

Rapport d'expert

Paramètres dynamiques non invasifs prédictifs de l'efficacité d'un remplissage vasculaire

Non invasive parameters predictive of fluid responsiveness

M. Feissel

Service de réanimation et maladies infectieuses, centre hospitalier de Belfort, 14, rue de Mulhouse, 90000 Belfort, France

Reçu et accepté le 10 mars 2004

Disponible sur internet le 29 mars 2004

Résumé

Chez les patients de réanimation les plus graves et sous ventilation mécanique, la prédiction de la réponse à une expansion volémique est importante à connaître afin d'optimiser leur prise en charge hémodynamique. Les limites des paramètres classiques utilisés par les cliniciens pour décider d'une expansion volémique sont bien connues puisque seulement 40 à 70 % des patients augmenteront leur débit cardiaque suite à cette thérapeutique. Cela souligne l'intérêt de nouveaux paramètres, en particulier non invasifs, permettant de guider la prise en charge des patients les plus sévères. Les indices prédictifs non invasifs de la réponse au remplissage vasculaire les plus fiables sont dynamiques et issus des modifications hémodynamiques liées aux interactions cardiorespiratoires. Il s'agit de la variabilité respiratoire du volume d'éjection ventriculaire gauche estimée soit au niveau de l'anneau aortique par échographie Doppler soit au niveau de l'aorte descendante par le Doppler œsophagien ou de l'analyse de la variabilité respiratoire de la partie systolique de la pléthysmographie obtenue à partir de l'oxymètre de pouls. Les analyses de la variabilité respiratoire des diamètres de la veine cave inférieure par échographie sous-xiphœidienne et de la veine cave supérieure par échographie transœsophagienne mettent en évidence une insuffisance de volume sanguin circulant. Grâce à ces nouveaux paramètres, la décision d'une expansion volémique peut être guidée afin de sélectionner les patients qui en bénéficieront.

© 2004 Société de réanimation de langue française. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Circulatory failure treatment needs to assess blood volume status, in order to detect a hypovolemia requiring blood volume expansion. Unfortunately, significant fluid responsiveness occurs in only 40–70% of critical care patients after blood volume expansion, suggesting the inability of central venous pressure, pulmonary wedge pressure or conventional echocardiographic parameters to detect hypovolemia and to predict fluid responsiveness. In this way, new dynamic echocardiographic parameters have recently been proposed in mechanically ventilated patients, using the heart lung interactions, such as respiratory changes of aortic blood flow velocity, and of diameters of superior and inferior vena cava. Echocardiography Doppler allows now to completely investigate hemodynamic status in critical care patients.

© 2004 Société de réanimation de langue française. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Doppler ; Échocardiographie ; Interactions cardiorespiratoires ; Volémie

Keywords: Doppler; Echocardiography; Heart lung interactions; Volemia

1. Introduction

Les paramètres dynamiques prédictifs non ou peu invasifs de la réponse au remplissage vasculaire (RV) chez des pa-

tients sous ventilation assistée contrôlée (VAC) sont représentés par :

- l'analyse des variations respiratoires des volumes d'éjection ventriculaire gauche (VESVG) mesurés par échographie transœsophagienne (ETO) à partir soit des intégrales de temps vitesses (ITV) soit d'un point remarquable de l'enveloppe spectrale à savoir la vitesse maximale (Vmax) ;

Adresse e-mail : mfeissel@ch-belfort-montbeliard.rss.fr (M. Feissel).

- l'analyse des variations respiratoires des Vmax du flux mesuré dans l'aorte thoracique descendante par le Doppler œsophagien (DO) ;
- l'analyse des variations respiratoires de la « partie systolique » de l'onde de pléthysmographie obtenue à partir de l'oxymètre de pouls ;
- l'analyse des variations respiratoires du diamètre de la veine cave inférieure (VCI) et de la veine cave supérieure (VCS).

La mise en évidence d'une variation respiratoire du VESVG et donc du débit cardiaque sous l'influence de la ventilation mécanique permet d'affirmer que le cœur « travaille sur la portion ascendante » de la courbe de fonction de Franck-Starling, ce qui définit un état de « précharge dépendance cardiaque ».

Des variations respiratoires significatives du diamètre des veines caves permettent sans doute de détecter une hypovolémie relative ou absolue.

2. Les paramètres dynamiques non invasifs dérivés de l'échographie Doppler

2.1. La variabilité respiratoire des volumes d'éjection systolique du VG

2.1.1. Par échocardiographie Doppler

Le VESVG, et donc ses variations, peut être évalué à partir de l'enveloppe spectrale du flux Doppler enregistré au niveau de l'anneau aortique selon la formule $VES = ITV_{ao} \times S_{ao}$ (Surface aortique) où S_{ao} est calculée selon la formule : $S_{ao} = 3,14 D^2/4$ (D correspondant au diamètre de la chambre de chasse du VG). Cette méthode d'évaluation du VESVG permet de s'affranchir du problème de la compliance aortique qui doit être pris en compte lors de l'utilisation des méthodes invasives (pressions pulsées [PP] par KT artériel, stroke volume variation [SVV] par PICCO)

M. Slama et al. [1], dans une étude récente, ont comparé les indices classiques statiques de surface VD et VG à un nouvel indice dynamique (variabilité respiratoire des ITV_{ao} : ΔITV_{ao}) défini selon la formule : $\Delta ITV_{ao} = ITV_{max} - ITV_{min}/ITV_{max} + ITV_{min}/2$. Chez 12 lapins sous VAC, les auteurs ont réalisé une saignée par paliers réguliers de 5 ml jusqu'à 30 ml puis ont réinstillé le volume soustrait en analysant l'évolution des indices statiques et dynamiques. Les principaux résultats de cette étude montrent qu'il existe une bonne corrélation entre l'importance de la saignée (hypovolémie induite) et l'augmentation de la ΔITV_{ao} ($r = 0,80$; $p < 0,001$) de sorte que plus le lapin est hypovolémique, plus l'indice ΔITV_{ao} en % est de grande amplitude. De plus, une étroite corrélation est trouvée entre ΔITV_{ao} à -30 ml et l'augmentation du VESVG suite à la réinstillation du volume sanguin ($r = 0,83$; $p < 0,001$). Cet indice dynamique est donc prédictif de l'effet d'un RV sur le VESVG par opposition aux mesures statiques de surfaces ventriculaires pour lesquelles aucune corrélation significative n'est retrouvée.

La variabilité respiratoire du VESVG peut être plus simplement appréciée à partir de la vitesse maximale de l'ITV du flux aortique comme cela a été proposé par Feissel et al. [2]. Les auteurs ont émis l'hypothèse qu'une ΔV_{peak} ($\Delta V_{peak} = [V_{peakmax} - V_{peakmin}/V_{peakmax} + V_{peakmin}/2] \times 100$) de grande amplitude serait le témoin d'une précharge dépendance cardiaque et inversement. Afin de vérifier cette hypothèse, ces auteurs ont démontré chez 19 patients en choc septique et sous ventilation mécanique que le ΔV_{peak} était plus élevé ($20 \pm 6\%$) chez les patients répondeurs (R) au remplissage vasculaire par rapport aux patients non répondeurs (NR) ($10 \pm 3\%$). Les R étaient définis par une augmentation de plus de 15 % de leur IC en réponse à un RV standardisé (8 ml/kg d'hydroxy-éthylamidon en 20 minutes) et inversement pour les NR. Un seuil de 12 % permettait de discriminer R et NR avec une sensibilité et une spécificité de 100 % et de 89 %. Ainsi, plus le ΔV_{peak} est de grande amplitude ($> 12\%$) avant remplissage, plus la réponse à ce remplissage vasculaire sera importante. Dans le même travail [2], la mesure de la surface télédiastolique du VG (STDVG), paramètre classique analysant la précharge cardiaque gauche, n'était pas significativement différente entre les patients R et les NR, confirmant en partie les travaux de Tavernier [3] et de Toussignant [4] où le chevauchement des valeurs de STDVG ne permettait pas de discriminer R et NR avec une sensibilité et une spécificité satisfaisantes.

2.1.2. Par Doppler œsophagien

Le Doppler œsophagien (DO) est un moniteur de surveillance hémodynamique continue peu invasif. Il permet d'étudier le flux sanguin dans l'aorte descendante et ainsi de mesurer le VESVG et le débit aortique moyen (DAM) au niveau de l'aorte descendante. En partant de l'hypothèse que le volume transitant à ce niveau est lié au VESVG, la variabilité respiratoire des flux dans l'aorte descendante pourrait être corrélée à la variabilité respiratoire du VESVG. De même, les variations du DAM liées à la ventilation mécanique ou celles faisant suite à une épreuve de lever de jambe passif pourraient être des indices prédictifs des effets d'un RV.

La variabilité respiratoire du VESVG peut être étudiée à partir de l'enveloppe spectrale du flux Doppler au niveau de l'aorte descendante. Par analogie à la Vmax du flux Doppler aortique étudiée en ETO, la Vmax du flux Doppler mesurée dans l'aorte descendante pourrait être un marqueur « simplifié » du VESVG. Ainsi, la présence d'une variabilité respiratoire de grande amplitude de ces flux Doppler dans l'aorte descendante pourrait être un marqueur de précharge dépendance cardiaque. Dans une étude récente [5], réalisée auprès de 17 patients sous VAC, dans le cadre d'un choc septique, Feissel et al. ont comparé un indice statique (LVETc : durée du temps d'éjection corrigé du VG avant remplissage) et un indice dynamique (ΔdaV_{peak} : variabilité respiratoire des vitesses maximales dans l'aorte descendante avant remplissage) comme indice prédictif de l'effet d'un RV sur le DC.

L'objectif était de préciser l'indice le plus performant à prédire une augmentation du DAM mesuré en Doppler œsophagien de plus de 15 %. Si la corrélation entre LVETc et Δ DAM était médiocre ($r^2 = 0,35$), celle obtenue avec l'indice dynamique Δ daVPeak était satisfaisante ($r^2 = 0,63$). Ainsi, plus cet indice dynamique était de grande amplitude avant RV, plus le DAM augmentait. Sa diminution suite au RV était également bien corrélée au Δ DAM ($r^2 = 0,54$) soulignant la sensibilité de cet indice aux conditions de précharge.

Des résultats similaires ont été retrouvés par Mazerolles et al. [6].

La possibilité de mesurer simultanément le diamètre de l'aorte descendante sur certains moniteurs (hémosonic Arrow) optimise la méthode en permettant une approche plus précise du volume d'éjection et du débit cardiaque. Dans une étude récente [7], Monnet et al. ont montré dans une série de 35 patients sous VAC en rythme sinusal, que la variabilité respiratoire du débit aortique et plus encore celle des modifications du débit aortique moyen induite par une épreuve de lever de jambe passif, apparaissaient comme d'excellents outils pour prédire et évaluer la réponse à l'expansion volémique.

Chez les patients répondeurs au RV (augmentation > 15 % du DAM), la variabilité respiratoire du DAM et les variations du DAM suite à un lever de jambe passif étaient différentes chez les R par rapport aux NR. Une valeur seuil supérieure à 17 % de variabilité du DAM au cours d'un cycle respiratoire prédisait la réponse à un RV avec une Se de 83 % et une Spe de 76 %. De même l'augmentation du DAM supérieure à 7 % suite au lever de jambe passif permettait de prédire la réponse ultérieure à l'EV avec une Se de 89 % et une Spe de 94 %. Ainsi, l'interaction cardiorespiratoire sous ventilation mécanique, mais également une épreuve « simple » de lever de jambe passif pourraient permettre de sélectionner les patients répondeurs au RV.

2.1.3. Les limites des indices dynamiques échocardiographiques et Doppler analysant la variabilité respiratoire du VESVG

Les paramètres Doppler entrant dans le calcul de la variabilité respiratoire des Vmax (Vmax de l'ITVao) et des ITVao sont communs à ceux permettant le calcul de l'index cardiaque par Doppler. Il existe donc un couplage mathématique qui doit être pris en compte dans la constatation des corrélations observées.

Ces indices dynamiques ne peuvent être utilisés que chez le patient intubé, parfaitement adapté au respirateur et dont le rythme cardiaque est régulier afin de pouvoir comparer les VESVG battement à battement.

Le mécanisme fondamental de ces nouveaux indices est fondé sur la variabilité respiratoire des pressions intrathoraciques induite par la ventilation mécanique [8]. L'amplitude du phénomène dépend des réglages du volume courant [9], du niveau des pressions téléexpiratoires de la présence d'une éventuelle auto-PEP, du niveau de la pression de plateau... Tous ces paramètres devant être pris en compte dans l'interprétation des variations respiratoires du VESVG.

2.2. Paramètres analysant la précharge à partir de la mesure de la variabilité respiratoire du diamètre de la VCS en ETO et de la VCI en ETT

2.2.1. Variabilité respiratoire du diamètre de la VCI en ETT

La VCI est un vaisseau capacitif de compliance élevée donc sensible dans les conditions normales à de faibles variations de pression ou de « volume ». Sous VAC, l'augmentation inspiratoire des pressions intrathoraciques induit une diminution du retour veineux de sorte qu'une « accumulation » de sang dans la VCI observée durant cette phase est d'autant plus marquée que la VCI est compliant donc non sous tension.

L'observation d'une variabilité respiratoire du diamètre de la VCI sous VAC permettrait de mettre en évidence une précharge dépendance cardiaque.

Afin de vérifier cette hypothèse, M. Feissel et al. [10] dans un travail récent ont étudié chez 39 patients en choc septique sous VAC la variabilité respiratoire du diamètre de la VCI (Δ VCI) en tant qu'indice prédictif de l'effet d'un RV sur le DC.

$$(\Delta VCI = VCI_{\max} - VCI_{\min} / VCI_{\max} + VCI_{\min} / 2)$$

Les principaux résultats de cette étude ont montré que la Δ VCI est plus élevée chez les répondeurs (R) au remplissage vasculaire ($25 \pm 15\%$) que chez les non répondeurs (NR) ($6 \pm 4\%$). Les R étaient définis par une augmentation de plus de 15 % de leur IC en réponse à un RV standardisé. Une valeur seuil de 12 % permettait de discriminer R et NR avec une valeur prédictive positive de 93 % et une VPN de 92 %. Il existait une corrélation linéaire satisfaisante entre la valeur de base du Δ VCI et le pourcentage d'augmentation de l'IC en réponse au RV ($r = 0,82$; $p < 0,001$). Plus la Δ VCI était de grande amplitude à l'état de base, plus la réponse au RV était importante. Les mesures « statiques » du diamètre de la VCI (maximum et minimum) étaient bien moins corrélées aux variations du DC induit par le RV ($r = 0,44$ pour VCI_{\max} ; $r = 0,58$ pour VCI_{\min}).

Ainsi, l'étude de la variabilité respiratoire du diamètre de la VCI est un indice particulièrement simple à obtenir de manière non invasive qui pourrait sélectionner, en présence d'une instabilité hémodynamique au cours du choc septique chez des patients sous VAC, les patients répondeurs à un RV.

2.2.2. Variabilité respiratoire du diamètre de la veine cave supérieure (VCS) en ETO

La VCS est un vaisseau intrathoracique dont le diamètre dépend : de la pression intravasculaire, de la contre-pression intrathoracique, de la compliance du vaisseau. Dans certaines conditions de volémie insuffisante, l'application lors de l'insufflation d'une pression intrathoracique positive pourrait entraîner un collapsus complet ou partiel du vaisseau.

Ainsi, la variabilité respiratoire de la VCS et son index de collapsibilité pourraient prédire l'effet hémodynamique d'une expansion volémique.

La VCS peut être étudiée en ETO à partir d'une coupe des vaisseaux de la base. Vieillard-Baron et al. [11] ont récemment trouvé chez des malades en choc septique sous ventilation contrôlée une étroite relation entre la diminution inspiratoire du VES du VD et le degré de collapsus de la VCS. L'index de collapsibilité de la VCS était défini par la différence entre son diamètre maximal expiratoire et son diamètre minimal inspiratoire rapporté à son diamètre maximal ($D_{\max} - D_{\min}/D_{\max}$). Parmi les 22 patients étudiés, 15 qui présentaient une faible diminution inspiratoire du diamètre de la VCS (-17%) n'avaient qu'une faible diminution du VESVD analysée à partir du flux Doppler de l'artère pulmonaire ($-26 \pm 17\%$). Chez les sept autres, un collapsus inspiratoire marqué (-71%) était observé et associé à une diminution inspiratoire bien plus marquée du VESVD ($-69 \pm 14\%$). Chez ces patients, un remplissage vasculaire corrigeait le collapsus inspiratoire de la VCS, ramenait les variations du VES du VD à un niveau identique à celui des patients du premier groupe et augmentait l'IC de manière significative.

La présence d'un collapsus inspiratoire de la VCS traduit donc une insuffisance du volume sanguin central qui en présence d'une instabilité hémodynamique requiert impérativement un RV. Dans un travail plus récent, Vieillard-Baron et al. [12] ont confirmé sur 48 malades que l'analyse de la variabilité respiratoire du diamètre de la VCS en ETO était un bon indice prédictif de la réponse hémodynamique au RV chez des patients sous VAC dans le cadre du choc septique.

2.2.3. Limites des indices analysant les « réserves » de précharge

La mesure du diamètre de la VCI doit être réalisée sur un vaisseau dont les bords sont parallèles afin de ne pas interpréter les variations de diamètre liées à des variations anatomiques, comme celles induites par des phénomènes hémodynamiques. Chez certains patients, notamment chirurgicaux, des pressions intra-abdominales élevées peuvent modifier les variations de diamètre de la VCI liées à la ventilation. Concernant la mesure de la variabilité respiratoire du diamètre de la VCS, son facteur limitant est la nécessité de réaliser une ETO dont on connaît les difficultés liées à la disponibilité d'un appareillage lourd et coûteux et à la formation des praticiens.

3. Critères dynamiques dérivés de la courbe de pléthysmographie obtenue à partir de l'oxymètre de pouls

La pléthysmographie est utilisée quotidiennement en réanimation, couplée avec l'oxymétrie de pouls qui permet l'analyse de la SpO_2 . L'observation des variations d'amplitude de l'onde de pouls sous VAC est bien réelle et très fréquente. Shamir [13] a réalisé une étude comparant la variabilité respiratoire de la pression artérielle mesurée par KT et ses composantes SPV, *Delta down* et *Delta up*, à celle

obtenue par pléthysmographie en créant les équivalents SPV-plet, *Delta down* pleth et *Delta up* pleth. La population était composée de jeunes patients bénéficiant d'une intervention pour scoliose. Une saignée de l'équivalent de 10 % du volume sanguin estimé était réalisée induisant ainsi une hypovolémie modérée. L'amplitude des variabilités respiratoires de SPV et de *Delta down* des deux méthodes augmentait de façon significative par rapport aux valeurs de base et les deux valeurs étaient bien corrélées entre elles ($r = 0,85$ et $0,72$ respectivement). Après re-transfusion, les SPV et *Delta down* des deux méthodes diminuaient leurs amplitudes mais la corrélation entre elles était médiocre et non statistiquement significative ($r = 0,36$ et $0,43$ respectivement). Ainsi l'analyse de la variabilité respiratoire du signal de pléthysmographie obtenu à partir du signal de l'oxymétrie de pouls est une méthode qui permettrait de détecter les hypovolémies modérées.

D'autres méthodes dérivées de l'analyse de l'onde de pouls, ou avec un traitement de cette onde de pouls, doivent être mentionnées car potentiellement intéressantes dans l'analyse de la variabilité respiratoire du VES du VG. Wisely et Cook [14] ont traité l'onde de pouls d'un oxymètre afin d'en extraire la « partie » artérielle et l'ont comparé aux flux Doppler de la même artère (radiale). Les résultats montrent une quasi-similitude entre les deux valeurs témoignant ainsi de l'intérêt potentiel de ces nouveaux outils non invasifs permettant d'approcher la variabilité respiratoire des ondes de pouls et leurs relations avec la PP et donc les variations des VES du VG.

Feissel et al. [15] ont étudié chez 20 malades en choc septique la partie systolique de l'onde de pouls de la pléthysmographie en tant qu'indice prédictif de la réponse au RV. La pléthysmographie pulsée était définie par l'amplitude entre le pied et le maximum de l'onde de pouls. Les signaux de la PP et de la « Pléthysmographie pulsée » (PlethP) ont été simultanément enregistrés sur un micro ordinateur permettant l'analyse de la variabilité respiratoire, de la PP (ΔPP) et de la PlethP ($\Delta PlethP$).

$$\left[\Delta PlethP = \left(\frac{PlethP_{\max} - PlethP_{\min}}{PlethP_{\max} + PlethP_{\min}} \right) \times 100 \right].$$

Les ΔPP et $\Delta PlethP$ étaient calculées à partir des valeurs moyennes de cinq cycles respiratoires consécutifs. Une corrélation entre ces deux paramètres était recherchée. Une seconde série de 13 patients bénéficiait d'une épreuve de RV. La mesure du DC par échographie Doppler et des paramètres ΔPP et $\Delta PlethP$ était réalisée avant et après RV. Une corrélation était recherchée entre ces paramètres et les variations du DC (ΔDC). Chez les 20 premiers patients, une excellente corrélation était obtenue entre ΔPP et $\Delta PlethP$ ($r^2 = 0,85$). Dans la petite série de 13 patients, une excellente corrélation était trouvée entre $\Delta PlethP$ et ΔPP avant RV et les ΔDC ($r^2 = 0,92, 0,94$). De plus, la diminution de $\Delta PlethP$, suite au RV, était également bien corrélée au ΔDC ($r^2 = 0,90$).

Cependant, l'étude de Goldparvar [16] démontre la complexité de l'interprétation de l'onde de pouls. En effet, ces

auteurs retrouvent une variabilité respiratoire de l'onde de pouls induite par une hypotension pharmacologique sans hypovolémie associée. Ainsi l'amplitude de la variabilité respiratoire de l'onde de pouls doit être interprétée avec prudence et esprit critique et en fonction de la situation clinique.

4. Conclusion

De nombreux paramètres dynamiques non invasifs sont donc à notre disposition pour nous aider dans la prise en charge des patients hémodynamiquement instables notamment au cours du choc septique. Plus que la décision d'entreprendre un RV à la phase aiguë qui s'impose souvent comme première thérapeutique, ces indices contribuent à la prise de décision de la poursuite ou non d'un RV chez des patients déjà « bien remplis ».

Références

- [1] Slama M, Masson H, Teboul JL, Arnout ML, Susic D, Frohlich E, et al. Respiratory variations of aortic VTI: a new index of hypovolemia and fluid responsiveness. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2002;283:1729–33.
- [2] 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; 119:867–73.
- [3] Tavernier B, Makhotine O, Lebuffe G, Dupont J, Scherpereel P. Systolic pressure variation as a guide to fluid therapy in patient with sepsis-induced hypotension. *Anesthesiology* 1998;89:1313–21.
- [4] Toussignant CP, Walsh F, Mazer CD. The use of transoesophageal echocardiography for preload assessment in critically ill patients. *Anesth Analg* 2000;90:351–5.
- [5] Feissel M, Roblès G, Darfin S, Mangin I, Ruyer O, Faller JP. Quel indice echo Doppler oesophagien est le plus pertinent pour prédire l'efficacité d'un remplissage vasculaire chez les patients en insuffisance circulatoire aiguë sous ventilation mécanique ? *Réanimation* 2003;12(Suppl 3):SP276 (abstract).
- [6] Mazerolles M, Duterque D, Rouge P, Samii K, Virenque C. La variabilité du flux aortique par Doppler oesophagien permet-elle d'évaluer la précharge dépendance ? *Réanimation* 2001;10(Suppl 1):SP 244 (abstract).
- [7] Monnet X, Rienzo M, Richard C, Osman D, Anguel N, Pinski M, et al. Prédiction non invasive de la réponse à l'expansion volémique chez les patients ventilés et sédatisés : réponse au lever de jambes et variabilité respiratoire du débit aortique œsophagien. *Réanimation* 2003; 12(Suppl3):SP272 (abstract).
- [8] Morgan BC, Martin WE, Hornbein TF, Crawford EW, Guntheroth WG. Hemodynamic effects of intermittent positive pressure respiration. *Anesthesiology* 1966;27:584–90.
- [9] Reuter DA, Kirchner A, Felbinger TW, Weis FC, Kilger E, Lamm P, et al. Usefulness of left ventricular stroke volume variation to assess fluid responsiveness in patients with reduced cardiac function. *Crit Care Med* 2003;31:1399–404.
- [10] Feissel M, Michard F, Faller JP, Teboul JL. The respiratory variation in inferior vena cava as a guide to fluid therapy. *Intensive Care Med* 2004 (in press).
- [11] Vieillard-Baron A, Augarde R, Prin S, Page B, Beauchet A, Jardin F. Influence of superior vena caval zone condition on cyclic changes in right ventricular outflow during respiratory support. *Anesthesiology* 2001;95:1083–8.
- [12] Chergui K, Rabiller A, Jardin F, Vieillard-Baron A. Valeur de l'index de collapsibilité de la Veine Cave Supérieure pour prédire la réponse au remplissage des maladies en choc septique. *Réanimation* 2003; 12(Suppl3):So32 (abstract).
- [13] Shamir M, Eidelman LA, Floman Y, Pizov R. Pulse oximetry plethysmographic waveform during changes in blood volume. *Br J Anaesth* 1999;82:178–81.
- [14] Wisely NA, Cook LB. Arterial flow waveforms from pulse oximetry compared with measured Doppler flow waveforms apparatus. *Anaesthesia* 2001;56:556–61.
- [15] Feissel M, Roblès G, Ruyer O, Mangin I, Faller JP, Teboul JL. Les variations de la pléthysmographie de l'oxymètre de pouls sont-elles un nouvel indice prédictif de la réponse au remplissage vasculaire chez les patients ventilés. *Réanimation* 2003;12(Suppl 3):SP274 (abstract).
- [16] Golpavar M, Naddafnia H, Saghaei M. Evaluating the relationship between arterial blood pressure changes and indices of pulse oximetric plethysmography. *Anesth Analg* 2002;95:1686–9.