

Monitoring hémodynamique par les ultrasons

Anatole Harrois

*Département d'Anesthésie-Réanimation, Hôpital de Bicêtre, 78, Rue du Général Leclerc,
94275 Le Kremlin-Bicêtre, France*

anatole.harrois@aphp.fr

Points essentiels

- ✓ L'échographie-Doppler focalisée présente un apport diagnostique et thérapeutique pour la prise en charge des états de choc, des insuffisances respiratoires aiguës et du traumatisme crânien.
- ✓ L'échographie focalisée ne dispense pas d'un examen clinique préalable qui permet de cibler les éléments échographiques hémodynamiques à rechercher
- ✓ L'étude simple de l'hémodynamique par échographie comprend l'évaluation :
 - Du péricarde
 - De la fonction systolique du ventricule gauche
 - De la taille des cavités droites
 - De la taille et de la collapsibilité de la veine cave inférieure
- ✓ L'analyse simple du Doppler mitral et la réalisation d'une échographie pleuropulmonaire complètent les objectifs sus-mentionnés d'analyse hémodynamique
- ✓ Les indices dynamiques comme la collapsibilité respiratoire de la veine cave inférieure et la variation de l'ITV sous-aortique suite à une épreuve de lever de jambe passif sont intéressants pour indiquer un remplissage vasculaire chez les patients en ventilation spontanée.
- ✓ Des examens échographiques répétés permettent de contrôler l'évolution hémodynamique des patients en réponse à une thérapie.
- ✓ Le Doppler oesophagien est le seul dispositif ultrasonore permettant un monitoring hémodynamique continu (mesure du débit cardiaque).
- ✓ Les échoscopes ("pocket echo") sont des dispositifs prometteurs par leur maniabilité qui devraient faciliter l'accessibilité des praticiens à l'échographie.
- ✓ Le Doppler transcrânien est un outil non invasif de monitoring de la perfusion cérébrale, son utilité est démontrée pour adapter la stratégie d'optimisation de la perfusion cérébrale au cours des premières heures post-traumatiques (pré et intrahospitalier).
- ✓ Une formation en échographie est indispensable pour acquérir des images fiables et en donner une interprétation adaptée.

Introduction

Le développement d'appareils d'échographie portables a permis la délocalisation de cet outil au lit du patient pour leur prise en charge aux urgences (SAU) ainsi qu'en médecine préhospitalière. Cette mobilisation facile des échographes (échographie cardiaque principalement) et des dispositifs utilisant des technologies ultrasonores (Doppler oesophagien, Doppler transcrânien) et leur caractère non invasif autorisent une utilisation répétée de ces examens qui méritent ainsi le qualificatif de monitoring. Progressivement, ces outils deviennent indispensables pour la prise en charge des patients puisque certains travaux soulignent leur apport en terme diagnostique, de choix thérapeutique et d'orientation pour les patients [1], notamment dans un contexte d'urgence hémodynamique comme une insuffisance circulatoire aiguë, une insuffisance respiratoire aiguë, un polytraumatisme ou un arrêt cardiaque. Toutefois, ces outils utilisant les technologies ultrasonores ne doivent pas faire oublier l'importance de l'examen clinique préalable qui doit guider le clinicien vers une recherche échographique ciblée des éléments hémodynamiques informatifs. La disponibilité grandissante des échographes impose un apprentissage de l'acquisition des coupes échographiques et des mesures Doppler pour recueillir une information précise, utile et fiable.

Ce texte présente les dispositifs de monitoring hémodynamique disponibles en médecine d'urgence utilisant la technologie ultrasonore et expose les intérêts, les limites et les indications de ces dispositifs.

Dispositifs de monitoring en médecine d'urgence

Doppler transoesophagien

Le Doppler oesophagien est un moyen de monitoring simple, non invasif et continu du débit cardiaque. Sa mise en place rapide rend cet outil appréciable dans l'attente d'un monitoring hémodynamique plus invasif lorsque le praticien fait face à la prise en charge simultanée de plusieurs patients, comme tel peut être le cas en salle d'accueil des urgences vitales. Il s'avèrerait donc utile pour initier un monitoring continu du débit cardiaque lorsqu'il existe un délai avant un transfert en réanimation ou au bloc opératoire chez un patient instable sur le plan hémodynamique. La technique utilise les ultrasons pour mesurer le volume d'éjection systolique à chaque battement (et donc le débit cardiaque) sans utiliser d'image échographique. Ainsi, l'expertise nécessaire pour utiliser le Doppler oesophagien est faible et ne nécessite pas de formation dédiée comme l'échocardiographie.

La sonde de Doppler oesophagien est insérée dans l'oesophage du patient (voie nasale ou buccale) dont le trajet suit celui de l'aorte dans la portion descendante de cette

dernière. Sur quelques centimètres, la proximité entre l'oesophage et l'aorte permet la mesure de la vélocité sanguine aortique à partir du signal Doppler émis depuis la sonde oesophagienne.

Comme tout appareil utilisant la technologie Doppler, ce dernier mesure en temps réel la vélocité de la colonne sanguine se déplaçant dans l'aorte descendante à chaque battement. L'intégration de cette vitesse au cours du temps systolique permet de calculer la distance parcourue par la colonne de sang à chaque battement (distance parcourue par battement = Intégrale Temps Vitesse (ITV)). La connaissance de la surface de section de l'aorte permet le calcul du volume d'éjection (Ves) à partir de l'ITV mesurée selon: $Ves = ITV \times \text{surface aortique}$. Actuellement, les dispositifs de mesure du débit cardiaque par Doppler oesophagien approximent la surface aortique à l'aide d'abaques qui considèrent l'âge, le poids et la taille du patient. En multipliant le Ves par la fréquence cardiaque, on obtient une mesure du débit cardiaque. Une approximation est tout de même nécessaire pour extrapoler la mesure du débit sanguin au niveau de l'aorte descendante à la mesure du débit cardiaque total. En effet, le débit de l'aorte descendante ne prend pas en compte le débit sanguin circulant au niveau des troncs supraaortiques. Ainsi, les algorithmes des appareils de Doppler oesophagien estiment que 70% du débit cardiaque est destiné à l'aorte descendante (et 30 % pour les troncs supraaortiques), un facteur correctif de 0,7 est appliqué selon : $\text{débit cardiaque} = \text{débit aorte descendante} / 0,7$.

Ainsi, l'estimation de la surface aortique, la précision de la mesure de la vélocité aortique, la nullité du flux aortique diastolique, l'absence d'angle entre l'oesophage et l'aorte, une répartition constante du débit cardiaque (70/30% pour l'aorte descendante et les troncs supraaortiques respectivement) sont autant d'hypothèses formulées pour réaliser une mesure du débit cardiaque par Doppler oesophagien.

Échographie portable

L'échographie portable permet de déplacer l'outil d'investigation ultrasonore au lit du patient grâce à une autonomie d'énergie fournie par la batterie d'une part et la taille modeste de l'appareil d'autre part qui permet son transport facile. Ces outils se sont développés au début des années 2000 et actuellement, la majorité des fabricants proposent ce type d'appareil (Modèle Acuson P300™ chez Siemens, modèle MTurbo™ chez Sonosite, modèle CX50™ chez Philips, modèle Mylab one touch™ chez Esaote et modèle M5™ chez Mindray). Alors que ces appareils incluaient initialement des fonctions ultrasonores basiques, ils s'avèrent désormais très développés et proposent la majorité des fonctions disponibles sur les échographes standards hauts de gamme (couleur, Doppler pulsé, Doppler continu, harmonique, Doppler tissulaire, Doppler transcrânien et le mode contraste pour certains d'entre eux). De plus, ils disposent d'un large choix de sondes: phase array (cardiaque), abdominale, vasculaire, biconvexes, qui permettent une utilisation polyvalente.

Le caractère mobile est grandement facilité par l'adaptation de ces appareils (de la taille d'un ordinateur portable) sur des chariots légers permettant d'éviter leur détérioration. Cette maniabilité procurée par les chariots est parfaitement adaptée à une pratique ambulante en réanimation, aux urgences ou dans un service distant au cours d'un déplacement pour donner un avis médical. Par contre, la robustesse de ces appareils est limitée et leur utilisation en préhospitalier nécessite un soin particulier. Le choix se porte alors vers les appareils les plus légers et mis au point pour une pratique intensive délocalisée.

Doppler transcrânien

Le Doppler transcrânien est devenu un outil de monitoring indispensable en neuroréanimation pour guider l'optimisation de la perfusion cérébrale chez les patients cérébrolésés et également aider au diagnostic de vasospasme au cours de l'hémorragie méningée. Il n'utilise que la fonction Doppler et mesure la vitesse des globules rouges dans les artères intracérébrales. Une littérature de plus en plus fournie souligne désormais l'utilité du Doppler transcrânien pour l'évaluation de la gravité d'un traumatisme crânien aux urgences ou en préhospitalier [2-4] ainsi que pour tout patient cérébrolésé par extension. Tous les appareils d'échographie-doppler portables susmentionnés possèdent la fonction Doppler transcrânien et permettent ainsi de coupler le repérage échographique des vaisseaux intracérébraux en mode couleur et la mesure des vitesses sanguines au sein de ces vaisseaux par Doppler pulsé. Toutefois, certains appareils sont conçus exclusivement pour réaliser les dopplers transcrâniens (Waki, Atys medical, EZ Dop, Neurolite) et ne possèdent que la fonction Doppler sans le repérage échographique (mode B) possible des vaisseaux en mode couleur. Ils bénéficient toutefois de fonctions d'aide au repérage par le mode TM (Waki, Atys medical) pour faciliter le repérage des vaisseaux intracérébraux.

Échographie de poche (stéthoscope à ultrasons)

Les "pocket echo" ou échographes de poche ou échoscopes présentent des dimensions très réduites qui permettent de déplacer aisément ces dispositifs en tout lieu [5]. En effet, les progrès de la miniaturisation des échographes ont mis à notre disposition des appareils de la taille d'un téléphone portable qui rendent encore plus facile l'exploration par les ultrasons au lit du patient. Cette simplification ne peut que multiplier l'utilisation des appareils d'échographie au quotidien. Plusieurs fabricants proposent des appareils de type échoscope, mais chacun présente des spécificités qui lui sont propres. Les échoscopes ne sont pas munis de toutes les fonctions habituellement retrouvées sur les appareils d'échographie haut de gamme. En effet, le mode couleur ou le mode Doppler pulsé ne sont pas toujours intégrés à l'appareil. Le tableau 1 propose un comparatif des appareils disponibles sur le marché. De même, le jeu de sondes disponibles diffère entre les modèles. À l'heure actuelle, le Vscan™ de GE Healthcare et l'Acuson P10™ de Siemens sont les plus étudiés dans la littérature. Cependant, des

modèles plus récents, qui nécessitent une validation clinique, proposent un panel de fonctions plus large (Doppler pulsé et mode TM notamment) par exemple le U-Lite™ de Sonoscanner et le SignosRT™ de Signostics.

Fabricant	Siemens	GE Healthcare	Sonoscanner	Mobisanté	Signostics	Sonosite
Modèle	Acuson P10®	Vscan V1.2®	U-lite®	MobiUS SP1®	SignosRT®	Nanomaxx®
Dimensions, cm	9	9	18	8	11,5	21,3
Poids, g	725	390	860	329	392	2700
Doppler couleur	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui
Doppler pulsé	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui
Mesures	Distances, surfaces	Distances	Distances	Aucune	Distances, surfaces, volumes	Distances, surfaces, volumes
Mode M	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui
Sondes	2-4 MHz	1,7-3,8 3,4-8 MHz	2,5 MHz 1,7-4 MHz 5-12 MHz	3,5-5 MHz 7,5-12 MHz	3-5 MHz	1-5 MHz 2-5 MHz 5-8 MHz 5-10 MHz 6-13 MHz

Tableau 1.- Tableau comparatif des échoscopes disponibles sur le marché en 2015.

Intérêts et limites des dispositifs de monitoring par les ultrasons

Pourquoi utiliser les dispositifs ultrasonores pour le monitoring hémodynamique?

La prise d'information hémodynamique des patients est initialement réalisée de façon clinique par la mesure de la pression artérielle, de la fréquence cardiaque et la recherche de signes d'hypoperfusion périphérique : marbrures, extrémités froides, augmentation du temps de recoloration cutanée et des signes cliniques associés. L'utilisation d'appareils faisant appel à la technologie ultrasonore permet de compléter les informations apportées par l'examen clinique et :

- ✓ de préciser le diagnostic sur l'origine d'un état de choc : étude de la fonction systolique ventriculaire gauche, mesure des pressions de remplissage du ventricule gauche, existence d'un coeur pulmonaire aigu, étude du péricarde, étude de la volémie et étude du niveau de perfusion cérébrale pour le Doppler transcrânien ;
- ✓ de proposer un traitement en fonction des informations recueillies ;
- ✓ d'évaluer la réponse au traitement;

- ✓ de monitorer l'évolution du patient par des examens répétés (échographie) ou de façon continue (Doppler oesophagien) ;

Quelles informations les outils de monitoring ultrasonores apportent-ils ?

Ultrasons et volémie

L'évaluation de la volémie des patients et de la pertinence du remplissage vasculaire demeurent des questions quotidiennes au cours de la prise en charge des patients qui présentent une instabilité hémodynamique aux urgences. La mesure du diamètre de la veine cave par échographie (diamètre en fin d'inspiration, diamètre en fin d'expiration et collapsibilité de la veine cave) a fait l'objet d'une large littérature pour l'évaluation de la volémie des patients. Initialement proposée en réanimation chez le patient en ventilation mécanique, la collapsibilité respiratoire de la veine cave inférieure (cVCI): $(\text{Diamètre max} - \text{diamètre min}) / ((\text{Diamètre max} + \text{diamètre min}) / 2)$, recueillie 3 cm en amont de l'abouchement de la veine cave au niveau de l'oreillette droite est prédictive d'une réponse positive au remplissage vasculaire (augmentation du débit cardiaque supérieure à 15 %) lorsque cette variation de diamètre est supérieure à 12 % avec une sensibilité et une spécificité de 93% et 92% respectivement [6]. Ces résultats ne se sont pas avérés transposables avec la même performance pour la prise en charge hémodynamique des patients en ventilation spontanée chez qui le volume courant inspiratoire ainsi que la pression négative pleurale développés au cours de l'inspiration sont très variables d'un cycle à l'autre et d'un patient à l'autre. Ainsi, Muller et al. rapportent que le seuil optimal de la cVCI prédictif d'une réponse positive au remplissage vasculaire chez des patients en insuffisance circulatoire aiguë en ventilation spontanée est de 25 % (ce seuil est de 40% quand on applique la formule $(\text{Diamètre max} - \text{diamètre min}) / (\text{Diamètre max})$) avec une sensibilité et une spécificité de 70% et 80% respectivement [7]. Toutefois une cVCI inférieure à 25 % n'exclut pas une augmentation du débit cardiaque en réponse à un remplissage vasculaire.

En mesurant l'index de collapsibilité par la formule $(\text{Diamètre max} - \text{diamètre min}) / (\text{Diamètre max})$ et en le comparant à la valeur de pression veineuse centrale (PVC) mesurée chez des patients de soins intensifs en ventilation spontanée, Stawicki et al. relèvent également qu'une PVC basse (< 7 mmHg) est associée à un index de collapsibilité supérieur à 60 %, alors qu'une PVC haute (> 12 mmHg) est associée à un index de collapsibilité inférieur à 20 % avec une large zone d'incertitude entre 20 et 60 % [8].

On retiendra donc qu'une collapsibilité selon la formule $(\text{Diamètre max} - \text{diamètre min}) / (\text{Diamètre max})$ supérieure à 50 % est un signe d'hypovolémie à l'échographie chez les patients en ventilation spontanée.

Le caractère dynamique de la mesure du diamètre de veine cave inférieure (variation respiratoire ou variation pour un même patient en réponse à une manoeuvre réanimatoire comme le remplissage vasculaire) est fondamental. En effet, il existe une

variabilité importante dans le diamètre cave basal des patients selon leur corpulence et leur ethnie [9] qui ne permet pas de définir de valeur seuil d'hypovolémie pour le diamètre de veine cave. De plus la position exacte du recueil du diamètre sur la veine cave influence la mesure puisque la collapsibilité varie de 20 à 35 % selon qu'on est à proximité de l'oreillette ou au niveau de la veine cave sous-rénale [10]. Une variabilité opérateur dépendante est également décrite, qui est probablement expliquée par le choix différent de la position du curseur sur la veine cave pour la mesure selon l'opérateur [11]. Ainsi, le recueil du diamètre de la veine cave doit être effectué toujours au même niveau, préférentiellement 2 cm en amont de l'abouchement des veines sus-hépatiques. Si la valeur absolue du diamètre de veine cave inférieure est un mauvais reflet de la volémie des patients, l'évolution de ce diamètre (diamètre inspiratoire) est un bon paramètre pour évaluer l'effet du remplissage vasculaire puisqu'il augmente pour chaque 500 mL administré. La mesure absolue du diamètre de veine cave inférieure pourrait alors indiquer l'arrêt du remplissage vasculaire lorsque ce dernier ne modifie plus le diamètre de veine cave inférieure [12].

Les indices dynamiques prédictifs d'une réponse positive au remplissage vasculaire (augmentation du débit cardiaque de plus de 15%) utilisant l'échographie ont montré leur utilité. Ainsi, au cours de la ventilation mécanique, les variations du pic de vitesse sanguine aortique supérieures à 12%, recueillies en coupe 5 cavités au niveau de la chambre de chasse du ventricule gauche, et calculées selon la formule $(\text{Vélocité max} - \text{vélocité min}) / ((\text{vélocité max} + \text{vélocité min}) / 2)$ ont montré une sensibilité et une spécificité de 100% et 89% respectivement pour prédire une augmentation du débit cardiaque supérieure à 15 % après un remplissage vasculaire de 500 mL [13]. Toutefois, la variation du pic de vitesse sanguine aortique n'est pas interprétable en ventilation spontanée. Ainsi, en ventilation spontanée, il serait préférable d'avoir recours à l'épreuve dynamique du lever de jambe passif (équivalent d'un remplissage vasculaire de 300 mL), qui prédit une augmentation du débit cardiaque en cas de remplissage vasculaire par 500 mL de NaCl 0,9 % lorsque l'ITV sous-aortique augmente de plus de 12 % après le lever de jambe. Cette stratégie nécessite donc la mesure ponctuelle d'une valeur échographique à deux reprises, l'ITV sous-aortique (avant et après lever de jambe passif), pour proposer une expansion volémique efficace [14].

Ultrasons et fonction cardiaque

L'échographie cardiaque est l'examen de référence pour étudier la fonction cardiaque : contractilité, fonction diastolique, fonction du ventricule droit. Les appareils haut de gamme ne sont plus les seuls appareils d'échographie susceptibles de permettre l'évaluation de la fonction cardiaque, puisque la qualité des appareils d'échographie portable n'est plus un frein à l'examen de la fonction cardiaque des patients que ce soit en préhospitalier, aux urgences ou en réanimation. En effet, Vignon et al. rapportaient déjà en 2003 une capacité diagnostique similaire d'un appareil haut de gamme en comparaison avec un appareil portable (de première génération) pour l'examen de la fonction cardiaque [15]. Les progrès incessants tant en terme de fonctions disponibles

qu'en terme de qualité d'image n'ont depuis cessé de progresser. L'évaluation des échoscopes est par contre plus récente. Ils ne permettent pas encore d'obtenir la même qualité d'image qu'un échographe portable standard, mais il a été rapporté qu'un opérateur formé à l'échographie cardiaque peut obtenir avec un échoscope la même information qu'avec un appareil d'échographie cardiaque standard au cours d'un examen hémodynamique focalisé [16].

L'évaluation semi-quantitative de la fonction systolique ventriculaire gauche en quantifiant la contractilité myocardique selon 3 niveaux (pas d'altération, altération modérée, altération sévère) est une façon d'évaluer visuellement la contractilité cardiaque [17]. L'information semi-quantitative acquise est fiable quand on la compare à une évaluation de la contractilité par la méthode de référence (Simpson Biplan).

L'évaluation d'un coeur pulmonaire aigu peut se faire par échographie et nécessite l'association d'une dilatation du ventricule droit et d'un septum paradoxal. La dilatation du ventricule droit se définit par un rapport surface VD/surface VG $> 0,6$ (la dilatation est importante quand ce rapport est supérieur à 1) [18].

Le diagnostic d'épanchement péricardique se fait par la mise en évidence d'une phase hypoéchogène autour des cavités cardiaques. Les éléments à noter sont son caractère circonférentiel ou non ainsi que son retentissement sur le remplissage des cavités droites. Un collapsus des cavités cardiaques, notamment de l'oreillette droite, un aspect de coeur dansant ("swinging heart") et une variation respiratoire marquée de la vélocité de l'onde E (traduction échographique du pouls paradoxal) sont des signes de mauvaise tolérance devant faire évoquer une tamponnade.

L'objectif de l'échographie cardiaque en pratique d'urgence n'est pas d'effectuer un examen complet comparable à celui proposé dans un laboratoire d'échocardiographie mais d'effectuer un examen focalisé pour répondre à des questions diagnostiques simples sur l'origine d'une instabilité hémodynamique chez un patient en préhospitalier ou aux urgences. Les questions que doit se poser le praticien ont été rapportées dans plusieurs protocoles d'investigation (recherche d'une hypokinésie du ventricule gauche, d'une dilatation du ventricule droit, d'un épanchement péricardique, d'une hypovolémie majeure) [15, 19]. L'usage d'appareils d'échographie portables a montré qu'une mesure du débit cardiaque est réalisable par des médecins non cardiologues en pratique courante (formation de 20 heures), avec des résultats satisfaisants en comparaison avec un cardiologue référent [20]. A l'aide d'un appareil d'échographie de poche (VSCAN™, GE Healthcare), Biais et al. relèvent une bonne concordance lorsqu'on compare l'évaluation de la fonction systolique ventriculaire gauche, la dilatation du ventricule droit, l'existence d'un épanchement péricardique compressif, la collapsibilité de la veine cave, par rapport à un appareil d'échographie cardiaque portable [21]. Dans cette étude, les praticiens étaient tous formés à l'échographie si bien que leur expérience leur a permis d'interpréter avec aisance les résultats acquis avec l'échoscope. En effet, Bobbia et al. rapportent que les praticiens qui ont une expérience inférieure à 50 échographies cardiaques ont une acuité diagnostique inférieure aux urgentistes expérimentés pour le recueil et l'interprétation des images

échocardiographiques acquises avec les échoscopes [22]. La notion de formation et d'expérience est donc plus cruciale encore que les capacités techniques de l'appareil. Unluer et al. [23] relèvent que des praticiens urgentistes entraînés ont pu évaluer avec une précision de 87% l'existence de troubles de la fonction diastolique chez des patients consultant aux urgences pour dyspnée. Bien que l'étude de la fonction diastolique soit habituellement réservée aux cardiologues, son évaluation simple par les médecins non-cardiologues était rendue possible après une courte formation (6 heures). Encore une fois, la performance de l'échographie cardiaque réside dans la formation.

Mesures des pressions de remplissage du ventricule gauche

L'étude du flux mitral évalue la vitesse sanguine à travers l'orifice mitral au cours de la diastole cardiaque. En plaçant la fenêtre Doppler au-dessus de l'extrémité distale des feuillets mitraux lors de l'ouverture de la valve, on recueille un signal constitué de deux ondes : l'onde E qui correspond au remplissage passif du ventricule gauche et l'onde A qui correspond au remplissage actif par contraction auriculaire (l'onde A est donc absente en cas d'arythmie complète par fibrillation auriculaire). L'amplitude normale de l'onde E est de 0,6 à 0,9 m.s⁻¹. L'onde E est habituellement supérieure à l'onde A mais ces deux ondes tendent à s'égaliser lorsque l'âge croît (> 60 ans). L'interprétation du Doppler mitral dépend donc de l'âge et des conditions de charge du ventricule gauche (volémie). Ainsi, une onde E < 0,6 m.s⁻¹ est souvent synonyme d'hypovolémie chez un patient jeune alors que cela peut être une valeur normale chez le patient âgé. De même, un rapport E/A > 2 est synonyme d'élévation des pressions de remplissage du ventricule gauche chez un sujet âgé [24], alors que ce profil est fréquemment observé chez le patient jeune, sportif. Le temps de décélération de l'onde E (délais entre le pic de l'onde E et le retour à la ligne de base) < 150 ms signe une élévation des pressions de remplissage du ventricule gauche [25]. En réanimation, chez des patients ventilés mécaniquement, Vignon et al. rapportent qu'un rapport E/A < 1,4 a une sensibilité de 75 % et une spécificité de 100 % pour prédire une pression artérielle pulmonaire occluse (PAPO) < 18 mmHg. Pour ces raisons de difficulté d'interprétation à l'aide de l'onde E et de l'onde A, l'évaluation des pressions de remplissage s'est tournée vers d'autres méthodes complémentaires dont le Doppler tissulaire. L'onde E' en Doppler tissulaire correspond aux mouvements tissulaires de l'anneau mitral (portion septale ou portion latérale) au cours du remplissage passif du ventricule gauche. Le rapport E/E' < 8 signe des pressions de remplissage normales alors qu'un rapport > 15 signe des pressions de remplissage élevées (PAPO > 18 mmHg) [26]. Vignon et al. [27] rapportent également qu'un rapport inférieur à 8 signe des pressions de remplissage normales chez des patients ventilés en réanimation. Nagueh et al. rapportent qu'un rapport E/Ea > 12 signe une augmentation des pressions de remplissage du ventricule gauche. Entre 8 et 12, les chiffres ne permettent pas de trancher et d'autres paramètres plus complexes doivent être pris en compte (vitesse de propagation de l'onde E, taille de l'oreillette), qui ne seront pas décrits ici.

Apport du Doppler oesophagien

Parmi les outils ultrasonores utilisés en médecine d'urgence et en réanimation, le Doppler oesophagien est le seul appareil de monitoring continu du débit cardiaque. Sa mesure a été validée par rapport à la méthode de référence qu'est le cathéter artériel pulmonaire [28] et son utilisation s'est largement répandue au bloc opératoire et en réanimation pour :

- ✓ Monitorer le débit cardiaque au cours de situations à risque de variation brutale des conditions hémodynamiques (chirurgie lourde, état de choc) ;
- ✓ Guider la thérapeutique et notamment le remplissage vasculaire des patients et la nécessité de recours aux catécholamines.

L'obtention d'un signal de qualité est la garantie de données fiables. Pour ce faire, la sonde doit être introduite dans l'oesophage à la recherche d'un signal aortique, témoin du bon placement de la sonde en regard de l'aorte descendante. L'optimisation du signal se fait en tournant la sonde et en la mobilisant doucement dans le sens de la hauteur pour obtenir le signal le plus intense et le plus élevé, preuve de l'alignement optimal avec le flux aortique. Lorsque le placement de la sonde est optimal, alors la mesure du débit cardiaque est effective et permet un suivi battement par battement. Le résultat d'un remplissage vasculaire peut être évalué sur cette mesure du débit cardiaque. De plus, les variations respiratoires du flux aortique mesuré battement par battement avec la ventilation mécanique sont un indice prédictif de réponse positive au remplissage vasculaire (> 15% d'augmentation du débit cardiaque) lorsque ces variations sont supérieures à 18% avec une sensibilité et une spécificité de 90 et 94%. Le temps d'éjection corrigé par la fréquence cardiaque, classiquement considéré comme un bon paramètre, n'est utile pour prédire une réponse au remplissage vasculaire que lorsqu'il est effondré (valeur inférieure à 300 ms) [29, 30]. De même, l'effet de l'administration d'inotrope (dobutamine) peut être évalué sur la mesure du pic de vitesse aortique [31].

L'insertion de la sonde de Doppler est un geste douloureux et la stabilité de la sonde est une condition importante qui conditionne l'efficacité du monitoring. Ces éléments font que cette technique n'est utilisable que chez le patient sédaté et ventilé. Aux urgences, ce monitoring ne peut donc être considéré qu'au déchocage chez un patient ventilé lorsqu'un délai est attendu avant le transfert en réanimation ou au bloc opératoire.

Le Doppler transcrânien et la perfusion cérébrale

Le Doppler transcrânien (DTC) permet de juger de l'état des résistances en aval du territoire de l'artère cérébrale étudiée et donc de la qualité du flux cérébral d'aval. Il évalue donc le débit sanguin cérébral.

A l'aide du Doppler, l'objectif est de déterminer les modifications des vitesses cérébrales dans les gros troncs cérébraux quand les résistances des artéioles

augmentent progressivement. Ces résistances augmentent soit par écrasement extrinsèque lié à une hypertension intracrânienne soit par vasoconstriction directe comme en cas d'hypocapnie profonde. Il existe de nombreuses publications sur les résultats du DTC en cas d'absence de flux cérébral et d'état de mort encéphalique [32]. Ces études insistent sur un premier point très important qui est la disparition du flux diastolique comme premier signe avant l'arrêt complet du flux. Le deuxième impératif est l'étude de l'index de pulsativité ($IP = (Vs - Vd) / Vm$, Vs =Vélocité systolique, Vd =vélocité diastolique, Vm =vélocité moyenne) dont la normale est 1. En effet, cet index, à la différence de toutes les valeurs de vitesses dont il est composé, est indépendant de l'angle d'attaque des ultrasons sur le vaisseau étudié appelé angle d'insonation. Pour démontrer que la vitesse diastolique (Vd) est diminuée par augmentation des résistances artériolaires, il est donc impératif que l'IP soit augmenté.

Dans une population de patients traumatisés crâniens modérés, dont le GCS est entre 8 et 14, examinés aux urgences du CHU de Grenoble, ceux qui s'aggravent dans les heures qui suivent (dégradation du GCS > 2 points et/ou intervention neurochirurgicale) avaient un IP >1,25 et/ou une vitesse diastolique < 25 $cm.s^{-1}$ à l'arrivée aux urgences [3].

Le DTC est utile à l'arrivée des patients traumatisés crâniens sévères à l'hôpital. Vingt-quatre patients traumatisés crâniens graves successifs ont été étudiés à leur arrivée à Bicêtre. Les seuils de gravité retenus pour cette étude sont l'association d'une $Vd < 20 cm/s$ avec un $IP > 1,4$ [4]. L'étude du DTC réalisée dans les 20 minutes après leur arrivée en salle de déchocage montre que 46% de ces patients (11 sur 24) répondent à ces critères de gravité. Il est important de noter que la PAM moyenne n'est pas différente dans le groupe dépisté à haut risque ischémique par le DTC et dans le groupe aux DTC normaux. Le traitement immédiat (mannitol, augmentation de la PAM à la noradrénaline) a permis de corriger rapidement la baisse dangereuse de flux de ce groupe. Ce traitement permet « l'achat » du temps nécessaire à l'organisation d'exams complémentaires dans des conditions de sécurité. Le scanner est alors, dans ce groupe, rapidement programmé permettant d'analyser le type de lésions cérébrales et d'organiser un traitement plus durable comme le bloc opératoire ou l'hypothermie. Le DTC a donc permis de dépister rapidement ce groupe à haut risque et d'individualiser le traitement. Le niveau de PAM est modifié individuellement pour corriger le DTC, en conséquence, nous retrouvons une augmentation significative de PAM dans le groupe de patients qui présentent des DTC altérés à l'arrivée. Par contre, la PAM ne varie pas dans le groupe aux DTC normaux. Le DTC est donc aussi intéressant pour avoir dépisté les patients qui ne sont pas à risque ischémique (54% des patients). En effet, l'absence de problème aigu hémodynamique cérébral permet d'être rassuré et de se concentrer sur les autres atteintes potentielles de ces patients souvent polytraumatisés.

Dépister et prévenir l'ischémie sont les principaux objectifs de la réanimation des premières heures des traumatisés crâniens graves. Au total, les seuils choisis ($Vd < 20 cm/s$ et $IP > 1,4$) ont permis de dépister très rapidement, avec peu d'erreur, un

groupe à risque et un groupe sans risque ischémique. Cela a permis d'orienter le traitement (agressif dans le groupe aux DTC anormaux et attentistes dans le groupe DTC normaux) et d'organiser les examens complémentaires (rapide pour DTC anormaux, moins urgent pour DTC normaux). Le DTC à l'arrivée, comme tous les examens de débrouillage à l'arrivée reconnus indispensables (échographie abdominale, radiographie thoracique et bassin) doit faire partie du bilan initial du polytraumatisé.

L'importance pratique du DTC dans la prise en charge pousse à son utilisation avant l'arrivée à l'hôpital, pendant la prise en charge préhospitalière. En effet, la médicalisation préhospitalière devrait permettre de développer des diagnostics plus précis pendant cette phase. Ceci ne doit pas seulement être vu comme un luxe mais comme un moyen de permettre un tri utile aidant aux décisions, soit de rejoindre l'hôpital de proximité en sécurité soit de rechercher d'emblée un hôpital, plus loin, avec un accueil adapté aux risques encourus (accueil par des neuroréanimateurs et des neurochirurgiens). Trier efficacement les patients est un des grands problèmes indispensables à une gestion rationnelle (médicale et économique) des situations dans les grands centres urbains.

L'équipe du Samu 77 a ainsi testé chez 19 patients consécutifs la faisabilité du DTC et l'adaptation du traitement aux résultats retrouvés [2]. Les seuils choisis étaient une $Vd < 20 \text{ cm/s}$ avec $IP > 1,4$. Les DTC sont effectués une fois la mise en condition du patient (intubation, ventilation, circulation) et refaits à l'arrivée à l'hôpital. En préhospitalier, après la mise en condition, 46% des patients sont découverts à risques (9 sur 19). La perfusion immédiate de mannitol et le contrôle de la PAM dans ce groupe permettent d'amener à l'hôpital en sortant de la zone dangereuse (DTC altérés) 5 des 9 patients pathologiques. Par ailleurs, aucun des 10 patients aux DTC normaux après la mise en condition ne se dégrade pendant le transport. L'évaluation avec le DTC des patients en préhospitalier a permis d'abord de gagner 2-3 heures sur le traitement de l'ischémie cérébrale, puis a autorisé l'orientation utile et documentée du patient vers des centres adaptés. On peut donc estimer que l'utilisation du DTC permet de limiter l'aggravation des lésions cérébrales à la phase précoce. Cependant, l'amélioration du pronostic à long terme liée à un traitement utilisant le Doppler à la phase précoce reste à démontrer.

Limites liées à la technologie

Le développement des appareils d'échographie portable a abouti à une très bonne qualité d'image ultrasonore et à la disponibilité d'un grand nombre de fonctions exploratoires telles que le Doppler pulsé, continu, l'harmonique et le Doppler tissulaire. La technologie n'est pas limitante pour ces appareils. Une des difficultés vient parfois de l'absence d'échogénicité des patients, de plus en plus rare grâce à la puissance actuelle des échographes. Des limites technologiques peuvent être signalées pour les échographes de poche qui représentent certes une avancée et une prouesse technique mais qui ne permettent pas pour le moment de disposer de façon ubiquitaire de la fonction Doppler, nécessaire pour la réalisation du Doppler transcrânien ou de l'étude

de la fonction diastolique ventriculaire gauche. La présence du mode couleur est inconstante ainsi que celle du mode M, rarement disponible.

Concernant le Doppler oesophagien, sa principale limite vient de la nécessité d'un patient sédaté, intubé et ventilé. De plus, les mobilisations fréquentes de la sonde nécessitent des repositionnements réguliers pour optimiser le recueil du signal.

Limites liées à l'expérience du praticien

C'est sans conteste la limite la plus importante dont les conséquences sont majeures puisque le diagnostic, la mise en place d'une thérapeutique et son suivi dépendent de la capacité du praticien à acquérir les images mais surtout de sa capacité à les interpréter. La disponibilité des investigations ultrasonores est décuplée par les nouveaux appareils ultraportables mais ne doit pas faire oublier la nécessaire formation que doivent suivre les médecins afin de tirer bénéfice de ces outils. Cette nécessité a été mise en évidence à plusieurs reprises avec des interprétations largement plus pertinentes chez les praticiens expérimentés [22]. La définition de la formation, par niveau, devient nécessaire, et cette dernière doit faire la preuve de son efficacité avec une évaluation immédiate des praticiens formés. Les formations courtes sont intéressantes pour acquérir les bases théoriques et pratiques de l'échographie et faire atteindre un niveau basique dit niveau 1 (formations post-universitaires courtes) [33-35]. A l'avenir, ces formations devraient s'intégrer de plus en plus dans le cursus des médecins en formation en cours d'internat ou lors des études médicales. Le niveau de perfectionnement peut quant à lui être atteint par le biais de diplômes universitaires spécialisés (formations post-universitaires longues).

Indications du monitoring par les ultrasons

Insuffisance circulatoire aiguë

Cette entité étant traitée dans un texte spécifiquement dédié au sujet, nous ne l'aborderons donc que succinctement pour intégrer les éléments sus-cités. L'échographie focalisée peut aider à plusieurs niveaux, notamment pour identifier une cause hémodynamique cardiaque avec la recherche d'un épanchement péricardique compressif (tamponnade), d'une hypovolémie (onde E < 0,7, collapsabilité de la veine cave > 50 %, rapport E/E' < 8), d'une dysfonction myocardique gauche ou d'une dilatation des cavités droites. Au terme de cette exploration, en cas de normalité de l'examen ou après avoir corrigé les anomalies détectées, la persistance d'une hypotension peut être liée à une vasoplégie dont la cause la plus fréquente est le choc septique. En cas de point d'appel pulmonaire associé, l'échographie pleuro-pulmonaire peut aider à rechercher un pneumothorax compressif (absence de glissement pleural associé à l'existence d'un point poumon qui démontre formellement le décollement aérique pleural) ou un épanchement pleural évocateur d'hémothorax dans un contexte traumatique. L'échographie abdominale peut également aider à la recherche d'un

épanchement abdominal dont la mise en évidence suggère une lésion intraabdominale hémorragique dans un contexte traumatique.

Insuffisance respiratoire aiguë

L'échographie focalisée est une aide diagnostique majeure pour le diagnostic étiologique d'une insuffisance respiratoire aiguë. En effet, cette dernière peut aider rapidement à distinguer une cause respiratoire d'une cause cardiaque. L'exploration cardiaque recherche un épanchement péricardique, une dysfonction systolique du ventricule gauche, une dilatation du ventricule droit ainsi que des arguments pour une élévation ou non des pressions de remplissage au Doppler mitral. Cet examen peut être complété par l'examen pulmonaire avec la recherche de lignes B (ou "queues de comète") qui sont un argument fort de syndrome interstitiel sans donner d'information sur sa cause (> 3 lignes B par espace intercostal de façon bilatérale) [36]. Toutefois en présence d'arguments cliniques et échographiques de décompensation cardiaque, les lignes B renforcent le diagnostic d'OAP cardiogénique.

Anderson décrit que la mise en évidence d'une absence de collapsibilité de la veine cave inférieure est un élément supplémentaire (en plus de l'étude de la fonction systolique du ventricule gauche et de la recherche des lignes B) pour conforter le diagnostic de décompensation cardiaque [37, 38].

L'évolution de la symptomatologie échographique (importance des lignes B, importance de la dilatation de la veine cave inférieure) peut aider au suivi thérapeutique du traitement d'une décompensation cardiaque [39].

Conclusion

Longtemps réservé aux unités de réanimation, le monitoring hémodynamique a vu son utilisation croître grâce à l'avènement des techniques d'investigations non invasives ultrasonores, au premier rang desquelles figure l'échographie cardiovasculaire. En effet, la miniaturisation des appareils permet des examens en tout lieu, notamment dans les services d'accueil des urgences et en médecine préhospitalière. Lorsque cet examen est ciblé pour répondre à une question clinique soulevée par l'examen clinique du praticien, la réalisation de l'échographie est rapide et procure une aide diagnostique indéniable. Ces examens échographiques facilement répétés permettent de suivre l'évolution spontanée d'une situation hémodynamique ou dans les suites d'une intervention thérapeutique. L'apport des technologies utilisant les ultrasons est décrit dans des situations d'insuffisance circulatoire aiguë, de détresse respiratoire et de traumatisme crânien. Le transfert des compétences échographiques devient plus que nécessaire alors que le développement des appareils portables et ultraportables est croissant. La mise en place de formations adaptées est donc indispensable afin d'acquérir les compétences nécessaires à l'utilisation de ces dispositifs ultrasonores.

Références

1. Rudolph SS, Sorensen MK, Svane C, Hesselfeldt R, Steinmetz J: Effect of prehospital ultrasound on clinical outcomes of non-trauma patients--a systematic review. *Resuscitation* 2014, 85(1):21-30.
2. Tazarourte K, Atchabahian A, Tourtier JP, David JS, Ract C, Savary D, Monchi M, Vigue B: Pre-hospital transcranial Doppler in severe traumatic brain injury: a pilot study. *Acta Anaesthesiol Scand* 2011, 55(4):422-428.
3. Bouzat P, Francony G, Declety P, Genty C, Kaddour A, Bessou P, Brun J, Jacquot C, Chabardes S, Bosson JL *et al*: Transcranial Doppler to screen on admission patients with mild to moderate traumatic brain injury. *Neurosurgery* 2011, 68(6):1603-1609; discussion 1609-1610.
4. Ract C, Le Moigno S, Bruder N, Vigue B: Transcranial Doppler ultrasound goal-directed therapy for the early management of severe traumatic brain injury. *Intensive Care Med* 2007, 33(4):645-651.
5. Mirabel M, Celermajer D, Beraud AS, Jouven X, Marijon E, Hagege AA: Pocket-sized focused cardiac ultrasound: strengths and limitations. *Arch Cardiovasc Dis* 2015, 108(3):197-205.
6. Feissel M, Michard F, Faller JP, Teboul JL: The respiratory variation in inferior vena cava diameter as a guide to fluid therapy. *Intensive Care Med* 2004, 30(9):1834-1837.
7. Muller L, Bobbia X, Toumi M, Louart G, Molinari N, Ragonnet B, Quintard H, Leone M, Zoric L, Lefrant JY: Respiratory variations of inferior vena cava diameter to predict fluid responsiveness in spontaneously breathing patients with acute circulatory failure: need for a cautious use. *Crit Care* 2012, 16(5):R188.
8. Stawicki SP, Braslow BM, Panebianco NL, Kirkpatrick JN, Gracias VH, Hayden GE, Dean AJ: Intensivist use of hand-carried ultrasonography to measure IVC collapsibility in estimating intravascular volume status: correlations with CVP. *J Am Coll Surg* 2009, 209(1):55-61.
9. Dipti A, Soucy Z, Surana A, Chandra S: Role of inferior vena cava diameter in assessment of volume status: a meta-analysis. *Am J Emerg Med* 2012, 30(8):1414-1419 e1411.
10. Wallace DJ, Allison M, Stone MB: Inferior vena cava percentage collapse during respiration is affected by the sampling location: an ultrasound study in healthy volunteers. *Acad Emerg Med* 2010, 17(1):96-99.
11. Akkaya A, Yesilaras M, Aksay E, Sever M, Atilla OD: The interrater reliability of ultrasound imaging of the inferior vena cava performed by emergency residents. *Am J Emerg Med* 2013, 31(10):1509-1511.
12. Yamanoglu A, Celebi Yamanoglu NG, Parlak I, Pinar P, Tosun A, Erkuran B, Akgur A, Satilmis Siliv N: The role of inferior vena cava diameter in the differential diagnosis of dyspneic patients; best sonographic measurement method? *Am J Emerg Med* 2015, 33(3):396-401.
13. Feissel M, Michard F, Mangin I, Ruyer O, Faller JP, Teboul JL: Respiratory changes in aortic blood velocity as an indicator of fluid responsiveness in ventilated patients with septic shock. *Chest* 2001, 119(3):867-873.

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(7):1125-1132.
15. Vignon P, Chastagner C, Francois B, Martaille JF, Normand S, Bonnivard M, Gastinne H: Diagnostic ability of hand-held echocardiography in ventilated critically ill patients. *Crit Care* 2003, 7(5):R84-91.
16. Filipiak-Strzecka D, John B, Kasprzak JD, Michalski B, Lipiec P: Pocket-size echocardiograph--a valuable tool for nonexperts or just a portable device for echocardiographers? *Adv Med Sci* 2013, 58(1):67-72.
17. 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(10):1547-1552.
18. Dresden S, Mitchell P, Rahimi L, Leo M, Rubin-Smith J, Bibi S, White L, Langlois B, Sullivan A, Carmody K: Right ventricular dilatation on bedside echocardiography performed by emergency physicians aids in the diagnosis of pulmonary embolism. *Ann Emerg Med* 2013, 63(1):16-24.
19. Volpicelli G, Lamorte A, Tullio M, Cardinale L, Giraud M, Stefanone V, Boero E, Nazerian P, Pozzi R, Frascisco MF: Point-of-care multiorgan ultrasonography for the evaluation of undifferentiated hypotension in the emergency department. *Intensive Care Med* 2013, 39(7):1290-1298.
20. Dinh VA, Ko HS, Rao R, Bansal RC, Smith DD, Kim TE, Nguyen HB: Measuring cardiac index with a focused cardiac ultrasound examination in the ED. *Am J Emerg Med* 2012, 30(9):1845-1851.
21. Biais M, Carrie C, Delaunay F, Morel N, Revel P, Janvier G: Evaluation of a new pocket echoscopic device for focused cardiac ultrasonography in an emergency setting. *Crit Care* 2012, 16(3):R82.
22. Bobbia X, Pradeilles C, Claret PG, Soullier C, Wagner P, Bodin Y, Roger C, Cayla G, Muller L, de La Coussaye JE: Does physician experience influence the interpretability of focused echocardiography images performed by a pocket device? *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2015, 23(1):52.
23. Unluer EE, Bayata S, Postaci N, Yesil M, Yavasi O, Kara PH, Vandenberg N, Akay S: Limited bedside echocardiography by emergency physicians for diagnosis of diastolic heart failure. *Emerg Med J* 2012, 29(4):280-283.
24. 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(2):362-367.
25. Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC, Marino PN, Oh JK, Smiseth OA, Waggoner AD, Flachskampf FA, Pellikka PA, Evangelista A: Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2009, 22(2):107-133.
26. Ommen SR, Nishimura RA, Appleton CP, Miller FA, Oh JK, Redfield MM, Tajik AJ: Clinical utility of Doppler echocardiography and tissue Doppler imaging in the estimation of left ventricular filling pressures: A comparative simultaneous Doppler-catheterization study. *Circulation* 2000, 102(15):1788-1794.

27. Vignon P, AitHssain A, Francois B, Preux PM, Pichon N, Clavel M, Frat JP, Gastinne H: Echocardiographic assessment of pulmonary artery occlusion pressure in ventilated patients: a transoesophageal study. *Crit Care* 2008, 12(1):R18.
28. Valtier B, Cholley BP, Belot JP, de la Coussaye JE, Mateo J, Payen DM: Noninvasive monitoring of cardiac output in critically ill patients using transesophageal Doppler. *Am J Respir Crit Care Med* 1998, 158(1):77-83.
29. Monnet X, Rienzo M, Osman D, Anguel N, Richard C, Pinsky MR, Teboul JL: Esophageal Doppler monitoring predicts fluid responsiveness in critically ill ventilated patients. *Intensive Care Med* 2005, 31(9):1195-1201.
30. Lee JH, Kim JT, Yoon SZ, Lim YJ, Jeon Y, Bahk JH, Kim CS: Evaluation of corrected flow time in oesophageal Doppler as a predictor of fluid responsiveness. *Br J Anaesth* 2007, 99(3):343-348.
31. Monnet X, Robert JM, Jozwiak M, Richard C, Teboul JL: Assessment of changes in left ventricular systolic function with oesophageal Doppler. *Br J Anaesth* 2012, 111(5):743-749.
32. Ducrocq X, Braun M, Debouverie M, Junges C, Hummer M, Vespignani H: Brain death and transcranial Doppler: experience in 130 cases of brain dead patients. *J Neurol Sci* 1998, 160(1):41-46.
33. Gaspar HA, Morhy SS, Lianza AC, de Carvalho WB, Andrade JL, do Prado RR, Schvartsman C, Delgado AF: Focused cardiac ultrasound: a training course for pediatric intensivists and emergency physicians. *BMC Med Educ* 2014, 14:25.
34. Chisholm CB, Dodge WR, Balise RR, Williams SR, Gharahbaghian L, Beraud AS: Focused cardiac ultrasound training: how much is enough? *J Emerg Med* 2013, 44(4):818-822.
35. Charron C, Templier F, Goddet NS, Baer M, Vieillard-Baron A: Difficulties encountered by physicians in interpreting focused echocardiography using a pocket ultrasound machine in prehospital emergencies. *Eur J Emerg Med* 2015, 22(1):17-22.
36. Lichtenstein DA, Meziere GA: Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest* 2008, 134(1):117-125.
37. Anderson KL, Jenq KY, Fields JM, Panebianco NL, Dean AJ: Diagnosing heart failure among acutely dyspneic patients with cardiac, inferior vena cava, and lung ultrasonography. *Am J Emerg Med* 2013, 31(8):1208-1214.
38. Kajimoto K, Madeen K, Nakayama T, Tsudo H, Kuroda T, Abe T: Rapid evaluation by lung-cardiac-inferior vena cava (LCI) integrated ultrasound for differentiating heart failure from pulmonary disease as the cause of acute dyspnea in the emergency setting. *Cardiovasc Ultrasound* 2012, 10(1):49.
39. Yavasi O, Unluer EE, Kayayurt K, Ekinici S, Saglam C, Surum N, Koseoglu MH, Yesil M: Monitoring the response to treatment of acute heart failure patients by ultrasonographic inferior vena cava collapsibility index. *Am J Emerg Med* 2014, 32(5):403-407.