comparables à celles fournies par la coupe PSPA.

Coupes en échocardiographie	Position de la sonde, le point vert représentant le curseur de la sonde	Structures anatomiques visibles	Image échocardiographique
<b>Coupe parasternale grand axe</b>			
<b>Coupe parasternale petit axe</b>			
<b>Coupes apicales</b>			
<b>Coupe sous-costale 4 cavités</b>			
<b>Incidence « veine cave inférieure »</b>			

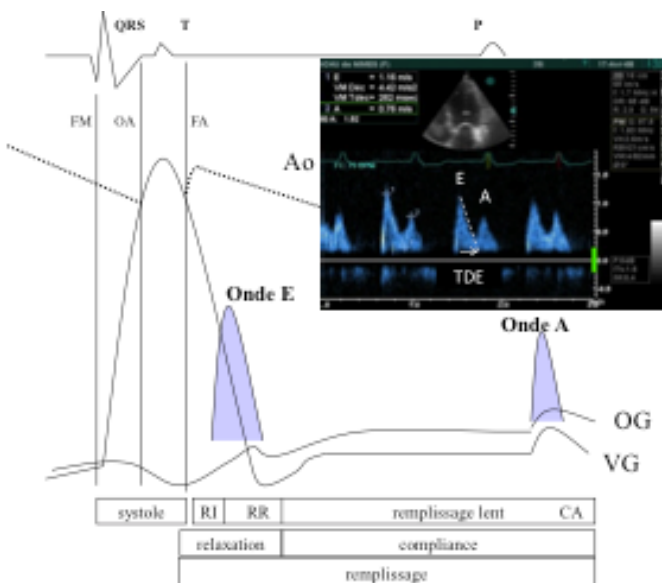
**Figure 3 : Coupes d'échocardiographie utiles en médecine d'urgence**

### 3. Flux Doppler intra cardiaques normaux :

- *Doppler mitral (Tableau 1, figure 4):*

Le flux mitral enregistre le flux de remplissage diastolique du VG. Il est essentiel pour l'étude des pressions de remplissage ventriculaire gauche. Il est obtenu à partir de la coupe 4 cavités, en Doppler pulsé, en positionnant la fenêtre Doppler au ras de l'extrémité des 2 feuillets mitraux en position ouverte (Figure 1). Le flux mitral normal est positif, codé en rouge en couleur et montre deux ondes : une précoce appelée onde E (*early*) correspondant au remplissage passif, suivi d'une onde télédiastolique, correspondant à la systole auriculaire appelée onde A (*atrial*) (Figure 4). Le profil mitral doit préférentiellement être analysé avec enregistrement simultané de l'électrocardiogramme (permet de différencier ces 2 ondes). En cas de fibrillation auriculaire, l'onde A est absente. Le temps de décroissance de l'onde E (TDE = temps séparant le pic et le point de retour de l'onde E sur la ligne de base) est mesuré lors de l'analyse du flux mitral. Toute la difficulté de l'analyse du flux mitral réside dans le fait que les ondes E et A varient avec l'âge (ou la compliance ventriculaire gauche) (Tableau 1) et les pressions de remplissage. Malgré ces difficultés d'analyse, la vélocité de l'onde E permet une évaluation grossière des pressions de remplissage : basses en dessous de 0,6 m/s, hautes au-delà de 0,9 m/s<sup>12</sup>. Les valeurs comprises entre 0,6 et 0,9 m/s ne permettent aucune conclusion. Dans ce cas, l'étude de la réponse à l'expansion volémique (précharge dépendance, « *fluid responsiveness* ») prend tout son sens.

Âge	2-20 ans	21-40 ans	41-60 ans	> 60 ans
Onde E (cm/s)	88 ± 14	75 ± 13	71 ± 14	71 ± 11
Onde A (cm/s)	49 ± 12	51 ± 11	57 ± 13	75 ± 12
Rapport E/A	1,88 ± 0,45	1,53 ± 0,40	1,28 ± 0,25	0,96 ± 0,18
TDE (ms)	142 ± 19	166 ± 14	181 ± 19	200 ± 29



**Figure 4 : Signification physiologique du flux Doppler mitral.** Ce flux correspond au remplissage diastolique du ventricule gauche et est caractérisé par une onde E protodiastolique correspondant au remplissage passif et une onde A télédiastolique correspondant à la systole auriculaire. FM = fermeture mitrale, OA = ouverture aortique, FA = fermeture aortique, RI = relaxation isovolumétrique, RR = remplissage rapide, TDE = temps de décélération de l'onde E, Ao = courbe de pression aortique, OG = courbe de pression auriculaire gauche, VG = courbe de pression ventriculaire gauche ;

- Flux d'éjection ventriculaire gauche (flux sous aortique intraventriculaire) et mesure du débit cardiaque :

Ce flux est enregistré en coupe 5 cavités (Figure 3). Il fuit la sonde et est codé en bleu en Doppler couleur. Son orientation est parallèle au septum interventriculaire. La constatation d'un flux couleur bleu homogène (absence d'*aliasing*) signe qu'il n'existe aucune accélération pathologique du flux (qui laisserait suspecter une cardiomyopathie obstructive ou une sténose aortique.). En positionnant la fenêtre de Doppler pulsé dans le ventricule gauche, juste sous la valve aortique, un spectre négatif est enregistré, permettant la mesure de l'intégrale temps – vitesse (ITV sous aortique, normale 14 à 20 cm). L'ITV sous aortique est un des déterminants majeurs du volume d'éjection systolique (VES). Le VES est le produit de l'ITV par la surface de la chambre de chasse du VG obtenue en mesurant le diamètre (D) de cette dernière en PSGA (la surface (S) est obtenue en appliquant la formule  $\pi D^2/4$ ).

---

**Tableau 2 : Proposition de standardisation de l'ETT et valeurs normales, par ordre chronologique d'analyse.**

---

**Coupe parasternale grand axe :**

*Mode B :*

- Rechercher un épanchement péricardique. Si présent : 1. le différencier d'un épanchement pleural gauche (la localisation entre l'aorte thoracique descendante et l'OG correspond à un épanchement péricardique). 2. le quantifier et affirmer ou infirmer l'existence d'une tamponnade (question exclue de cet exposé).
- Cinétique et anatomie visuelle des valves mitrale et aortique.
- Mesure du diamètre de la chambre de chasse sous aortique en télésystole pour le calcul du débit cardiaque

*Doppler couleur :*

- De principe sur les valves mitrale et aortique afin de détecter une fuite majeure

**Coupe parasternale petit axe :**

*Mode B :*

- Cinétique visuelle globale du VG : FEVG visuelle semi-quantitative (normale, modérément altérée, très altérée)
- Cinétique du septum IV, recherche de septum paradoxal

**Coupes apicales 4 et 5 cavités**

*Mode B :*

- Cinétique visuelle globale du VG : FEVG visuelle semi-quantitative (normale, modérément altérée, très altérée)
- Cinétique et anatomie visuelle des valves mitrale, aortique et tricuspide
- Rapport visuel VD/VG (< 1)
- Fonction VD
- Surface OG : marqueur de dysfonction diastolique (< 20 cm<sup>2</sup>)
- Éventuellement : rechercher un épanchement péricardique non vu en PSGA

*Doppler couleur :*

- Sur les valves mitrale, tricuspide et aortique afin de détecter une fuite majeure
- Sur la chambre de chasse du VG afin de repérer une obstruction intra ventriculaire

*Doppler Pulsé :*

- Mitral : Onde E (0,7-0,9 m/s), TDE (140 – 220 ms), rapport E/A (0,8-2,2) (Incidence 4 cavités)
- Sous aortique intraventriculaire : ITV (14-20 cm) (Incidence 5 cavités)

**Coupes sous-costales:**

*Mode B :*

- Idem 4 cavités sauf diamètre de la chambre de chasse

*Mode TM en incidence veine cave dans sa zone la plus variable :*

- Diamètre : (15-25 mm)
- Variabilité respiratoire (indice de collapsibilité) : diamètre max-min/max (< 40 %)

**A la fin de l'examen :**

- Enregistrer les boucles vidéos et les flux Doppler sous le nom du patient.
  - Rédiger un compte rendu en concluant « Échographie cardiaque normale », soit à un diagnostic de pathologie, en précisant les conditions d'examen (bonnes ou mauvaises).
- 

Le débit cardiaque (DC) est obtenu en multipliant le volume d'éjection systolique par la fréquence cardiaque (FC).



$$DC = FC \times ITV \times S$$

Physiologiquement, la vitesse maximale du flux d'éjection ventriculaire gauche est inférieure à 1,5 m/s. En cas d'accélération, un obstacle à l'éjection ventriculaire doit être suspecté, les 2 causes principales étant l'obstruction intra ventriculaire (cardiomyopathie hypertrophique obstructive, CMO) et la sténose aortique. En pathologie, le suivi des variations d'ITV suffit. Le diamètre de la chambre de chasse et la fréquence cardiaque variant peu sur des périodes de temps courts, ces valeurs peuvent être négligées et la variation du débit cardiaque (par exemple sous l'effet d'une expansion volémique) peut être suivie par les variations d'ITV, faciles à recueillir et reproductibles<sup>13,14</sup>.

## B. Utilité de l'échocardiographie en urgence :

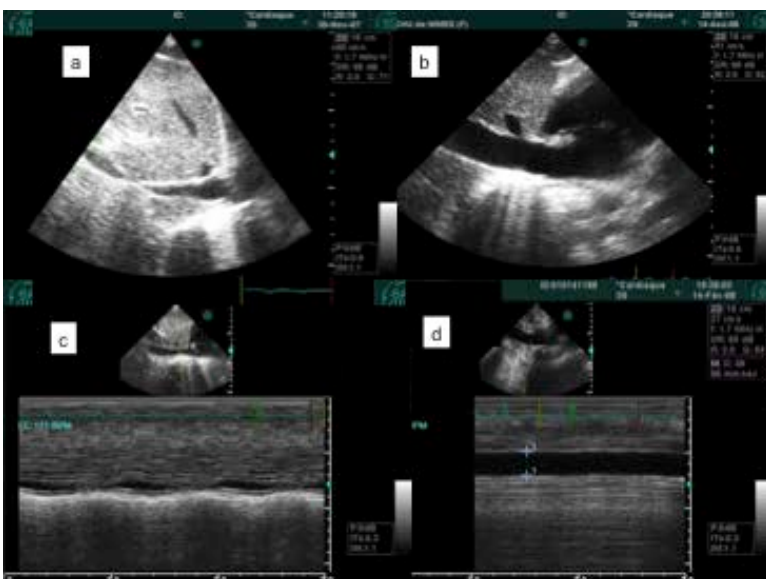
### 1. Estimation de la volémie par échographie-Doppler cardiaque :

En cas d'hypovolémie sévère, l'échographie bidimensionnelle retrouve de petites cavités ventriculaires hyperkinétiques avec collapsus systolique des parois du ventricule gauche (VG). Le plus souvent, le diagnostic est moins évident et d'autres paramètres doivent être utilisés. En pratique, la volémie peut être analysée soit par des indices statiques, soit par des indices dynamiques. Une réponse positive à l'expansion volémique est définie comme une augmentation de 15 % du débit cardiaque (ou du volume d'éjection systolique) après un remplissage vasculaire de 250 à 500 ml<sup>15</sup>. Lorsque les paramètres statiques et dynamiques n'ont pu apporter de réponse évidente quant à la nécessité d'une expansion volémique, l'épreuve de remplissage (« *fluid challenge* ») garde tout son intérêt.

- Paramètres statiques de précharge :

- Évaluation des pressions droites :

La valeur de la POD peut être obtenue en mesurant la pression veineuse centrale. Si le patient n'est pas équipé d'un cathéter veineux central, la POD peut être évaluée chez le patient en ventilation spontanée en échographie transthoracique en mesurant le diamètre de la VCI et ses variations ventilatoires (*Tableau 3*). Une étude récente suggère que le seuil de collapsibilité classique de la VCI de 50 % devrait être revu à la baisse pour une valeur critique de 40 %<sup>16</sup>.



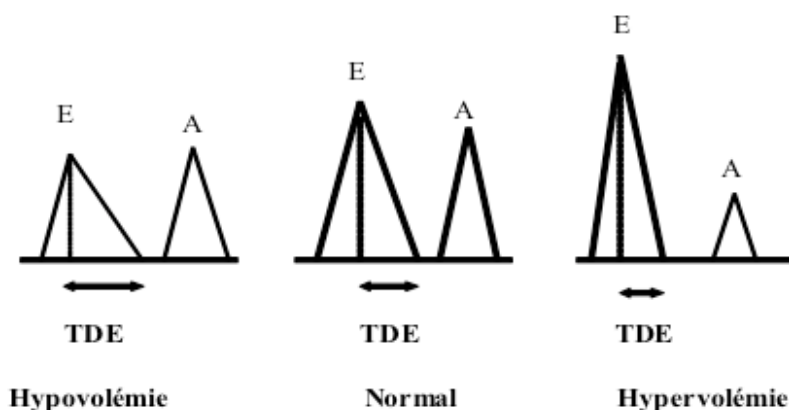
**Figure 5 : Étude des variations respiratoires de la veine cave inférieure (VCI) par voie sous-costale en mode 2D (a et b) et TM (c et d). a : VCI totalement collabée, hypovolémie probable. b : VCI dilatée. c : collapsus respiratoire de 100 %, pressions droites effondrées, précharge dépendance. d : VCI dilatée sans variation respiratoire, pressions droites élevées, précharge indépendance.**

**Tableau 3 : Évaluation semi-quantitative de la pression de l'oreillette droite (POD) à partir du diamètre et des variations respiratoires de la veine cave inférieure (VCI) en ventilation spontanée<sup>17</sup>.**

Diamètre de la VCI (mm)	Variations respiratoires de la VCI (%)	Valeur de POD (mmHg)
Bas : < 15	Collapsus inspiratoire de 100 %	0-5
Normal : 15-25	> 50	6-10
	< 50	11-15
Elevé : > 25	< 50	16-20
	Absentes	> 20

○ *Évaluation des pressions gauches par Doppler mitral :*

L'amplitude de l'onde E diminue avec l'âge (Tableau 1) et les pressions de remplissage. Une onde E de basse vélocité peut correspondre à une hypovolémie ou à une valeur normale chez un sujet âgé. Un rapport E/A > 2 est fréquemment observé chez le sujet jeune sans signification pathologique. Un rapport E/A inversé chez un sujet jeune signe dans la plupart des cas une hypovolémie alors qu'un rapport E/A supérieur à 2 chez un sujet âgé signe dans la plupart des cas des pressions de remplissage élevées. Un rapport E/A > 2 semble constituer un excellent élément de prédiction d'une pression artérielle pulmonaire d'occlusion (PAPO) > 18 mmHg, avec une valeur prédictive positive de 100 %<sup>18</sup>. Le temps de décélération de l'onde E (TDE) varie également avec les pressions de remplissage. Le TDE s'allonge en cas d'hypovolémie et se raccourcit en cas d'hypervolémie ou de trouble de la distensibilité du ventricule gauche. L'intérêt principal du TDE est de diagnostiquer une élévation critique des pressions gauches, notamment dans le cadre d'une détresse respiratoire associée à l'insuffisance circulatoire. Un TDE < 150 ms est fortement évocateur de pressions gauches élevées<sup>19,20</sup>. Les variations des ondes E, A et du TDE avec la volémie sont résumées dans la figure 6.



**Figure 6 : Variations des ondes E, A et du TDE avec le statut volémique.**

Comme pour tous les indices statiques, les valeurs intermédiaires de l'onde E (Onde E comprise entre 0,7 et 1 m/s) et du rapport E/A (E/A entre 1 et 2) sont inexploitable en termes de prédiction de la réponse au remplissage.

- *Paramètres dynamiques de précharge :*

Le principe des indices dynamiques est qu'en ventilation mécanique contrôlée, des variations respiratoires de débit cardiaque signe une précharge dépendance de ce dernier. En d'autres termes, la constatation d'une variation de plus de 13 % (défini par la formule débit maximal - minimal / ((max + min)/2) du débit cardiaque permet de prédire avant remplissage une augmentation de débit cardiaque de plus de 15 % après expansion volémique. Ces indices, très séduisants au plan conceptuel, ne sont applicables qu'en ventilation mécanique contrôlée avec un volume courant > 8 ml/kg, chez un patient parfaitement adapté au ventilateur et en rythme sinusal. Ces critères stricts limitent considérablement l'utilisation de ces indices au quotidien...??

- *Lever passif de jambe, épreuve de remplissage (Fluid challenge):*

Le seul indice dynamique actuellement validé en ventilation spontanée comme en ventilation mécanique est l'estimation de la précharge-dépendance par étude des variations de l'ITV sous aortique après manœuvre de lever passif de jambes (LPJ)<sup>21-23</sup>. Cette manœuvre entraîne un transfert de volume sanguin du secteur périphérique vers le secteur central. Un LPJ de 45° reproduit un remplissage vasculaire de 300 ml de colloïde<sup>24</sup>. En échocardiographie, une augmentation de 12 % de l'ITV sous aortique est prédictive d'une augmentation de 15 % du débit cardiaque après expansion volémique de 500 ml<sup>22,23</sup>. Cette méthode permet une évaluation précise de la précharge-dépendance de façon totalement non-invasive et réversible sans risque de surcharge volémique.

Lorsque les paramètres précédents n'ont pas permis de prédire la réponse à l'expansion volémique, l'épreuve de remplissage reste le seul moyen de confirmer, toutefois *a posteriori*, le diagnostic d'hypovolémie. Une augmentation de 15 % du débit cardiaque (ou du volume d'éjection systolique) après un remplissage vasculaire de 250 à 500 ml. Du fait de son analyse *a posteriori*, le principal inconvénient de cette technique est le risque d'administration indue de fluide. Pour éviter cet écueil, notre équipe a récemment proposé de réaliser le *fluid challenge* avec un volume de 100 ml (« *minifluid challenge* ») administré en une minute. Une augmentation de 10 % d'ITV après « *minifluid challenge* » prédit une augmentation de 15 % du débit cardiaque après 500 ml de fluide perfusés en 15 minutes avec une sensibilité et une spécificité de 95 % et 78 %, respectivement<sup>25</sup>. Cette manœuvre n'est cependant validée qu'en ventilation mécanique contrôlée.

Le principal avantage de l'épreuve de remplissage (qu'elle soit conventionnelle ou par « *minifluid* ») est de fournir un critère fort d'arrêt de l'expansion volémique en cas d'absence d'augmentation de l'ITV sous aortique après remplissage.

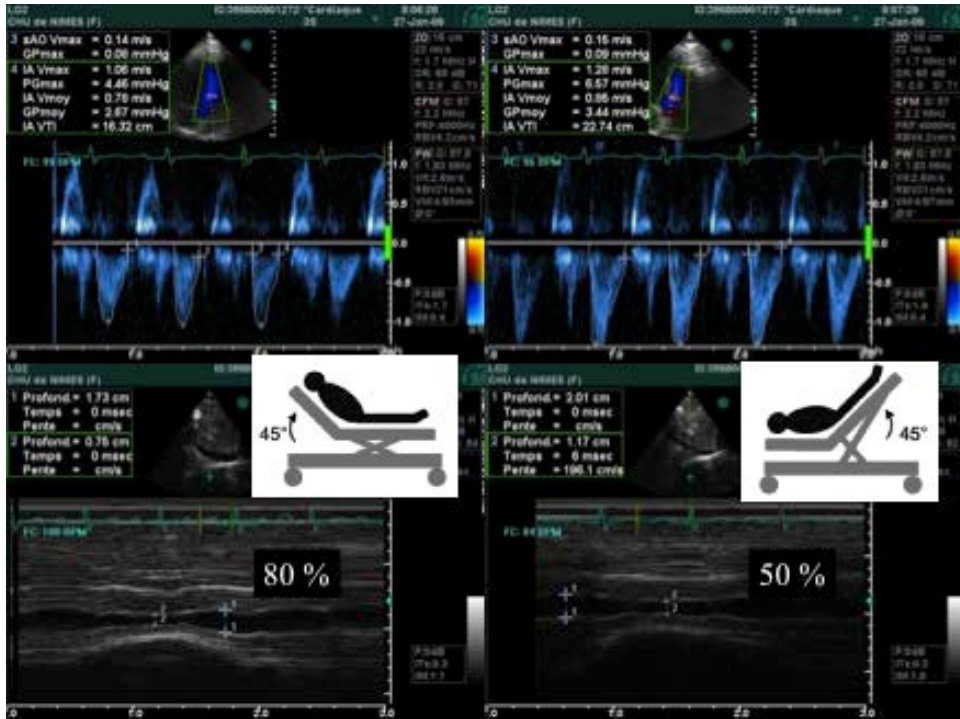


Figure 7: Epreuve de lever passif de jambe. Patient répondeur avec augmentation de l'ITV sous aortique et diminution de la variabilité respiratoire du diamètre de la veine cave inférieure.

2. Recherche d'un épanchement péricardique et critères de tamponnade (figure 8):

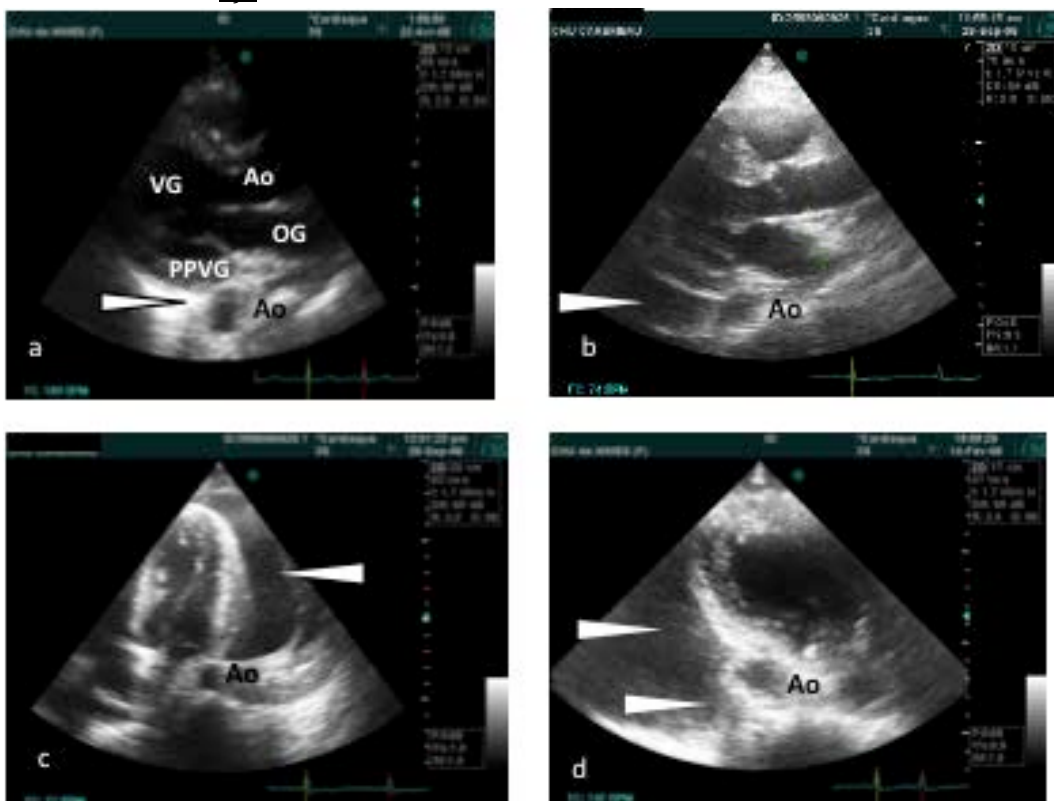


Figure 8: Diagnostic positif et différentiel d'épanchement péricardique. a : échographie normale, coupe PSGA. Le péricarde postérieur normal est hyperéchogène et sa limite postérieure est située entre l'aorte thoracique descendante (Ao) et la paroi postérieure du ventricule gauche (PPVG) (flèche). b :

**épanchement péricardique** (flèche) en coupe PSGA dont la limite postérieure est située entre l'aorte thoracique descendante (Ao) et la paroi postérieure du VG. **c : épanchement péricardique en coupe apicale 4 cavités**, là encore, l'aorte thoracique descendante est un repère fondamental. **d : épanchement pleural gauche** (flèches). L'épanchement est dans ce cas situé en arrière de l'aorte thoracique descendante (Ao).

Le diagnostic d'épanchement péricardique repose sur la constatation d'une image hypoéchogène adjacente aux structures cardiaques. En coupe PSGA, le repère fondamental est celui de l'aorte thoracique descendante apparaissant comme une structure arrondie hypoéchogène située sous le cœur, à la jonction VG-OG (Figure 8a). La ligne de réflexion péricardique se trouve entre l'aorte thoracique descendante et le VG. Ainsi, un épanchement péricardique aura pour limite la zone située entre l'aorte et le VG. La connaissance des ces éléments permet d'éviter le principal piège diagnostique qui est l'épanchement pleural gauche. Dans ce cas, l'épanchement passe en arrière de l'aorte (Figure 8d). Le caractère compressif d'un épanchement (tamponnade) est affirmé par la compression d'une ou plusieurs cavités cardiaques (coupes apicales), le plus souvent l'oreillette et/ou le ventricule droit, plus rarement l'oreillette gauche (25 % des cas) et le VG. Il s'associe à ces signes de compression cardiaque une dilatation majeure de la veine cave inférieure avec disparition des variations respiratoires du diamètre de cette dernière (coupe sous-costale). Les autres signes de tamponnade sont la variation respiratoire de la vitesse de l'onde E mitrale en ventilation spontanée (pouls paradoxal échographique marqué par une diminution inspiratoire de la vitesse de l'onde E) et l'oscillation du cœur rythmée par les battements cardiaques au sein de l'épanchement, connue sous l'expression de « *swinging heart* ».

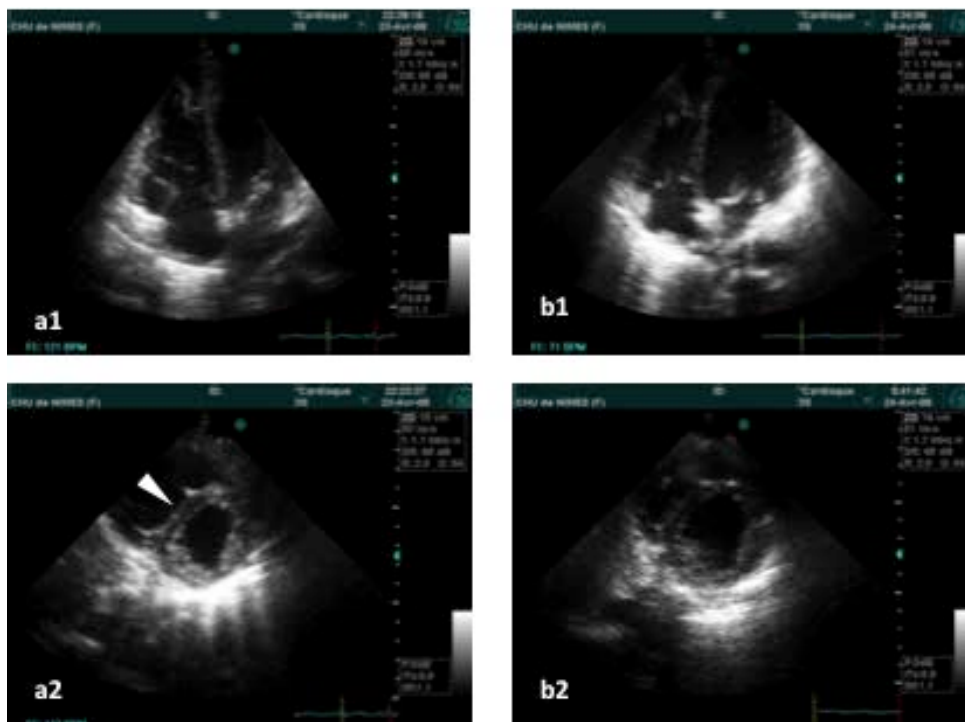
### 3. Existe-t-il une dysfonction systolique ventriculaire gauche ?

La fonction contractile du ventriculaire gauche peut être appréciée par des méthodes quantitatives dont la reproductibilité chez le patient critique est cependant médiocre<sup>10</sup>. L'évaluation visuelle semi-quantitative a le mérite de la simplicité, très appréciable en urgence compte tenu de la nécessité d'obtenir des informations cliniques rapides. Il est démontré depuis plus de 15 ans en cardiologie qu'un opérateur entraîné peut évaluer visuellement de façon assez précise en ETT la FEVG en prenant comme méthode de référence l'angiographie<sup>26,27</sup>. En réanimation, une évaluation visuelle semi-quantitative selon une classification en 3 niveaux (FEVG normale, altération modérée, altération sévère) est bien corrélée aux mesures chiffrées, avec une bonne reproductibilité inter et intra opérateur<sup>11</sup>.

### 4. Existe-t-il une dysfonction ventriculaire droite ?

Les deux causes les plus fréquentes de dysfonction VD aigue sont l'embolie pulmonaire et la vasoconstriction pulmonaire hypoxique au cours des pneumopathies hypoxémiantes et plus largement au cours du syndrome de détresse respiratoire aigu (SDRA). La dysfonction ventriculaire droite aiguë peut en outre être aggravée ou déclenchée par des pressions de ventilation mécanique contrôlée inadaptées<sup>28</sup> (pression de plateau télé inspiratoire > 30 cmH<sub>2</sub>O, plus rarement PEP > 10 cmH<sub>2</sub>O). L'éjection ventriculaire droite se faisant dans une circulation à basse résistance, le VD est très sensible aux augmentations brutales de post charge. La fonction systolique du VD est ainsi qualifiée de sensible. Contrairement au

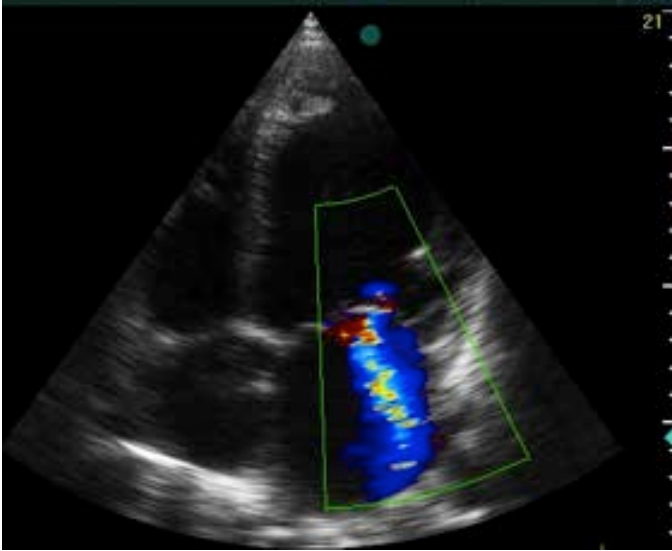
ventricule gauche, le VD peut se dilater sous l'effet d'une augmentation brutale de post charge. En d'autres termes, la fonction diastolique du VD est tolérante. Ainsi, lors d'une HTAP aiguë, le ventricule droit se dilate brutalement. Comme le péricarde est inextensible en situation aiguë, le volume biventriculaire est constant. Ainsi, toute dilatation du VD s'accompagne d'une compression ventriculaire gauche appelée septum paradoxal (SP) à l'origine d'un obstacle au remplissage de ce dernier et responsable d'une chute du débit cardiaque et d'une instabilité hémodynamique. Ce phénomène définit le cœur pulmonaire aigu (CPA). En échographie, le diagnostic de CPA est fait par la constatation d'une dilatation ventriculaire droite associée à un CPA<sup>9</sup>. La dilatation ventriculaire droite est définie par un rapport des surfaces ventriculaires diastoliques du VD / VG > 0,6<sup>29</sup>. Comme pour la FEVG, l'évaluation visuelle de la dilatation du VD est corrélée aux mesures. Le septum paradoxal sera diagnostiqué en coupe PSPA (figure 9).



**Figure 9 : Diagnostic positif de cœur pulmonaire aigu. a1 :** Dilatation du VD avec rapport VD/VG >1 et VG en «doigt de gant» en coupe apicale 4 cavités. **a1 :** coupe PSPA montrant le septum paradoxal. Le septum interventriculaire a une forme linéaire (flèche) qui fait perdre la forme arrondie au VG (VG en forme de «D»). Noter la dilatation du VD bien visible sur cette coupe. **b1 :** même patiente 24 heures après prescription de monoxyde d'azote, réduction de la pression expiratoire positive et décharge volémique. Normalisation du rapport VD/VG. **b2 :** disparition du septum paradoxal avec récupération de la forme circulaire du VG en coupe PSPA.

##### 5. Existe-t-il une fuite valvulaire massive ?

La quantification fine des fuites est difficile et affaire de spécialistes. Toutefois, il est fondamental de ne pas ignorer une fuite valvulaire massive responsable d'une insuffisance circulatoire aiguë. L'insuffisance mitrale aiguë massive par rupture de pilier au cours d'un infarctus du myocarde est probablement l'exemple le plus frappant. Le diagnostic de fuite mitrale massive est réalisé grâce au Doppler couleur qui montre en coupe 4 cavités un flux systolique bleu allant de la valve mitrale au plancher de l'oreillette gauche (Figures 1 et 10). La largeur du jet couleur à l'origine de la fuite (*vena contracta*), sa longueur et sa surface sont corrélées à la sévérité de la fuite. Sur la valve aortique, le jet de fuite est diastolique et rouge en coupe 4 cavités (Figure 1). La suspicion de diagnostic d'état de choc lié à une fuite valvulaire majeure doit impérativement être confirmée par un cardiologue dans les plus brefs délais.



**Figure 10 : Exemple d'une fuite mitrale significative en Doppler couleur.**

### **III. Objectifs en structures d'urgences :**

#### **A. Objectifs en Service d'Accueil des Urgences (SAU) et Service d'accueil des Urgences Vitales (SAUV):**

En 2010, l'*American Society of Echocardiography* (ASE) et l'*American College of Emergency Physicians* (ACEP) ont publié des recommandations décrivant les objectifs de l'échocardiographie focalisée<sup>30</sup>. Ils sont au nombre de 6, dont les 4 premiers utiles au quotidien :

- Évaluer de la présence d'un épanchement péricardique :

Les sociétés recommandent en première intention de savoir identifier un épanchement péricardique. Le diagnostic de tamponnade associant la présence de liquide intrapéricardique aux signes cliniques habituels. La reconnaissance des signes échographiques de tamponnade pouvant aider en cas de doute.

- Évaluer la fonction systolique globale :

Il s'agit d'une évaluation visuelle subjective.

- Identifier une dilatation du ventricule droit :

Elle est également appréciée visuellement. Elle n'aura d'intérêt uniquement en cas de positivité chez un patient en état de choc avec forte suspicion d'embolie pulmonaire<sup>31,32</sup>. Les sensibilités et spécificités de ce seul critère pour le diagnostic d'embolie pulmonaire non grave étant mauvaises.

- Evaluer de la volémie :

Elle se résume à l'étude de la variabilité respiratoire de la VCI. Cette technique permet d'identifier une part d'hypovolémie dans une hypotension quand la VCI se effondre complètement en inspiration. Il est tentant, du fait de sa simplicité d'enregistrement et d'analyse, de résumer l'étude de la volémie aux variations respiratoires du diamètre de la veine cave. Cependant, comme nous l'avons exposé plus haut, l'analyse de la volémie et de la réponse au remplissage est plus complexe et le croisement des indices de volémie (vélocité de l'onde E, LPJ), est toujours plus informatif

- Guider une Péricardiocentèse :

Le repérage et le guidage permettent une sûreté du geste.

- Confirmer la position d'une sonde de pace maker

L'ASE et l'ACEP rappellent pour chaque objectif, la nécessité potentielle de compléter par d'autres techniques échocardiographiques, associant notamment des mesures Doppler. Les champs d'application décrits sont : le traumatisé thoracique, l'arrêt cardio-circulatoire, le patient hypotendu ou dyspnéique.

Ces objectifs correspondent à peu de choses près au niveau basique décrit par l' *American College of Chest Physicians* (ACCP) et la société de réanimation de langue française (SRLF)<sup>33</sup>.

Les réponses obtenues avec ce niveau de compétence ont une faible sensibilité et spécificité en dehors des cas de patients particulièrement graves. Le nombre de patients pris en charge en service d'urgence pour douleur thoracique, hypotension ou dyspnée est important. Enfin, les patients admis en salle d'accueil des urgences vitales doivent bénéficier d'une qualité de prise en charge équivalente à celle d'un service de réanimation. Le niveau de compétence du médecin urgentiste en échocardiographie doit donc probablement dépasser ce niveau basique, et intégrer certains objectifs du niveau avancé :

- Le Doppler mitral (cf chapitre B1) :

Sa réalisation paraît une nécessité dans la prise en charge des dyspnées et des hypotensions. La fréquence des décompensations cardiaques gauches à fonction systolique conservée ne permet pas à la seule évaluation visuelle de la FEVG de juger de l'imputabilité d'une insuffisance cardiaque dans une dyspnée<sup>34</sup>. De la même façon, la variation respiratoire de la VCI ne permet de prédire la réponse au remplissage chez les patients en ventilation spontanée qu'en cas de collapsibilité totale. Le doppler mitral permettra l'évaluation de la fonction diastolique et des pressions de remplissages du VG.

- La reconnaissance du septum paradoxal (cf chapitre B4):

La dilatation du VD n'est pas spécifique du cœur pulmonaire aiguë (HTAP chronique...). Le septum paradoxal est un argument en faveur du caractère aigu de l'élévation des pressions droites.

- La mesure de l'ITV sous aortique (cf chapitre B1) :

Sa mesure permet d'affirmer l'hyper-débit chez les patients en choc vasoplégique. Il permet d'analyser le seul paramètre dynamique de précharge validé chez le patient en ventilation spontanée : la variation de l'ITV lors du lever passif de jambe.

- Détection des grosses fuites valvulaires (cf chapitre B5) :

L'évaluation semi-quantitative des fuites valvulaires grâce au doppler couleur permettra d'évoquer certains diagnostics souvent difficiles en clinique, comme la rupture de cordage.

## **B. Objectifs en médecine préhospitalière :**

Les contraintes de milieu et de temps en médecine préhospitalière doivent faire favoriser des techniques simples avec un bénéfice attendu immédiat pour le malade. Les objectifs décrits précédemment du niveau basique sont probablement suffisants dans ce cas.

Les échographes utilisables en médecine préhospitalière doivent être le moins volumineux possible, robuste et avoir un temps d'allumage court. L'*European Association of Echocardiography* a publié en 2011 sa position sur l'utilisation des échographes ultra portables (*pocket-size*)<sup>35</sup> : elle recommande leur utilisation en pratique clinique pour évaluer la présence d'un épanchement péricardique, la fonction du

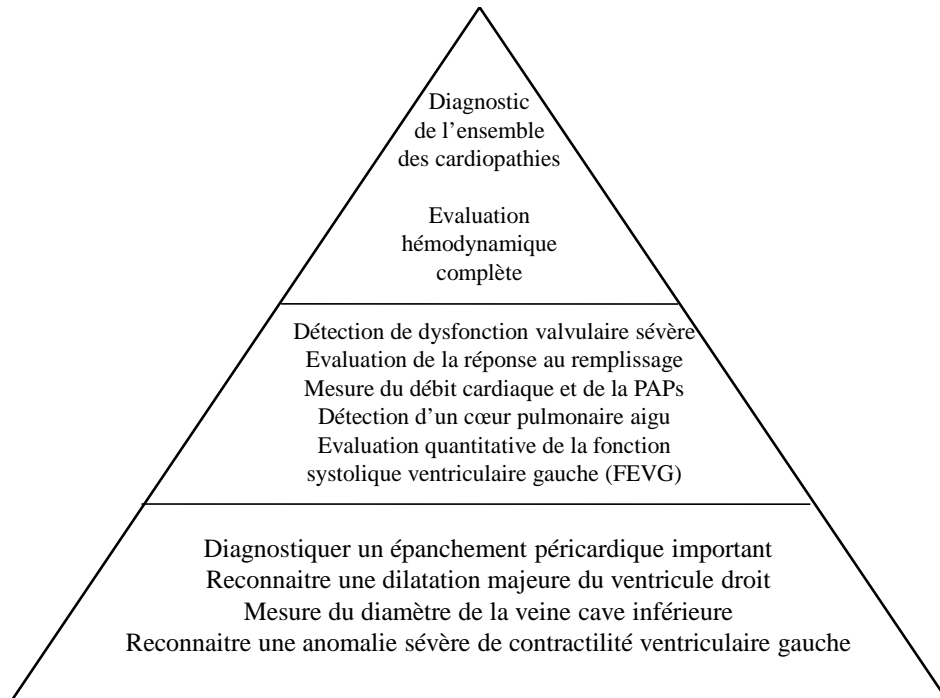


VG et du VD, et la volémie. Ces objectifs sont proches du niveau basique d'apprentissage de l'échocardiographie. Ces anomalies, simples à diagnostiquer, sont surtout utiles chez les patients en détresse vitale.

Des études cliniques confirmant la faisabilité et l'utilité de l'échocardiographie en médecine pré hospitalière sont cependant nécessaires.

#### **IV. Formation nécessaire :**

L'ACEP recommande une formation théorique suivie de 25 à 50 examens tutorisés sur malade<sup>36</sup> pour obtenir un niveau basique. En France, le niveau de compétence le plus complet en échocardiographie passe par l'obtention en 2 ans du diplôme interuniversitaire (DIU) d'échocardiographie dont l'orientation générale, historiquement cardiologique, s'est largement étendue ces dernières années à la réanimation. Pour raccourcir ce cursus, la Société de Réanimation de Langue Française (SRLF) et l'*American College of Chest Physicians* (ACCP)<sup>33</sup> proposent un système de validation des compétences en échocardiographie en trois niveaux pour les réanimateurs (figure 11)<sup>37</sup>. Ce système vise à permettre la formation de l'ensemble des anesthésistes et/ou réanimateurs aux bases de l'échocardiographie en un temps plus court (6 à 12 mois)<sup>38</sup>. L'apprentissage de l'échocardiographie par les MU devrait répondre aux mêmes contraintes. La présence dans une équipe d'un opérateur qualifié référent pouvant former ses confrères est très utile. Il est couramment admis que le niveau de base doit être acquis par tous. Il est probable que l'apprentissage de certains objectifs du niveau intermédiaire soit recommandable au plus grand nombre (cf chapitre C1).



**Figure 11 : Pyramides des compétences d'échocardiographie en réanimation.** Au sommet : opérateur qualifié (diplôme inter universitaire = DIU), capable de réaliser un examen échocardiographique complet. Cet opérateur est en charge de la formation des praticiens non formés de l'unité, en veillant notamment à ce que soient acquis les items cités à la base de la pyramide. Le niveau intermédiaire représente des praticiens en

cours de formation, ayant intégré la base de la pyramide et capables d'une analyse plus fine. D'après B. Cholley, A Vieillard-Baron, A Mebazaa<sup>37</sup>. PAPs = pression de l'artère pulmonaire systolique. FEVG = fraction d'éjection du ventricule gauche.

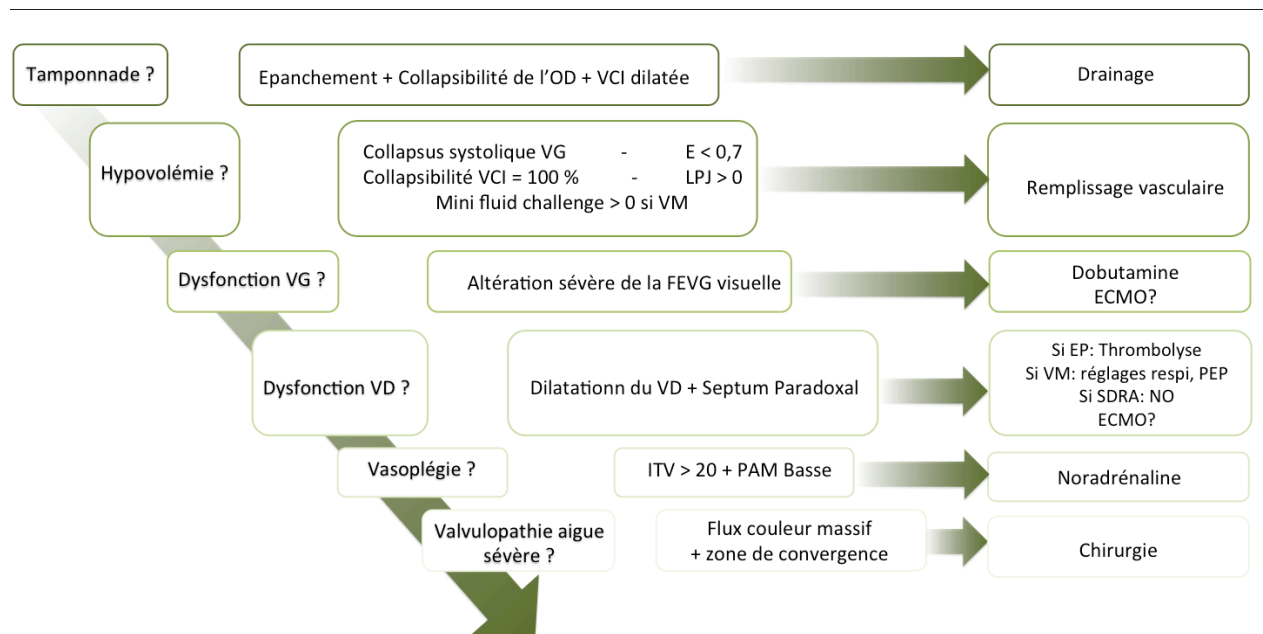
## V. Diffusion dans les services d'urgences en France :

Nous avons réalisé une enquête dans tous les centres hospitaliers publics Français au premier semestre 2011 afin de connaître la dotation en échographe et l'état des lieux de la pratique de l'échographie par les médecins urgentistes. Notre taux de réponse était de 74 %. Au moins un échographe était disponible dans seulement 52 % (IC 95 % [46 ; 58]) des SAU. La médiane des médecins formés était de 5 dans les services équipés (dont la majorité par des formations privées). Les applications les plus pratiquées étaient : la FAST échographie (dans 79 % des SAU) et l'échographie pleurale (65 %). L'échocardiographie à visée hémodynamique n'était pratiquée que dans 16 % des centres répondeurs.

Il paraît évident qu'un effort considérable doit être fait pour inciter les médecins urgentistes pratiquants à se former, tout en proposant une formation systématique à tous les étudiants en cours de DESC de médecine d'urgence.

## VI. Prise en charge des patients hypotendus ou en choc:

La figure 12 représente une proposition de raisonnement diagnostique étape par étape lors de la réalisation d'une échocardiographie chez un patient hypotendu ou en choc.



**Figure 12 : Prise en charge diagnostique échocardiographique d'un patient hypotendu ou choqué :** Le clinicien recherche étape par étape des arguments en faveur des différentes étiologies de décompensation hémodynamique. En cas d'absence d'argument, il passe à l'étape d'après. OD : oreillette droite ; VCI : Veine Cave Inférieure ; VG : Ventricule Gauche ; E : onde E du doppler mitral en cm/s ; EPJ : Epreuve de Lever passif de Jambe (positif si augmentation de 12 % de l'ITV) ; Mini fluid

*challenge (positif si augmentation de 10 % d'ITV après remplissage de 100 ml en 1 minute); VM : ventilation mécanique ; ITV : intégrale temps – vitesse du flux sous aortique intraventriculaire gauche en cm ; FEVG : fraction d'éjection du ventricule gauche ; ECMO : ExtraCorporeal Membrane Oxygenation VD : ventricule droit ; EP : embolie pulmonaire ; PEP : Pression expiratoire positive ; SDRA : Syndrome de détresse respiratoire aiguë ; NO : Nitric oxide ; PAM : Pression artérielle moyenne.*

## **VII. Conclusion :**

L'ETT permet une évaluation hémodynamique complète et non invasive en cas d'état de choc. L'échocardiographie en médecine d'urgence doit épouser le concept de l'échographie clinique : apporter des réponses complémentaires à analyse clinique rigoureuse. Comme pour les autres domaines de l'échographie clinique, les connaissances théoriques et pratiques parfaites des coupes cardiaques sont des prérequis indispensables, imposant un effort tout particulier de formation. La diffusion en France l'ETT à visée hémodynamique reste encore beaucoup trop confidentielle dans les services d'urgence. L'intérêt de l'ETT préhospitalière dans la prise en charge de l'insuffisance circulatoire aiguë reste à démontrer.

Les patients admis en salle d'accueil des urgences vitales doivent bénéficier d'une qualité de prise en charge initiale équivalente à celle d'un service de réanimation. L'échocardiographie semble, de ce point de vue, constituer un des outils d'évaluation hémodynamique les plus consensuels entre les services d'urgence et de réanimation.

## **VIII. Bibliographie :**

1. Moore CL, Copel JA. Point-of-care ultrasonography. *N Engl J Med* 2011;364:749-57.
2. Lapostolle F, Petrovic T, Lenoir G, et al. Usefulness of hand-held ultrasound devices in out-of-hospital diagnosis performed by emergency physicians. *Am J Emerg Med* 2006;24:237-42.
3. Mayo PH. Training in critical care echocardiography. *Ann Intensive Care* 2011;1:36.
4. Joseph MX, Disney PJ, Da Costa R, Hutchison SJ. Transthoracic echocardiography to identify or exclude cardiac cause of shock. *Chest* 2004;126:1592-7.
5. Bossone E, DiGiorgio B, Watts S, et al. Range and prevalence of cardiac abnormalities in patients hospitalized in a medical ICU. *Chest* 2002;122:1370-6.
6. Orme RM, Oram MP, McKinstry CE. Impact of echocardiography on patient management in the intensive care unit: an audit of district general hospital practice. *Br J Anaesth* 2009;102:340-4.
7. Fontes ML, Bellows W, Ngo L, Mangano DT. Assessment of ventricular function in critically ill patients: limitations of pulmonary artery catheterization. *Institutions of the McSPI Research Group. J Cardiothorac Vasc Anesth* 1999;13:521-7.
8. Costachescu T, Denault A, Guimond JG, et al. The hemodynamically unstable patient in the intensive care unit: hemodynamic vs. transesophageal echocardiographic monitoring. *Crit Care Med* 2002;30:1214-23.
9. Vieillard-Baron A, Prin S, Chergui K, Dubourg O, Jardin F. Echo-Doppler demonstration of acute cor pulmonale at the bedside in the medical intensive care unit. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166:1310-9.
10. Bergenzaun L, Gudmundsson P, Ohlin H, et al. Assessing left ventricular systolic function in shock: evaluation of echocardiographic parameters in intensive care. *Crit Care* 2011;15:R200.
11. Vieillard-Baron A, Charron C, Chergui K, Peyrouset O, Jardin F. Bedside echocardiographic evaluation of hemodynamics in sepsis: is a qualitative evaluation sufficient? *Intensive Care Med* 2006;32:1547-52.
12. Dokainish H, Nguyen J, Sengupta R, et al. New, simple echocardiographic indexes for the estimation of filling pressure in patients with cardiac disease and preserved left ventricular ejection fraction. *Echocardiography* 2010;27:946-53.
13. Muller L, Toumi M, Bousquet PJ, et al. An increase in aortic blood flow after an infusion of 100 ml colloid over 1 minute can predict fluid responsiveness: the mini-fluid challenge study. *Anesthesiology* 2011;115:541-7.

14. Lamia B, Ochagavia A, Monnet X, Chemla D, Richard C, Teboul JL. Echocardiographic prediction of volume responsiveness in critically ill patients with spontaneously breathing activity. *Intensive Care Med* 2007;33:1125-32.
15. Teboul J. SRLF experts recommendations Indicators of volume resuscitation during circulatory failure. *Réanimation* 2004;13:255 - 63.
16. Brennan JM, Blair JE, Goonewardena S, et al. Reappraisal of the use of inferior vena cava for estimating right atrial pressure. *J Am Soc Echocardiogr* 2007;20:857-61.
17. Wong SP OC. Echocardiographic findings in acute and chronic pulmonary disease. In : *The practice of clinical echocardiography Philadelphia* : WB Saunders Company 2002:739-60.
18. 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.
19. Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:165-93.
20. Yamamoto K, Nishimura RA, Chaliki HP, Appleton CP, Holmes DR, Jr., Redfield MM. Determination of left ventricular filling 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.
21. Monnet X, Rienzo M, Osman D, et al. Passive leg raising predicts fluid responsiveness in the critically ill. *Crit Care Med* 2006;34:1402-7.
22. Maizel J, Airapetian N, Lorne E, Tribouilloy C, Massy Z, Slama M. Diagnosis of central hypovolemia by using passive leg raising. *Intensive Care Med* 2007.
23. Lamia B, Ochagavia A, Monnet X, Chemla D, Richard C, Teboul JL. Echocardiographic prediction of volume responsiveness in critically ill patients with spontaneously breathing activity. *Intensive Care Med* 2007.
24. Boulain T, Achard JM, Teboul JL, Richard C, Perrotin D, Ginies G. Changes in BP induced by passive leg raising predict response to fluid loading in critically ill patients. *Chest* 2002;121:1245-52.
25. Muller L, Toumi M, Bousquet PJ, et al. An increase in aortic blood flow after an infusion of 100 ml colloid over 1 minute can predict fluid responsiveness: the mini-fluid challenge study. *Anesthesiology* 2011;115:541-7.
26. Mueller X, Stauffer JC, Jaussi A, Goy JJ, Kappenberger L. Subjective visual echocardiographic estimate of left ventricular ejection fraction as an alternative to conventional echocardiographic methods: comparison with contrast angiography. *Clin Cardiol* 1991;14:898-902.
27. Gudmundsson P, Rydberg E, Winter R, Willenheimer R. Visually estimated left ventricular ejection fraction by echocardiography is closely correlated with formal quantitative methods. *Int J Cardiol* 2005;101:209-12.
28. Jardin F, Vieillard-Baron A. Is there a safe plateau pressure in ARDS? The right heart only knows. *Intensive Care Med* 2007;33:444-7.
29. Jardin F, Dubourg O, Bourdarias JP. Echocardiographic pattern of acute cor pulmonale. *Chest* 1997;111:209-17.
30. Labovitz AJ, Noble VE, Bierig M, et al. Focused cardiac ultrasound in the emergent setting: a consensus statement of the American Society of Echocardiography and American College of Emergency Physicians. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:1225-30.
31. Roy PM, Colombet I, Durieux P, Chatellier G, Sors H, Meyer G. Systematic review and meta-analysis of strategies for the diagnosis of suspected pulmonary embolism. *BMJ* 2005;331:259.
32. Konstantinides S. Clinical practice. Acute pulmonary embolism. *N Engl J Med* 2008;359:2804-13.
33. Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P, et al. American College of Chest Physicians/La Societe de Reanimation de Langue Francaise statement on competence in critical care ultrasonography. *Chest* 2009;135:1050-60.
34. Kumar R, Gandhi SK, Little WC. Acute heart failure with preserved systolic function. *Crit Care Med* 2008;36:S52-6.
35. Sicari R, Galderisi M, Voigt JU, et al. The use of pocket-size imaging devices: a position statement of the European Association of Echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2011;12:85-7.
36. American College of Emergency P. Emergency ultrasound guidelines. *Ann Emerg Med* 2009;53:550-70.
37. Cholley BP, Vieillard-Baron A, Mebazaa A. Echocardiography in the ICU: time for widespread use! *Intensive Care Med* 2006;32:9-10.
38. Charron C, Prat G, Caille V, et al. Validation of a skills assessment scoring system for transesophageal echocardiographic monitoring of hemodynamics. *Intensive Care Med* 2007;33:1712-8.