

53^e congrès national d'anesthésie et de réanimation
Médecins. Conférence d'actualisation
© 2011 Sfar. Tous droits réservés.

Gestion de la volémie en peropératoire

B. Tavernier*, A. Gamelin, S. Faivre

Pôle d'Anesthésie Réanimation, Centre Hospitalier Régional Universitaire de Lille, 59037 Lille cedex, France

*Auteur correspondant : benoit.tavernier@chru-lille.fr

POINTS ESSENTIELS

- L'hypovolémie est fréquente durant la période opératoire ; elle n'est pas facilement détectée par la clinique et le monitoring conventionnel (fréquence cardiaque, pression artérielle, diurèse, pression veineuse centrale).
- L'hypovolémie, mais aussi des apports liquidiens trop importants, augmentent le risque de complication postopératoire. Leur prévention durant toute la période opératoire est la base des stratégies "d'optimisation de la volémie".
- L'objectif hémodynamique du remplissage vasculaire est de maximaliser le débit cardiaque selon la relation de Frank-Starling.
- Cette maximalisation peut se faire en titrant le remplissage vasculaire en fonction de la réponse du débit cardiaque.
- Elle peut aussi se faire en guidant le remplissage par la mesure d'indices dynamiques de "précharge-dépendance" tels que la variation de la pression pulsée obtenue par monitoring invasif de la pression artérielle. Pour ces indices, la notion de valeur-seuil devrait laisser la place à la notion de zone d'incertitude décisionnelle.
- L'interprétation des indices de précharge-dépendance et la décision de remplissage incluent la vérification de critères de validité, la prise en compte de l'ensemble des données cliniques et hémodynamiques et l'estimation du rapport bénéfice/risque.

- L'optimisation peropératoire de la volémie diminue la morbidité postopératoire en chirurgie à risque intermédiaire et élevé. Ceci est validé pour des stratégies utilisant l'administration titrée d'un colloïde guidée par le doppler œsophagien ou un indice dynamique invasif automatisé.
- Certains outils sont susceptibles de monitorer de façon fiable et non invasive la précharge-dépendance du débit cardiaque. Leur place dans le monitoring des patients à risque faible et intermédiaire devrait être précisée dans un avenir proche.

INTRODUCTION

La volémie est le volume circulant total de l'organisme (plasma et éléments figurés). Sa valeur normale est de 65 à 75 ml/kg chez l'adulte. "Bien gérer" la volémie suggère a priori la capacité à maintenir une volémie normale durant la période considérée. Mais qu'est-ce qu'une volémie normale? La simple notion de volume (que l'on ne peut de toute façon approcher simplement en pratique clinique) est évidemment insuffisante, voire inadaptée au contexte périopératoire impliquant hypovolémie absolue et relative. La définition opérationnelle de l'hypovolémie est hémodynamique [1] et se caractérise par une diminution du volume sanguin intrathoracique (ou central), du retour veineux systémique, de la précharge cardiaque et donc du volume d'éjection systolique (VES). La conséquence attendue d'une diminution de précharge est en effet l'apparition d'un état de "précharge-dépendance" (ou "réserve de précharge"), comme illustré par les courbes de fonction systolique de Frank-Starling (**Figure 1**), où le VES (et, le plus souvent, le débit cardiaque) est diminué, limité par "déficit de précharge". La "réserve de précharge" est d'autant plus importante que le ventricule travaille sur la portion ascendante de la courbe, sur sa partie initiale et que la pente de cette portion est marquée [1]. Dans ce cas, l'accroissement de la précharge (par un remplissage vasculaire en particulier) augmente les dimensions diastoliques et le VES, jusqu'à atteindre la portion en plateau de la courbe, caractéristique de l'état de "précharge-indépendance", où la même

expansion volémique augmenterait la pression transmurale, mais peu ou pas les dimensions diastoliques ventriculaires et le VES. L'existence d'une réserve de précharge ne définit pas cependant *per se* l'hypovolémie et il est d'ailleurs généralement considéré qu'une réserve modérée de précharge est physiologique. De façon complémentaire, la définition de l'hypovolémie peut être précisée à partir des bénéfices attendus de sa correction qui sont les conséquences générales et régionales de l'augmentation du VES (atténuation des signes cliniques d'hypovolémie, correction d'une acidose lactique ou d'une hypotension artérielle, reprise de la diurèse, diminution de la fréquence cardiaque) [1].

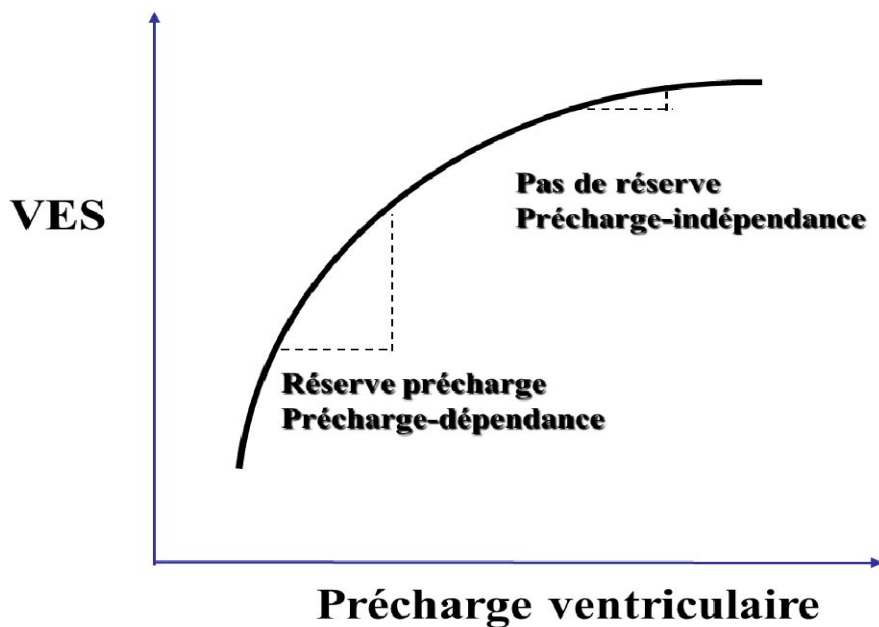


Figure 1.- Courbe de fonction systolique ventriculaire de Frank-Starling illustrant la relation entre la précharge et le volume d'éjection systolique (VES). Quand le ventricule « travaille » sur la partie ascendante de la courbe, le VES est limité par défaut de précharge (état de « précharge-dépendance », présence d'une réserve de précharge). Le remplissage vasculaire augmentera le VES. Quand le ventricule « travaille » sur la partie en plateau de la courbe, il n'y a pas de réserve de précharge, le VES est « précharge-indépendant », et un remplissage n'augmentera pas le VES.

Dans le cadre de la période peropératoire, une nouvelle définition de la normovolémie émerge de la littérature des 15 dernières années (cf. plus loin) ; elle est illustrée dans la **figure 2** : il existe une relation en forme de "U" entre les apports liquidiens peropératoires et la morbidité

postopératoire [2]. L'hypovolémie, même modeste (l'adaptation du système sympathique étant altérée sous anesthésie), en limitant le VES, entraîne le plus souvent une diminution du débit cardiaque et donc du transport en oxygène au tissu. Ainsi, la diminution de la perfusion splanchnique augmente le risque de complications digestives, de nausées et vomissements et la durée d'hospitalisation. De même, un remplissage excessif va lui aussi entraîner, *via* une augmentation de l'œdème interstitiel, un œdème tissulaire responsable d'une diminution de l'apport en oxygène aux tissus concernés. Autrement dit, l'hypovolémie comme l'hypervolémie favorisent, *via* une diminution de l'oxygénation tissulaire, la survenue de complications postopératoires ; la gestion optimale de la volémie est celle qui permet, chez tous les patients et, chez chaque patient, à tout moment de l'intervention, d'amener la volémie au niveau correspondant à la base du "U". Comme décrit plus loin, cet objectif semble aujourd'hui pouvoir être atteint en guidant le remplissage vasculaire sur divers éléments du monitoring, réalisant une « optimisation » individualisée des apports liquidiens et de la volémie. De façon plus générale, ce concept marque une évolution dans l'utilisation des données hémodynamiques peropératoires. En effet, le monitoring chez l'opéré n'est plus seulement utilisé pour jouer un rôle d'alarme, où l'objectif est simplement de ne pas "sortir" d'une zone de valeurs considérée comme satisfaisante ou acceptable (par exemple, la PAM doit rester > 65 mmHg, ou l'index cardiaque [IC] $> 2,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). Dans cette vision classique, l'hypothèse qu'en dehors de ces limites, un défaut de perfusion tissulaire puisse exister, impose une intervention hémodynamique qui sera donc corrective ; au contraire, le concept d'optimisation hémodynamique utilise le monitoring pour atteindre, de façon "préventive" (alors que l'hémodynamique systémique semble situer le patient dans la zone de valeurs satisfaisantes ou acceptables) des objectifs basés sur une ou plusieurs variables, par exemple, variation respiratoire de la pression artérielle pulsée (VPP) $< 10\%$, ou IC $> 4,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Probablement parce que, chez la majorité des opérés, en tous cas en chirurgie programmée, le risque

d'hypoperfusion tissulaire est principalement lié aux anomalies de la "macrocirculation" (beaucoup plus que de la microcirculation ou de l'utilisation cellulaire de l'oxygène), le monitoring hémodynamique peut permettre, en guidant la réanimation périopératoire, et plus particulièrement les apports liquidiens peropératoires, d'améliorer les suites postopératoires.

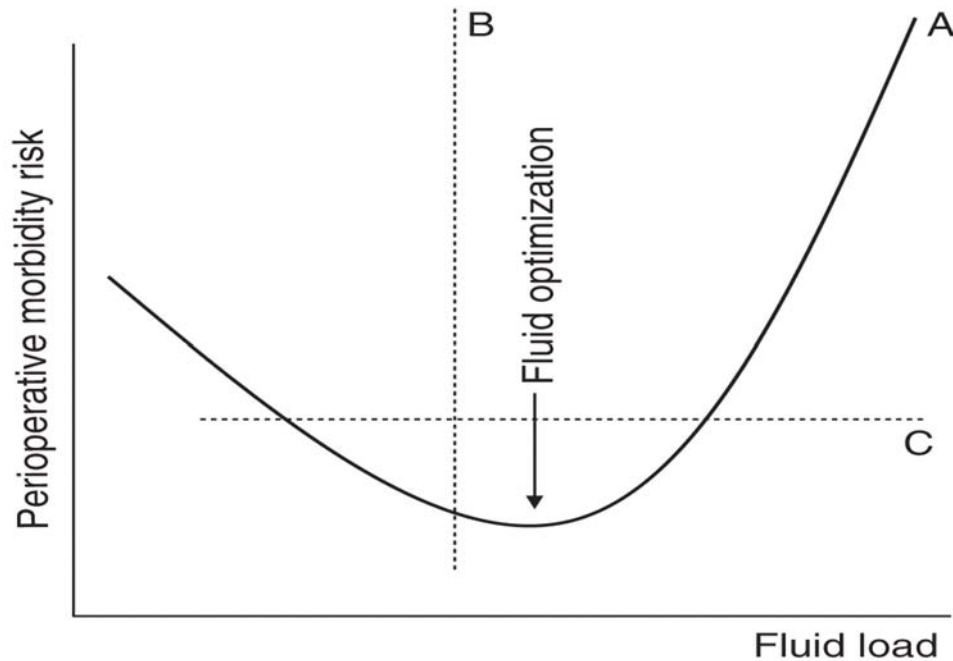


Figure 2.- Illustration de la relation entre apports liquidiens peropératoires et morbidité périopératoire. Le risque de complications augmente avec les apports liquidiens trop restreints (hypovolémie) comme avec ceux trop larges. L'optimisation peropératoire de la volémie est une stratégie de remplissage vasculaire visant à prévenir ces deux risques, de manière à amener le pronostic à la base de la courbe. Reproduit de Bellamy MC [2], avec l'autorisation de Oxford University Press.

INDICES DU MONITORAGE DE LA VOLÉMIE

Les bases "modernes" du monitoring de la volémie sont résumées dans les recommandations d'experts sur les "indicateurs du remplissage vasculaire au cours de l'insuffisance circulatoire" publiées en 2004 [1] et qui restent pertinentes aujourd'hui. Les signes cliniques comme les éléments

de surveillance de base (en particulier fréquence cardiaque et pression artérielle) ne permettent pas une évaluation fiable de la volémie. De plus, qu'il s'agisse des pressions (pression veineuse centrale [cathéter veineux central], pression artérielle pulmonaire d'occlusion [cathéter artériel pulmonaire (CAP)]), de surfaces (surface télédiastolique ventriculaire gauche [échocardiographie]), de volumes (volume télédiastolique du ventricule droit [CAP spécifique], volume télédiastolique "global" [PiCCO™, Pulsion Medical Systems]), ou autres dimensions reliées (temps d'éjection dans l'aorte descendante [Doppler œsophagien]), les indices "statiques", évaluant la précharge ventriculaire, sont tous de valeur limitée pour prédire la réponse au remplissage vasculaire. On peut simplement considérer que les valeurs extrêmes permettent d'orienter le diagnostic et le traitement, et que les variations constatées au cours de mesures répétées (toutes choses étant égales par ailleurs) reflètent les variations du volume sanguin "central", notamment au décours d'une épreuve de remplissage. Une particularité du monitoring peropératoire est que, dans de nombreux cas, le monitoring est débuté en conditions de stabilité hémodynamique. Ceci peut, dans une certaine mesure, être mis à profit pour guider les apports par rapport à des mesures de référence (voir plus loin).

L'analyse de la relation de Frank-Starling permet de comprendre les discordances fréquentes entre critères statiques de précharge (pressions, flux doppler, dimensions, surfaces ou volumes) et réponse au remplissage vasculaire. En effet, dans la mesure où la courbe de fonction systolique varie d'un patient à l'autre et, chez un même patient, peut varier d'un moment à l'autre et, parfois, d'un ventricule à l'autre, la connaissance d'une valeur donnée de précharge n'identifie pas toujours l'état de précharge-dépendance ou de précharge-indépendance. De nombreuses études ont montré au cours des 10-15 dernières années qu'au cours de la ventilation contrôlée, les variations du VES du VG induites par la ventilation pouvaient, moyennant certaines conditions, répondre à cet objectif [3]. L'insufflation induit des modifications des conditions de charge de chaque ventricule dont les plus importantes sont liées à un effet de chasse du sang capillaire et veineux pulmonaire vers les

cavités gauches et à une diminution du retour veineux vers le ventricule droit. L'un induit une augmentation transitoire de la précharge et, éventuellement, du VES du VG, contemporaine de l'insufflation. L'autre induit une diminution transitoire de la précharge du VD, et, le plus souvent, du VES du VD qui, du fait de l'interdépendance ventriculaire en série, se transmet quelques battements cardiaques plus tard (durant l'expiration) au VG, résultant en une diminution cyclique, expiratoire, du VES du VG. Les propriétés mécaniques de la paroi artérielle ne variant peu ou pas d'un battement cardiaque à l'autre, ces variations du VES induisent des variations proportionnelles de la PA, rythmées par la ventilation. Ces variations de la PA peuvent être quantifiées à partir des variations de la PA différentielle (ou pression pulsée [PP], dimension la plus directement liée au VES) ou de la PA systolique.

L'intérêt théorique de l'analyse des variations respiratoires de la PA peut être illustré de façon simplifiée à partir des courbes de Frank-Starling : l'insufflation entraînant des variations cycliques de la précharge biventriculaire (d'où l'appellation d'indices "dynamiques"), des variations respiratoires de la PA de grande amplitude traduisent des variations de grande amplitude du VES des deux ventricules. Les deux ventricules "travaillent" donc a priori sur la partie ascendante de la courbe de Frank-Starling, le VES est "précharge-dépendant" et augmentera si un remplissage vasculaire est réalisé. À l'inverse, des variations de la PA de faible amplitude témoignent de variations du VES également limitées. Au moins l'un des deux ventricules "travaille" donc sur la partie plate de la courbe de Frank-Starling, le VES est "précharge-indépendant" et n'augmenterait pas si un remplissage était effectué.

La validation expérimentale de cette analyse a été essentiellement réalisée par Perel et al. [4] dans une série de travaux utilisant comme indice la variation respiratoire de la PA systolique (VPAS, ou " Δ PAS"), décomposée en deux parties, l'une négative (appelée " Δ down"), l'autre positive (" Δ up"), déterminées par rapport à la PAS mesurée lors d'une pause téléexpiratoire de

quelques secondes. La capacité de ces indices à prédire la réponse du débit cardiaque au remplissage vasculaire a été démontrée dans de nombreuses études [3], initialement en soins intensifs chez des patients en choc septique, puis dans le contexte péri-opératoire. Des valeurs de " Δ down" > 4-5 mmHg [5] , et de " Δ PP" > 12-13 % (avec " Δ PP" (%) = $(PP_{max} - PP_{min}) / [(PP_{max} + PP_{min}) / 2] \times 100$) [6] possèdent des valeurs prédictives de "précharge-dépendance" (en général définies par l'augmentation du VES d'au moins 10 à 15 % en réponse à un RV de 250 à 500 ml perfusé en 10 à 20 min) de l'ordre de 90 %, très supérieures à celles obtenus chez les mêmes malades avec des indices statiques de précharge. De plus, d'assez bonnes corrélations (bien qu'assez variables d'une étude à l'autre) ont été trouvées entre la valeur initiale de " Δ down" ou de " Δ PP" et l'augmentation de VES secondaire au remplissage. L'utilisation de la VPAS est légèrement moins fiable que les deux précédents indices [1], sans doute parce que les variations de la pression extramurale aortique influencent plus la VPAS que " Δ PP" ou " Δ down". Ces mesures nécessitent le monitoring invasif de la pression artérielle. Les principales conditions de "validité" de ces indicateurs sont connues et ne sont pas un obstacle chez la plupart des patients opérés de chirurgie à risque intermédiaire ou majeur : nécessité d'une ventilation contrôlée, volume courant ≥ 7 ml/kg (voir aussi plus loin), rythme cardiaque régulier, thorax fermé.

Au début des années 2000, la mesure en routine des indices de précharge-dépendance nécessitait le recours à des procédés plus ou moins "artisansaux", sauf à disposer d'une chaîne de mesure informatisée. En pratique, il est possible, *via* la fonction "mesure de la PAPO" (disponible sur la plupart des moniteurs multiparamétriques au bloc, en réanimation, ou en salle de déchoquage), après avoir "identifié" la PA comme une PA pulmonaire, d'obtenir une courbe défilant à vitesse réduite que l'on peut "geler" pour mesurer à l'aide du curseur (théoriquement destiné à la mesure de la PAPO) avec une précision très acceptable les variations respiratoires de la PA. Dans

ces conditions de mesure manuelle, la mesure de la VPAS avec " Δ down" est plus simple et plus rapide que celle de " Δ PP", mais chaque paramètre peut être estimé en quelques secondes.

Le Δ PP est aujourd'hui disponible de façon automatisée sous forme d'équivalents exprimés en variations de la pression pulsée (VPP) ou du volume d'éjection systolique (VVE), mais toujours calculés à partir de la courbe de pression artérielle. Les méthodes de mesure étant différentes d'un moniteur à l'autre et les algorithmes d'obtention de la variable propres à chaque constructeur, on ne peut pas généraliser à l'ensemble des moniteurs fournissant un indicateur donné les résultats obtenus avec la méthode ou l'indicateur d'un autre constructeur [7]. La première solution automatisée, permettant un réel monitoring, a été fournie sous la forme du calcul des variations respiratoires de VES par le système PiCCO™ (Pulsion Medical Systems) à partir du monitoring de la PA et du VES (analyse du contour de l'onde de PA) par cathéter fémoral. Le système nécessite au préalable une mesure du débit cardiaque par thermodilution transpulmonaire, pour "calibrer" l'analyse de l'onde de PA (il est donc nécessaire d'avoir un double abord vasculaire, veineux central et artériel, typiquement fémoral, avec consommable "captif"). La prédiction de la réponse du VES au remplissage, y compris chez des patients opérés, en per- et postopératoire est satisfaisante, sans toutefois apporter de gain par rapport à la mesure de la variation de PA. La valeur-seuil est de l'ordre de 11-12 % [3]. Les versions actuelles du PiCCO fournissent à la fois la VVE et la VPP. Plus récemment, le système FloTrac/Vigileo™ (Edwards Lifesciences), qui mesure également une VVE, sans calibration initiale, à partir de l'onde de PA au niveau radial (le cathéter étant connecté au capteur FloTrac™, dispositif à usage unique), a été proposé et semble également prédire avec la même fiabilité la réponse au remplissage vasculaire [8-10]. La mesure automatisée et continue des variations respiratoires de la PA est maintenant disponible sur les moniteurs multiparamétriques "classiques", ce qui ne nécessite donc aucun matériel, consommable en particulier, supplémentaire pour l'obtention de la variable (indice "VPP" des moniteurs Philips (gamme Intellivue™), avec une

validation également satisfaisante [10,11] ; les autres grandes firmes proposent (ou vont proposer dans un futur très proche) des indices équivalents, encore en cours de validation.

Si en réanimation, la mesure invasive de la PA est le plus souvent justifiée, en peropératoire un monitoring non invasif est recherché chaque fois que possible. Des critères dynamiques non invasifs ont été validés dans les mêmes conditions que les précédents. Ils sont issus de l'échographie et du Doppler : variations respiratoires des vitesses maximales et/ou de l'intégrale temps-vitesse (ITV) du flux aortique ascendant et descendant, de flux artériels plus périphériques, du diamètre de la veine cave inférieure et de la veine cave supérieure. Ces mesures nécessitent une bonne maîtrise, sont opérateur-dépendantes et ne peuvent être facilement obtenues de façon répétée, au moins en anesthésie. La reproductibilité de ces résultats reste à vérifier en routine. Enfin, ces mesures ne sont pas simplement automatisables. De nombreuses études ont désormais montré que la variabilité respiratoire de l'onde pléthysmographique de l'oxymètre de pouls (indice " Δ POP", calculé sur la courbe d'oxymétrie de la même façon qu'un Δ PP sur la courbe de PA) était corrélée avec celle de l'onde de pression artérielle et, en tous cas dans les conditions des études cliniques, permettait de prédire de façon fiable la réponse au remplissage, avec des valeurs seuil du même ordre que celles obtenues avec les indices issus de la courbe de PA [12]. Cependant, la reproductibilité de la mesure comme sa valeur prédictive dans des conditions d'utilisation peropératoires "réelles" ont été inférieures à celles des indices dérivés de la PA dans certaines études [13,14]. Les conditions de perfusion périphérique (état de choc, hypothermie), mais aussi le choix du type de capteur, sont susceptibles d'altérer la fiabilité de la mesure [15-17] et d'expliquer ces divergences. L'indice de perfusion (le rapport de la partie pulsée du signal infrarouge sur la partie non pulsatile, qui reflète donc l'amplitude relative de l'onde pulsée, la seule affichée à l'écran) fourni par certains moniteurs pourrait permettre d'éliminer les mesures invalides liées à la qualité insuffisante du signal dans ces conditions [16]. Les limites de ces mesures non invasives sont encore aujourd'hui l'automatisation

du calcul des indices. Cependant, la variation de l'index de perfusion (PVI pour "Perfusion Variation Index") fourni par certains oxymètres de pouls (MasimoSet™ rainbow, Masimo Corp.) est une première réponse à cette limitation. Plusieurs études ont montré, en particulier dans les conditions du bloc opératoire, que cet indice, proche du Δ POP, permettait la prédiction de façon fiable de la réponse au remplissage vasculaire [18]. Il s'agit de la première solution de monitoring de la précharge-dépendance d'utilisation simple, non invasive, sans coût significatif de consommable, utilisable sous réserve des conditions de validité des indices dynamiques décrites plus haut. Enfin, une dernière génération de moniteurs propose, ou va proposer, ces indices dynamiques à partir de la mesure non invasive de la PA ou du VES (par exemple, le CNAP™ (CNSystems) ou le Nexfin™ (Bmeye), moniteurs qui reprennent la technique antérieurement développée pour le monitoring non invasif de la pression artérielle par méthode photopléthysmographique au niveau digital sur le Finapres™, ou le Nicom™ (Cheetah Medical), qui utilise la bioréactance thoracique. Les premiers résultats publiés avec les mesures fondées sur la photopléthysmographie digitale sont positifs [19], en cohérence avec les résultats déjà rapportés avec une VPP non automatisée calculée à partir des courbes issues du Finapres™ [13]. À notre connaissance, le niveau de validation des indices proposés par les autres moniteurs ne permet pas à ce jour de les recommander pour la pratique.

La bonne valeur prédictive et la simplicité apparente d'interprétation des indices "dynamiques" validés expliquent probablement leur popularité, en particulier auprès des plus jeunes praticiens qui découvrent ces indices en même temps que l'hémodynamique. Il faut mettre en garde contre une utilisation irraisonnée, qui conduirait à des erreurs thérapeutiques. L'interprétation de la mesure de ces indices doit, au minimum, comporter :

- la "validation" de la mesure de l'indice automatisé : c'est, au minimum, regarder la courbe de pression artérielle pour éliminer un artefact grossier non détecté par le moniteur.
- la vérification des conditions de mesure pour envisager/éliminer la probabilité d'un "faux positif" (cœur pulmonaire aigu [rare au bloc opératoire]), un "faux négatif" (volume courant trop petit, thorax ouvert), des circonstances où la valeur seuil est probablement plus élevée que les 12-13% de référence (volume courant > 10-11 ml/kg, décubitus ventral [20], hyperpression abdominale [pour des valeurs de pression supérieures à celles utilisées en laparoscopie] [21]).
- la compréhension de ce qu'est la "meilleure" valeur seuil ; la notion même de valeur-seuil n'a en effet d'intérêt que pour illustrer la pertinence prédictive, mais ce seuil n'a pas en soi de correspondance physiologique. La réponse du débit cardiaque au remplissage vasculaire n'est pas de nature "on/off", mais bien de nature progressive et continue. De plus, les mesures en pratique quotidienne ne sont pas nécessairement réalisées dans les conditions contrôlées de la recherche clinique et doivent probablement admettre une variabilité plus importante. Nous avons ainsi récemment mis en évidence, à partir de données enregistrées chez plus de 400 patients issus de quatre hôpitaux, opérés de différents types de chirurgie, ventilés avec des volumes courants majoritairement compris entre 7 et 9 ml/kg, l'existence d'une "zone grise", ou zone d'incertitude décisionnelle, comprise entre 9 et 13 % de VPP [22]. Autrement dit, seules les valeurs < 9% et > 13% permettent de caractériser l'état de précharge-dépendance ou indépendance du patient. Dans l'intervalle compris entre ces deux valeurs seuils, plusieurs éléments d'aide à la décision peuvent être envisagés, le plus simple étant soit d'attendre (aucune intervention) et surveiller l'évolution de la VPP, soit de réaliser un test de remplissage et d'observer son effet sur la valeur de VPP. L'estimation a priori du rapport bénéfice/risque du remplissage oriente vers l'une des solutions.

La manœuvre de lever de jambe passif a fait l'objet de nombreuses études de validation au cours des dernières années en réanimation. Elle réalise un effet d'expansion volémique réversible du volume sanguin central. Elle nécessite donc d'être couplée à une mesure fiable du débit cardiaque ou du VES pour quantifier son retentissement hémodynamique et permettre de prédire l'efficacité qu'aurait un éventuel remplissage vasculaire. Son équivalent au bloc opératoire, par basculement de la table d'opération, n'est réalisable qu'en dehors des temps opératoires, ce qui limite considérablement son intérêt potentiel.

APPROCHES PRATIQUES

Insuffisance circulatoire

C'est l'approche classique de la prise en charge du patient avec signes évocateurs ou avérés d'insuffisance circulatoire. Dans ce cas, l'objectif est à la fois d'affirmer l'existence d'hypovolémie, de décider du traitement à mettre en œuvre (si remplissage vasculaire : nature, volume, débit) et de définir les objectifs de ce traitement (pour rappel : correction des conséquences générales et régionales de la diminution du VES, telles que les signes cliniques d'hypovolémie, y compris l'hypotension artérielle, la tachycardie, l'oligurie), mais aussi, quand ils sont disponibles, les éléments de monitoring attestant des conséquences hémodynamiques ou sur l'oxygénation tissulaire de l'hypovolémie. Les éléments de raisonnement donnés plus haut amènent à privilégier deux "abords" : la précharge-dépendance et le débit cardiaque. Concernant ce dernier, son monitoring permet de vérifier, au fur et à mesure de l'expansion volémique, de l'obtention de l'effet hémodynamique principal recherché (l'augmentation du VES) et du moment où arrêter (le VES n'augmente plus). Ceci n'est valide que si le monitoring du VES est suffisamment fiable pour

mesurer l'évolution du VES entre deux temps rapprochés. Or, la littérature montre que les méthodes de monitoring de débit cardiaque ne sont pas a priori interchangeables [23]. Les méthodes qui semblent valides aujourd'hui pour cet objectif sont la thermodilution et le Doppler œsophagien [24-26]. Il y a beaucoup moins de données de validation, en particulier chez le patient en ventilation mécanique, pour d'autres techniques, comme celles fondées sur l'analyse du contour de l'onde de pouls sans calibration (ou, pour celles avec calibration, sans calibration récente), ou l'impédancemétrie thoracique. La place de la thermodilution (cathéter artériel pulmonaire ou thermodilution "transpulmonaire") étant limitée au bloc opératoire, il reste essentiellement aujourd'hui le Doppler œsophagien dans cette indication (voir plus loin). Les indices de précharge-dépendance sont, à notre sens, à privilégier dans ce cadre. L'absence de variations respiratoires significatives de la PA (après avoir validé la fiabilité de la mesure ; cf. plus haut) est un argument fort pour ne pas apporter de remplissage. Il a par exemple été observé que cette analyse permettait de décider entre remplissage et vasopresseurs pour le traitement des hypotensions artérielles survenant à l'ablation d'un phéochromocytome [27]. L'observation de larges variations respiratoires de la PA est un argument fort en faveur de l'expansion volémique. Même dans les cas d'instabilité hémodynamique, il faut tenir compte du contexte clinique et de la balance bénéfique/risque de la décision thérapeutique envisagée, ce qui veut notamment dire qu'un malade qui "peut être rempli" n'est pas nécessairement un malade qui "doit être rempli". Quand la décision d'expansion volémique est prise, elle doit être suivie de la surveillance de son efficacité, et de la recherche d'éventuels effets secondaires, en particulier par augmentation de la pression hydrostatique qu'elle peut provoquer. L'intérêt théorique d'indices tels que la pression capillaire pulmonaire (estimée par cathéter artériel pulmonaire, mais différente de la pression artérielle pulmonaire d'occlusion) ou l'eau pulmonaire extravasculaire (calculée par le PiCCO) pour apprécier ce risque et guider le remplissage n'est pas clairement validé en pratique. En dehors des patients où l'atteinte respiratoire

est au premier plan, le remplissage vasculaire peut très probablement viser à maximaliser le débit cardiaque selon la relation de Frank-Starling, l'altération significative des échanges gazeux alvéolocapillaires pouvant être détectée de façon simple par l'oxymétrie de pouls. Dans la mesure où un remplissage vasculaire devrait toujours être réalisé en fonction d'un objectif thérapeutique le plus précis possible, on doit envisager le remplissage de façon titrée, comme une succession de "tests de remplissage", le volume administré n'étant pas défini a priori, mais étant celui nécessaire et suffisant pour atteindre l'objectif fixé. Par exemple, en cas de saignement peropératoire entraînant une hypotension artérielle accompagnée d'une augmentation de la VPP de 7 % à 18 %, le remplissage vasculaire à donner sera a priori celui permettant de diminuer la VPP et de "revenir" à une valeur proche de (ou égale à) la valeur initiale. Ce type de raisonnement peut aussi s'appliquer avec le PVI, mais en gardant toujours à l'esprit le sens critique nécessaire vis-à-vis des chiffres et de leur moyen d'obtention. Rappelons qu'il est d'autant plus simple de valider une valeur élevée de VPP, VVE ou PVI que l'on a vu l'indice augmenter dans un contexte clinique compatible, et que la valeur de l'indice diminue effectivement avec le remplissage vasculaire entrepris.

Optimisation de la volémie

Au-delà des stratégies correctrices classiques, la notion d'optimisation de la volémie découle de deux principes : 1) fixer des objectifs hémodynamiques permettant d'administrer des apports liquidiens de façon individualisée ("goal-directed fluid therapy"), par opposition à une prise en charge systématique et arbitrairement prédéfinie (par exemple définir les apports selon le type de chirurgie et les appliquer à tous les patients) [28] ; 2) évaluer la pertinence de ces objectifs non plus seulement en terme hémodynamiques, mais en terme de morbidité et de qualité des suites postopératoires.

- *Indicateurs "traditionnels"*

La fréquence cardiaque (FC) et la pression artérielle (mesurée de façon non invasive), ainsi que la diurèse dès lors que la durée et/ou l'importance de la chirurgie le justifient, constituent la base de la surveillance hémodynamique des patients anesthésiés. Pour la chirurgie à risque mineur et, de façon moins certaine (cf. plus loin), pour la chirurgie à risque intermédiaire, la surveillance de ces variables reste probablement suffisante pour une gestion optimale de la volémie. Le risque hémodynamique est en effet suffisamment bas dans ces circonstances pour que l'on puisse considérer que le bénéfice éventuel qui pourrait résulter d'une stratégie thérapeutique fondée sur des indicateurs supplémentaires n'ait pas de pertinence clinique. Pour autant, même pour ces indicateurs utilisés par tous au quotidien, il est nécessaire, pour en tirer le meilleur bénéfice, d'y associer une stratégie thérapeutique, en particulier de remplissage vasculaire, fondée sur des objectifs. Ceci est illustré par l'étude de Nisanevich [29], comparant deux stratégies d'apports liquidiens peropératoires en chirurgie abdominale, et dont le principal résultat était un bénéfice, en termes de suites postopératoires, en faveur d'apports liquidiens limités par rapport à des apports plus larges. Dans cette étude, un algorithme précis conduisait à des épreuves de remplissage dès que la PA systolique était inférieure à 90 mmHg ou dès qu'elle diminuait de plus de 20% par rapport à une valeur de référence, ou que la FC était supérieure à 90 mmHg ou supérieure de plus de 20% à une valeur de référence, ou encore que la diurèse était inférieure à 0,5 ml/kg/h pendant deux heures. En cas de non réponse, la pression veineuse centrale (PVC) était mesurée et l'ensemble des variables mesurées conduisait à des mesures thérapeutiques hémodynamiques supplémentaires, incluant en particulier des vasopresseurs. On voit donc très bien dans cette étude comment une stratégie simple, fondée sur les variables usuelles, vient en complément d'une stratégie d'apports liquidiens restreints, pour "rattraper" les insuffisances inhérentes à une prise en charge

systematique, en augmentant, de façon individualisée, des apports qui étaient probablement insuffisants.

Les limites de ces variables hémodynamiques sont cependant bien établies : sous anesthésie générale, du fait de l'altération du baroréflexe, l'hypotension artérielle est un signe de bonne sensibilité, mais peu spécifique d'hypovolémie importante. Les variations de la PA sont en effet multifactorielles et ne reflètent pas celles du débit cardiaque; ainsi, si une diminution de la PA (classiquement, sous anesthésie générale, PAM < 55-60 mmHg chez un sujet antérieurement normotendu sans facteur de risque particulier) doit être interprétée et traitée, la PA peut rester à des valeurs "normales", alors même que le débit cardiaque ne permet probablement pas (ou plus) une perfusion tissulaire optimale (risque "d'hypovolémie occulte"). Une diminution de la diurèse peut résulter de mécanismes hémodynamiques opposés, et des valeurs peropératoires relativement basses ne sont pas nécessairement associées à une hypoperfusion rénale. Enfin, comme dit plus haut, la valeur de la PVC pour prédire la précharge-dépendance du débit cardiaque (et donc orienter le traitement hémodynamique) est très insuffisante [1,3]. Dès lors, en particulier en chirurgie à haut risque, les variables hémodynamiques classiques d'une part ne permettent pas de s'assurer d'une perfusion systémique adéquate et peuvent conduire à des décisions thérapeutiques inadaptées, en premier lieu des apports liquidiens non justifiés. Dans le cadre de la chirurgie mineure et moyenne, il est aujourd'hui raisonnable à notre sens d'introduire le monitoring non invasif de la précharge-dépendance (Δ POP, PVI) dans les algorithmes de décision au remplissage vasculaire.

- *Indicateurs de l'optimisation*

La stratégie de "maximalisation" du débit cardiaque par le remplissage vasculaire a fait la preuve de sa pertinence clinique en chirurgie à risque intermédiaire et majeur. L'objectif est bien d'amener le cœur à opérer durant toute la durée de l'intervention sur le plateau de la courbe de Frank-Starling

(zone de précharge-indépendance). Deux types d'indicateurs ont permis la réalisation de cette stratégie : le débit cardiaque mesuré par Doppler œsophagien (donc, strictement, la vélocité dans l'aorte descendante) et les indices dynamiques de précharge-dépendance, mesurés par voie artérielle.

Près d'une dizaine d'études cliniques contrôlées, menées chez différentes populations de patients (**Tableau 1**), ont évalué la stratégie associant le monitoring du débit cardiaque par Doppler œsophagien et des épreuves de remplissage vasculaire (de l'ordre de 200 ml de colloïde), réalisées de façon systématique dès le début de l'anesthésie et régulièrement répétées.

Etude	Patients	Résultats
Mythen, 1995	Chir cardiaque	↓ compli postop , ↓ durée USI
Sinclair, 1997	Fract col fémur	↓ durée hospi
Venn, 2002	Fract col fémur	↓ durée hospi théo
Conway, 2002	Chir digestive	↓ hospi USI
Gan, 2002	Chir "lourde"	↓ durée hospi
Wakeling, 2005	Chir intest "majeure"	↓ durée hospi
Noblett, 2006	Chir colorectale	↓ compli postop , ↓ durée hospi

Tableau 1.- Synthèse des résultats des principales études ayant évalué la stratégie de maximalisation peropératoire du débit cardiaque (Doppler œsophagien) par le remplissage vasculaire (colloïde).

Cette stratégie a permis, par rapport à un remplissage fondé sur les variables hémodynamiques classiques, de diminuer l'incidence des complications postopératoires (et notamment du site opératoire), accélérer la reprise du transit digestif en chirurgie abdominale, et réduire les durées d'hospitalisation [30]. L'hypothèse sous-jacente de cette "maximalisation" du débit cardiaque sur son "versant précharge" est bien la prévention et/ou la correction rapide d'éventuelles séquences d'hypoperfusion tissulaire, non détectables par le monitoring.

L'automatisation des indicateurs "dynamiques" de précharge-dépendance en a d'abord fait des outils de plus en plus utilisés au bloc opératoire pour la prise en charge de l'instabilité hémodynamique en chirurgie lourde [15]. Les indices de précharge-dépendance, quand ils sont utilisables, pourraient constituer l'indicateur quasi idéal pour une stratégie de maximalisation du débit cardiaque sur son versant de la précharge, puisque, prédisant la réponse du débit cardiaque au remplissage, ils devraient permettre, par rapport au Doppler œsophagien, de limiter les épreuves de remplissage dont une partie est nécessairement "négative". La répétition d'épreuves de remplissage "négatives" pourrait conduire, au cours d'une chirurgie de longue durée, à un remplissage inutile non négligeable, et donc potentiellement délétère, au moins en chirurgie à haut risque, pour laquelle il est établi que les patients ne sont pas capables d'éliminer rapidement l'excès de solutés reçus en peropératoire [31]. Au moins deux études ont aujourd'hui validé ce concept, en démontrant une réduction de la morbidité postopératoire en chirurgie à haut risque par une stratégie de remplissage vasculaire par colloïde ayant pour objectif le maintien de la VPP < 12% dans l'une [32], de la VVE (Vigileo™) < 10% dans l'autre [33]. Dans la seconde étude, un objectif complémentaire consistait à donner de la dobutamine en cas d'index cardiaque (tel que fourni par le moniteur) < 2,5 l.min⁻¹.m⁻², mais pratiquement aucun patient n'en a finalement reçu après optimisation par le remplissage. Des études multicentriques sont actuellement en cours et viendront (ou non) confirmer ces résultats initiaux.

Dans l'analyse de ces données et l'application à la pratique, plusieurs aspects sont à prendre en compte. Ainsi, pour les raisons de non équivalence entre les moniteurs décrites plus haut, la stratégie fondée sur le monitoring du débit cardiaque ne doit être aujourd'hui considérée comme validée qu'avec le Doppler œsophagien. En pratique, il n'y a plus qu'un seul modèle de moniteur de débit par Doppler œsophagien distribué en France (CardioQ™, Deltex Medical), qui utilise de sondes œsophagiennes stériles à "patient unique". Par ailleurs, l'application à la pratique clinique

des ces stratégies fondées sur le monitoring dépend certes du niveau de preuve apporté, mais aussi de la facilité à les mettre en œuvre. De notre point de vue, en dehors de prises en charge de patients à très haut risque (cf. plus loin), seules des stratégies de mise en œuvre rapide, opérateur-indépendantes, peu ou non invasives, et de faible coût, pourront être généralisées. Cette perspective pourrait se concrétiser avec le monitoring non invasif de la précharge-dépendance à partir de l'analyse de l'onde d'oxymétrie de pouls. Il a récemment été montré, dans une étude pilote, qu'une stratégie de remplissage visant à maintenir le PVI < 13%, associé à un vasoconstricteur pour maintenir la PAM > 65 mmHg, résultait, par rapport à une prise en charge sans le PVI, en une moindre élévation per- et postopératoire de la lactatémie [34]. On voit donc ici apparaître le moyen d'un monitoring généralisable en chirurgie mineure et moyenne de la précharge-dépendance chez les patients sous anesthésie générale et en ventilation contrôlée.

- *Des patients devraient-ils bénéficier d'un monitoring supplémentaire ?*

Peut-on gérer la volémie uniquement à partir d'indices caractérisant la seule relation entre précharge et débit cardiaque? Ne devrait-on pas évaluer systématiquement l'impact de l'hypovolémie et de sa prise en charge sur la perfusion tissulaire et/ou l'oxygénation tissulaire? Il n'y a pas dans la littérature de données convaincantes pour l'affirmer. Il faut cependant préciser que, du point de vue du raisonnement diagnostique et thérapeutique, l'hémodynamique systémique et l'oxygénation tissulaire ne sont pas à opposer, et au contraire pleinement complémentaires. La question doit cependant être posée en pratique car additionner les éléments de monitoring implique des coûts en termes de temps de mise en place, de moniteurs, de consommables et, potentiellement, d'iatrogénie. Alors que l'on dispose d'études ayant montré le bénéfice de stratégies d'optimisation périopératoire fondées sur le seul monitoring hémodynamique systémique d'une part, et sur le monitoring de l'oxygénation tissulaire associé au monitoring hémodynamique d'autre part, aucune étude n'a

confronté ces deux types de stratégies entre elles pour évaluer le bénéfice lié à l'obtention de l'ensemble des informations. L'optimisation de la volémie semble efficace avec les seules variables de l'hémodynamique systémique. On peut en revanche considérer que, pour les raisons de rapport bénéfice/risque liés à leur utilisation, le recours à un agent inotrope (inhabituel au bloc opératoire) justifie l'évaluation de l'adéquation apports/besoins en oxygène et/ou de la perfusion tissulaire. Le recours aux vasopresseurs est probablement à analyser de façon intermédiaire, en fonction notamment de la nature de l'agent, de la posologie et de la durée d'utilisation, l'objectif principal étant d'abord la PA, mais le retentissement possible sur le retour veineux et la perfusion tissulaire des ces agents pouvant nécessiter l'adjonction d'éléments supplémentaires de surveillance. Il s'agit donc ici de décisions à prendre au cas par cas, dépassant le cadre de la gestion de la volémie et concernant les patients et/ou les interventions les plus à risque, avec une perspective de nécessité de prolonger la surveillance, et donc l'optimisation, en postopératoire.

- *Alternatives au remplissage vasculaire*

La gestion peropératoire de la volémie peut faire appel à d'autres mesures thérapeutiques que le remplissage. Ceci s'explique par le fait que la survenue d'un état de précharge-dépendance peut être liée à une hypovolémie relative dont le remplissage n'est pas nécessairement le traitement le plus adapté. La ventilation mécanique en soi est un facteur de précharge-dépendance ; la diminution d'un volume courant élevé (par exemple de 11 à 7 ml/kg) peut suffire à corriger cet état (ceci indépendamment de l'effet du volume courant sur la valeur des indices dynamiques). Plus importante à appréhender est l'utilisation des vasopresseurs. En "contraignant" le système veineux capacitif, les vasopresseurs augmentent le retour veineux et peuvent ainsi corriger de façon pertinente une hypovolémie relative. Le risque est, d'autant plus chez un patient hypotendu avec une part d'hypovolémie absolue, de "masquer" la précharge-dépendance et aggraver ainsi

l'hypoperfusion d'organes. La réalité de cette situation en pratique clinique, dès lors que la dose du vasopresseur est limitée à la restauration d'une pression artérielle suffisante (pour rappel, 65-70 mmHg de PAM chez un patient non antérieurement hypertendu), n'est pas connue, mais est très probablement faible. La redistribution du sang depuis le territoire veineux central vers la périphérie secondaire aux effets de l'anesthésie sur la circulation veineuse peut être limitée par la compression pneumatique des membres inférieurs. Dans un travail récemment publié, Kiefer et al. [35] ont montré que cette compression permettait, au cours d'une stratégie de remplissage vasculaire peropératoire incluant la PA, la FC et le PVI, de réduire très significativement les apports liquidiens intraveineux tout en améliorant la stabilité hémodynamique au cours d'une chirurgie à faible risque périopératoire.

CONCLUSION

La gestion peropératoire de la volémie et, plus largement des apports liquidiens en peropératoire est en constante évolution. Les dernières années nous ont appris que l'on pouvait, avec des moyens supplémentaires de monitoring relativement peu invasifs, définir des stratégies d'optimisation hémodynamique peropératoire. Ces stratégies reposent essentiellement sur la maximalisation du débit cardiaque sur son "versant précharge". Elles utilisent le monitoring du débit cardiaque (Doppler œsophagien) ou des indicateurs de précharge-dépendance (cathéter artériel). Elles améliorent les suites postopératoires en chirurgie à risque intermédiaire et élevé. Nous devons maintenant mettre plus largement en pratique ces stratégies, ce qui sera facilité si les solutions non invasives actuellement développées se montrent capables de fournir des résultats équivalents. L'autre interrogation pour l'avenir concerne les stratégies d'optimisation de la période postopératoire à destination des patients ne justifiant pas d'hospitalisation en réanimation ou en

soins intensifs. Les secteurs de surveillance continue devraient a priori être l'endroit où évaluer et implémenter ces stratégies, mais cette perspective se heurte souvent aujourd'hui à des difficultés organisationnelles et médico-économiques.

REFERENCES

1. Teboul JL. Recommandations d'experts de la SRLF : "Indicateurs du remplissage vasculaire au cours de l'insuffisance circulatoire". *Réanimation* 2004 ; 13 : 255-63.
2. Bellamy MC. Wet, dry or something else? *Br J Anaesth* 2006 ; 97 : 755-7.
3. Marik PE, Cavallazzi R, Vasu T, et al. Dynamic changes in arterial waveform derived variables and fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: a systematic review of the literature. *Crit Care Med* 2009 ; 37 : 2642-7.
4. Perel A, Pizov R, Cotev S. Systolic blood pressure variation is a sensitive indicator of hypovolemia in ventilated dogs subjected to graded hemorrhage. *Anesthesiology* 1987 ; 67 : 498-502.
5. Tavernier B, Makhotine O, Lebuffe, et al. Systolic pressure variation as a guide to fluid therapy in patients with sepsis-induced hypotension. *Anesthesiology* 1998 ; 89 : 1313-21.
6. Michard F, Boussat S, Chemla D, et al. Relation between respiratory changes in arterial pulse pressure and fluid responsiveness in septic patients with acute circulatory failure. *Am J Respir Crit Care Med* 2000 ; 162 : 134-8.
7. Perel A. Automated assessment of fluid responsiveness in mechanically ventilated patients. *Anesth Analg* 2008 ; 106 : 1031-3.
8. Biais M, Nouette-Gaulain K, Cottenceau V, et al. Uncalibrated pulse contour-derived stroke volume variation predicts fluid responsiveness in mechanically ventilated patients undergoing liver transplantation. *Br J Anaesth* 2008 ; 101 : 761-8.

9. Cannesson M, Musard H, Desebbe O, et al. The ability of stroke volume variations obtained with Vigileo/FloTrac system to monitor fluid responsiveness in mechanically ventilated patients. *Anesth Analg* 2009 ; 108 : 513-7.
10. Derichard A, Robin E, Tavernier B, et al. Automated pulse pressure and stroke volume variations from radial artery: evaluation during major abdominal surgery. *Br J Anaesth* 2009 ; 103 : 678-84.
11. Cannesson M, Sliker J, Desebbe O, et al. The ability of a novel algorithm for automatic estimation of the respiratory variations in arterial pulse pressure to monitor fluid responsiveness in the operating room. *Anesth Analg* 2008 ; 106 : 1195-200.
12. Desebbe O, Cannesson M. Using ventilation-induced plethysmographic variations to optimize patient fluid status. *Curr Opin Anaesthesiol* 2008 ; 21 : 772-8.
13. Solus-Biguenet H, Fleyfel M, Tavernier B, et al. Non-invasive prediction of fluid responsiveness during major hepatic surgery. *Br J Anaesth* 2006 ; 97 : 808-16.
14. Landsverk SA, Hoiseth LO, Kvandal P, et al. Poor agreement between respiratory variations in pulse oximetry photoplethysmographic waveform amplitude and pulse pressure in intensive care unit patients. *Anesthesiology* 2008 ; 109 : 849-55.
15. Cannesson M. Arterial pressure variation and goal-directed fluid therapy. *J Cardio Vasc Anesth* 2010 ; 24 : 487-97.
16. Bourdon C, Jouhet N, Rodié-Talbère PA, et al. Variation respiratoire de la courbe d'oxymétrie de pouls comme indice de précharge-dépendance : intérêt de l'indice de perfusion. Congrès national d'anesthésie et de réanimation 2010 ; R539.
17. Bourdon C, Robin E, Boulo M, et al. Variation respiratoire de la courbe d'oxymétrie de pouls comme indice de précharge-dépendance : le capteur joue-t-il un rôle? Congrès national d'anesthésie et de réanimation 2010 ; R541.

18. Cannesson M, Desebbe O, Rosamel P, et al. Pleth variability index to monitor the respiratory variations in the pulse oximeter plethysmographic waveform amplitude and predict fluid responsiveness in the operating theatre. *Br J Anaesth* 2008 ; 101 : 200-6.
19. Biais M, Stecken L, Ottolenghi L, Rouillet S, Quinart A, Masson F, Sztark F. The ability of Pulse Pressure Variations obtained with CNAP™ Device to predict fluid responsiveness in the operating room. *Anesth Analg* 2011 Jun 3. [Epub ahead of print].
20. Biais M, Bernard O, Ha JC, Degryse C, Sztark F. Abilities of pulse pressure variations and stroke volume variations to predict fluid responsiveness in prone position during scoliosis surgery. *Br J Anaesth* 2010 ; 104 : 407-13.
21. Tavernier B, Robin E. Assessment of fluid responsiveness during increased intra-abdominal pressure: keep the indices, but change the thresholds. *Crit Care*. 2011 ;15 : 134
22. Cannesson M, Le Manach Y, Hofer C, et al. Assessing the diagnostic accuracy of Pulse Pressure Variations for prediction of fluid responsiveness: a “gray zone” approach. *Anesthesiology* 2011 Jun 23. [Epub ahead of print]
23. Peyton PJ, Chong SW. Minimally invasive measurement of cardiac output during surgery and critical care. *Anesthesiology* 2010 ; 113 : 1220-35.
24. Bundgaard-Nielsen M, Ruhnau B, Secher NH, et al. Flow-related techniques for preoperative goal-directed fluid optimization. *Br J Anaesth* 2007 ; 98 : 38-44.
25. Schober P, Loer SA, Schwarte LA. Perioperative hemodynamic monitoring with transesophageal doppler technology. *Anesth Analg* 2009 ; 109 : 340-53.
26. Critchley LA, Lee A, Ho AM. A critical review of the ability of continuous cardiac output monitors to measure trends in cardiac outputs. *Anesth Analg* 2010 ; 111 : 1180-92.
27. Mallat J, Pironkov A, Destandau MS, Tavernier B. Systolic pressure variation (Delta down) can guide fluid therapy during pheochromocytoma surgery. *Can J Anaesth* 2003 ; 50 : 998-1003.

28. Kehlet H, Bundgaard-Nielsen M. Goal-directed perioperative fluid management. *Anesthesiology* 2009 ; 110 : 453-5.
29. Nisanevich V, Felsenstein I, Almogy G, et al. Effect of intraoperative fluid management on outcome after intraabdominal surgery. *Anesthesiology* 2005 ; 103 : 25-32.
30. Phan TD, Ismail H, Heriot AG, Ho KM. Improving perioperative outcomes: fluid optimization with the esophageal Doppler monitor, a metaanalysis and review. *J Am Coll Surg* 2008 ; 207 : 935-41.
31. Chappell D, Jacob M, Hofmann-Kiefer K, et al. A rational approach to perioperative fluid management. *Anesthesiology* 2008 ; 109 : 723-40.
32. Lopes MR, Oliveira MA, Pereira VO, et al. Goal-directed fluid management based on pulse pressure variation monitoring during high-risk surgery: a pilot randomized controlled trial. *Crit Care* 2007 ; 11 : R100.
33. Benes J, Chytra I, Altmann P, et al. Intraoperative fluid optimization using stroke volume variation in high risk surgical patients: results of prospective randomized study. *Crit Care* 2010 ; 14 : R118.
34. Forget P, Lois F, de Kock M. Goal-directed fluid management based on the pulse oximeter-derived pleth variability index reduces lactate levels and improves fluid management. *Anesth Analg* 2010 ; 111 : 910-4.
35. Kiefer N, Theis J, Putensen-Himmer G, et al. Peristaltic pneumatic compression of the legs reduces fluid demand and improves hemodynamic stability during surgery. *Anesthesiology* 2011 ; 114 : 536-44.