

MÉDECINE PÉRI-OPÉRATOIRE : POURQUOI ET COMMENT OPTIMISER LE DÉBIT CARDIAQUE ?

Marc Olivier Fischer (1), Jean-Luc Hanouz (1, 2), Jean-Luc Fellahi (1, 2)

(1) Pôle Réanimations-Anesthésie-SAMU/SMUR, CHU de Caen

(2) Faculté de Médecine, EA 4650, Université de Caen Basse-Normandie
Pôle Réanimations-Anesthésie-SAMU/SMUR, CHU de Caen, Avenue de
la Côte de Nacre, 14000 Caen, France. E-mail : fischer-mo@chu-caen.fr

INTRODUCTION

La période péri-opératoire est grevée d'une mortalité d'environ 3 % en France [1]. Moins de 15 % des patients sont considérés à haut risque de morbi-mortalité péri-opératoire mais ils représentent à eux seuls plus de 80 % de la mortalité péri-opératoire globale [2]. L'optimisation hémodynamique péri-opératoire fait partie intégrante aujourd'hui des possibilités permettant d'améliorer le pronostic de ces patients graves [3], associée à l'ensemble des démarches pluridisciplinaires visant à corriger les nombreuses comorbidités (dénutrition, tabagisme, anémie, déséquilibre du diabète ou de maladies pulmonaires ou cardiovasculaires, etc...). Cette optimisation hémodynamique incombe en premier lieu au médecin anesthésiste-réanimateur et devrait s'appuyer fortement sur le monitoring péri-opératoire du débit cardiaque (DC). Le but de cette mise au point est de détailler pourquoi il est fondamental d'optimiser le débit cardiaque et les moyens modernes pour y parvenir en pratique.

1. POURQUOI OPTIMISER LE DÉBIT CARDIAQUE ?

1.1. DONNÉES PHYSIOLOGIQUES

La pression artérielle est la grandeur régulée du système cardiocirculatoire. Élément clef de la perfusion tissulaire périphérique, elle ne préjuge en rien de la valeur du DC au même moment. Lors du choc hémorragique, la pression artérielle peut rester longtemps stable tandis que le DC chute précocement. Bien qu'universellement et facilement mesurée au cours de la période péri-opératoire, la pression artérielle n'est pas un bon reflet du DC ni de ses variations [4] et elle n'est pas non plus un bon outil d'optimisation hémodynamique. Le DC dépend classiquement de la précharge, de l'inotropisme, de la fréquence cardiaque et de la postcharge. Chaque patient possède des caractéristiques hémodynamiques

propres et les variations des conditions de charge font évoluer son DC de façon dynamique (Figure 1A, 1B, 1C). Le DC instantané correspond à l'intersection des courbes de retour veineux et de fonction cardiaque (Figure 1D). Parce qu'il dépend du retour veineux et de la volémie efficace, le DC est, à l'inverse de la pression artérielle, un bon outil d'optimisation hémodynamique. Parce qu'il existe une grande variabilité inter- et intra-individuelle du DC, il est impossible d'optimiser le DC sans le mesurer de façon précise et continue.

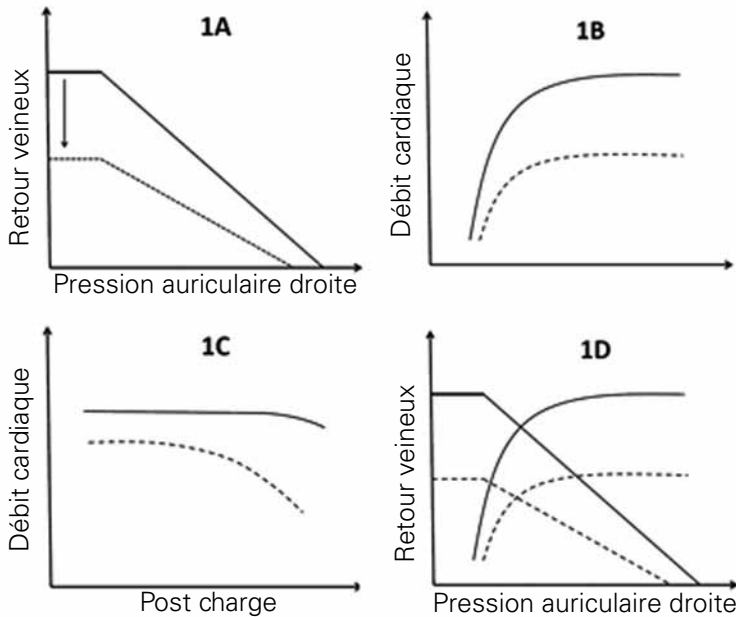


Figure 1 : Courbes de retour veineux : une hypovolémie entraîne une baisse du retour veineux (flèche) et une augmentation de la résistance au retour veineux (diminution de la pente) (Figure 1A). Courbes de fonction ventriculaire gauche normale (trait plein) et altérée (trait pointillé) selon la précharge. La partie pentue initiale des deux courbes traduit un état de précharge dépendance (Figure 1B). Courbes de fonction ventriculaire gauche normale (trait plein) et altérée (trait pointillé) selon la postcharge (figure 1C). Le croisement des courbes de la Figure 1A et 1B correspond à une mesure instantanée de débit cardiaque pour un patient donné (Figure 1D).

1.2. DONNÉES CLINIQUES PÉRI-OPÉRATOIRES

Le débat sur les stratégies libérales ou restrictives de remplissage vasculaire péri-opératoire est actuellement dépassé. Les différentes études n'étaient en effet pas reproductibles, les groupes dits « restrictifs » dans certaines études pouvant être comparables aux groupes dits « libéraux » dans d'autres. En outre, un remplissage vasculaire péri-opératoire restrictif ou libéral empirique expose à l'hypoperfusion tissulaire et à la défaillance d'organe par diminution du débit sanguin régional secondaire à une hypovolémie ou par œdème interstitiel suite à un remplissage vasculaire excessif [5]. Actuellement, il convient de cibler pour chaque patient le volume de remplissage nécessaire, la marge thérapeutique

s'avérant relativement étroite (Figure 2). De nombreux travaux ont documenté depuis plus de 30 ans l'intérêt de l'optimisation de la volémie pour réduire la morbi-mortalité péri-opératoire et des études récentes ont souligné l'amélioration de la morbidité péri-opératoire par l'optimisation hémodynamique à l'aide du Doppler œsophagien, conduisant la société britannique d'anesthésie-réanimation à recommander largement l'usage de ce matériel en pratique [6]. Tout récemment, une méta-analyse portant sur 29 études randomisées a confirmé que l'optimisation hémodynamique péri-opératoire permettait de réduire la mortalité et les complications chirurgicales, quel que soit l'outil de monitoring choisi [3]. Il apparaît donc clair que l'optimisation hémodynamique et plus particulièrement l'optimisation de la volémie péri-opératoire chez les patients à risque passe en grande partie par le monitoring continu du débit cardiaque.

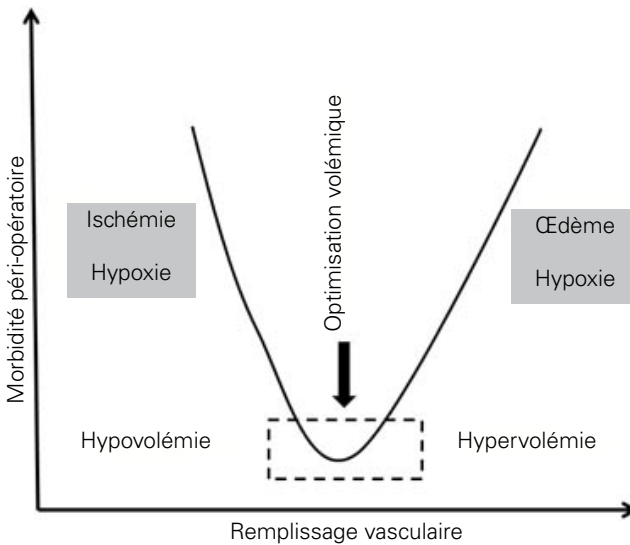


Figure 2 : Courbe en « U » montrant l'incidence des complications postopératoires en fonction du degré de remplissage vasculaire péri-opératoire. Un excès de remplissage (hypervolémie) comme un défaut de remplissage (hypovolémie) s'accompagnent d'une augmentation rapide du taux de complications. La zone cible d'optimisation hémodynamique péri-opératoire est représentée en trait pointillé. Modifié d'après Bellamy et al. [5].

1.3. QUI SONT LES PATIENTS À RISQUE ?

L'étude POSSUM a défini en 1991 les patients à risque de morbi-mortalité péri-opératoire à partir de données issues de la clinique, des examens complémentaires (biologie, électrocardiogramme et radiographie pulmonaire) et de la nature de l'intervention chirurgicale [7]. Depuis, une analyse rétrospective a tenté d'identifier et de caractériser sur une période de 5 ans la population des patients à haut risque chirurgical au Royaume-Uni [2]. La mortalité globale y atteignait 12,3 %. Les sujets à haut risque étaient plus âgés, hospitalisés depuis plus longtemps avant la chirurgie et subissaient davantage de procédures en urgence. Les types de chirurgies s'accompagnant d'une mortalité supérieure à 5 % étaient la chirurgie vasculaire aortique, la chirurgie abdominale (sauf appendicectomie et chirurgie intestinale non compliquée) et la chirurgie orthopédique de reprise d'arthroplasties et de fracture de l'extrémité supérieure du fémur. Tout récem-

ment, une étude de cohorte ayant inclus 45 539 patients issus de 498 hôpitaux dans 28 pays européens sur une période de 7 jours a rapporté une mortalité globale péri-opératoire de 4 % avec de fortes variations selon les pays [1]. Les facteurs de mortalité péri-opératoire liés au patient étaient l'âge, un score ASA ≥ 3 et les comorbidités (cirrhose, insuffisance cardiaque congestive, cardiopathie ischémique, accident ischémique cérébral, diabète insulino-dépendant, broncho-pneumopathies chroniques obstructives et cancer métastaté). Les risques liés à la chirurgie étaient en rapport avec une chirurgie non programmée, vasculaire, digestive ou urologique. En tenant compte de tous ces éléments, il est possible de cibler les patients chirurgicaux à haut risque qui devraient bénéficier d'une optimisation péri-opératoire du DC et de l'hémodynamique.

2. COMMENT OPTIMISER LE DÉBIT CARDIAQUE ?

Les critères théoriques de qualité d'une méthode de monitoring hémodynamique sont multiples. L'outil idéal de monitoring du DC devrait être le moins invasif et iatrogène possible, devrait délivrer une information continue en temps réel (battement par battement), de préférence de façon automatisée et sans calibration externe (système plug and play). Il devrait être précis et reproductible, indépendant de l'opérateur, dépourvu de courbe d'apprentissage et générer un surcoût raisonnable. Un tel outil n'existe pas actuellement et il appartient à chaque équipe de faire des choix rationnels et de maîtriser deux ou trois outils complémentaires permettant de faire face à l'ensemble des situations cliniques qui peuvent se présenter.

2.1. LES INDICES DYNAMIQUES PRÉDICTIFS DE LA RÉPONSE AU REMPLISSAGE VASCULAIRE

L'optimisation du DC peut s'envisager dans certaines situations cliniques sans monitoring spécifique du DC, grâce à l'évaluation de la précharge dépendance ventriculaire gauche et droite. Les indices dynamiques prédictifs de la réponse au remplissage vasculaire peuvent en effet aider le clinicien à poser l'indication d'un remplissage vasculaire si l'ensemble des conditions de validité et d'utilisation de ces indices est respecté (Tableau I).

Tableau I

Conditions de validité des indices dynamiques prédictifs de la réponse au remplissage vasculaire

Critères	Conditions de validité
Ventilatoires	Absence de ventilation spontanée
	Ventilation contrôlée
	Volume courant > 7 ml.kg ⁻¹
	Compliance pulmonaire > 30 ml.cmH ₂ O ⁻¹
Cardiaques	Rythme sinusal
	Rapport FC/FR > 3,6
	Absence de défaillance cardiaque droite
	Absence de défaillance cardiaque gauche
Autres	Absence d'hyperpression intra-abdominale Thorax fermé
FC : fréquence cardiaque, FR : fréquence respiratoire	

Les variations respiratoires de la pression artérielle pulsée (VPP) et/ou du volume d'éjection systolique (VVE) ont ainsi été proposées lors d'un monitoring invasif et continu de la pression artérielle [8]. Les résultats des indices dyna-

miques obtenus de façon non invasive par photopléthysmographie sont plus controversés, qu’il s’agisse de VPP, de VVE ou du Pleth Variability Index (PVI) (Tableau II).

Tableau II

Principaux outils de monitoring hémodynamique avancé

Type de monitoring	Paramètres proposés	Indices dynamiques
Monitoring validé en péri-opératoire par des études cliniques		
• Thermodilution artérielle pulmonaire - Vigilance ou EV 1000 (Edwards Lifesciences, Irvine, CA)	DC, VEVD, FEVD	
• Thermodilution transpulmonaire - PiCCO (Pulsion Med, Munich, Allemagne) - EV1000 (Edwards Lifesciences, Irvine, CA)	DC, VES, VTDG, IFC, EPEV, (ScvO ₂) DC, VES, VTDG, IFC, EPEV (ScvO ₂)	VPP, VVE
• Vélocimétrie doppler du flux aortique - Doppler œsophagien	VES	VVE
Monitoring en attente de validation		
• Analyse du contour de l’onde de pouls - PiCCO et PulsioFlex (Pulsion Med, Munich, Allemagne) - EV1000 et FloTrac (Edwards Lifesciences, Irvine, CA) - MostCare PRAM (Vytech Health, Padova, Italie)	DC, VES, (ScvO ₂) DC, VES (ScvO ₂) DC, VES,	VPP, VVE VVE VPP, VVE, VPS, VPD
• Photopléthysmographie digitale - Nexfin (Bmeye, Amtersdam, Pays-Bas)	DC, VES, (DaO ₂)	VPP, VVE
• Bio-impédancemétrie endotrachéale - ECOM (ConMed, Utica, NY)	DC	VVE
• Bio-impédancemétrie thoracique - Niccomo (Medis, Ilmenau, Allemagne) - BioZ.com (CardioDynamics, San Diego, CA) - PhysioFlow (Manatec, Petit-Ebersviller, France)	DC, VES, IT, FT, CTL DC, VES, CTL, ITCG DC, VES, IC, TEVG,	
• Temps de transit de l’onde de pouls - esCCO (Nihon Kohden, Japon)	DC	

CTL : contenu thoracique liquidien, DaO_2 : mesure optionnelle du transport artériel en oxygène, DC : débit cardiaque, EPEV : eau pulmonaire extravasculaire, FEVD : fraction d'éjection ventriculaire droite, IC : index de contractilité, IFC : indice de fonction cardiaque, ITCG : index de travail cardiaque gauche, ScvO_2 : mesure optionnelle de la saturation veineuse centrale en oxygène, TEVG : temps d'éjection ventriculaire gauche, VES : volume d'éjection systolique, VEVD : volume d'éjection ventriculaire droit, VPD : variations de la pression dicrote, VPP : variations respiratoires de la pression pulsée, VPS : variations respiratoires de la pression artérielle systolique, VTDG : volume télé-diastolique global.

Dans une importante étude multicentrique conduite au bloc opératoire, Cannesson et al. ont montré que 25 % des patients bénéficiant d'un monitoring invasif de VPP présentaient une valeur comprise entre 9 et 13 % ne permettant pas de prédire la réponse au remplissage vasculaire avec une sensibilité et une spécificité suffisante pour être utilisés en pratique clinique (grey zone) [9]. Même si une stratégie thérapeutique basée sur le monitoring peropératoire de VPP ou de PVI a parfois permis de réduire la morbidité péri-opératoire [10-13], les nombreuses situations confondantes, la relative invasivité des outils validés et la zone d'incertitude diagnostique limitent en pratique les indications cliniques de recours aux critères dynamiques pour l'optimisation du DC.

2.2. MONITORAGE DU VOLUME D'ÉJECTION SYSTOLIQUE ET DU DÉBIT CARDIAQUE

Les méthodes de référence pour la mesure du débit cardiaque en physiologique sont la méthode de Fick et la débitmétrie dans l'aorte ascendante au moyen d'une bague électromagnétique [14]. En pratique clinique, la thermodilution artérielle pulmonaire bolus via un cathéter de Swan-Ganz est considérée comme le « gold standard ». Plus récemment, la thermodilution transpulmonaire a émergé comme une alternative valable, offrant, en outre, la possibilité d'utiliser d'autres variables hémodynamiques complémentaires au lit du malade (Tableau II). Ces deux techniques de thermodilution sont interchangeables et permettent d'optimiser l'hémodynamique péri-opératoire des patients [15, 16]. De nombreuses techniques nouvelles dites « mini-invasives » de monitoring du DC se sont développées ces dernières années et sont proposées par les différentes firmes pour une utilisation en routine (Tableau II). A ce jour, aucune ne semble interchangeable avec la thermodilution artérielle pulmonaire ou transpulmonaire, ni même véritablement entre elles [17, 18]. Cependant, l'utilisation du Doppler œsophagien ou du Vigileo/FloTrac a permis de réduire significativement la morbidité péri-opératoire dans certaines études [3, 12]. En outre, l'interchangeabilité avec les méthodes de référence n'est qu'un aspect des critères de qualité que l'on attend d'un outil moderne de monitoring du DC. En effet, la facilité d'utilisation, le caractère peu ou pas invasif, la capacité à détecter de manière fiable des variations spontanées ou induites du DC plutôt que la précision dans la mesure de valeurs absolues en situation hémodynamique stable sont autant d'éléments essentiels à considérer aujourd'hui dans le choix d'un moniteur. Des techniques totalement non invasives comme la photopléthysmographie digitale ou la propagation de l'onde de pouls sont également apparues récemment (Tableau II). Même si elles pourraient s'avérer intéressantes à l'avenir, il convient de rester prudent actuellement quant à leur pertinence réelle pour la

pratique clinique, peu d'études indépendantes de validation chez l'homme étant publiées [19]. En outre, trop peu d'études de phase III (utilité clinique/pronostic) sont encore disponibles [12].

2.3. MONITORAGE DE L'ADÉQUATION DÉBIT-MÉTABOLISME

Conceptuellement, une valeur de DC à elle seule n'est pas suffisante pour savoir si le DC du patient est adapté ou non à ses besoins métaboliques dans une situation donnée. Le monitoring discontinu ou continu de la saturation en oxygène du sang veineux mêlé (SvO_2) répond à cette question. Il nécessite cependant la mise en place d'un cathéter de Swan-Ganz et, à ce titre, se révèle particulièrement invasif. Le monitoring de la saturation en oxygène du sang veineux central ($ScvO_2$) est nettement moins invasif. Il représente une alternative acceptable à la SvO_2 et permet d'estimer l'adéquation entre les apports et la consommation en oxygène au niveau tissulaire périphérique et de guider la thérapeutique [20]. Plusieurs fabricants proposent en option un monitoring continu de la $ScvO_2$ via une fibre optique, moyennant la pose d'une voie veineuse centrale dans le territoire cave supérieur et une calibration de référence (Tableau II). L'interprétation de ce paramètre n'est cependant pas toujours facile, en particulier lors des états de choc mixtes en réanimation. Certains auteurs proposent alors le recours complémentaire au calcul du gradient veino-artériel en CO_2 , à la recherche d'une malperfusion tissulaire résiduelle [21]. De façon non invasive et répondant au cahier des charges du monitoring moderne, le système Nexfin associé à un capteur de SpO_2 et de $SpHb$ (MasimoSet, Masimo, Irvine, CA) offre la possibilité originale de monitorer en continu le transport artériel en oxygène. Des études de validations chez l'homme sont actuellement en cours. Enfin, le monitoring continu et non invasif du lactate est également en cours de développement par les industriels. Il pourrait aider le clinicien à juger de l'adéquation du DC en pratique.

2.4. QUEL MONITORAGE CHOISIR ?

De nombreux outils invasifs, mini-invasifs ou non invasifs de monitoring du DC sont actuellement disponibles. Certains d'entre eux nécessitent encore des études de validation clinique chez l'homme et des études de type utilité clinique/pronostic avant d'être largement recommandables pour la pratique quotidienne. Une fois l'outil acquis et ses limites d'utilisation bien connues, il faut encore l'intégrer dans un protocole de soins définissant d'une part les indications selon le risque lié au patient et au type de chirurgie (Tableau IIIa, IIIb, IIIc) et d'autre part la gestion hémodynamique péri-opératoire selon un algorithme décisionnel précis. Les recommandations formalisées d'experts de la SFAR sur la stratégie du remplissage vasculaire péri-opératoire proposent ce genre d'algorithme [22] (Figure 3).

Tableau IIIa

Classification du risque selon la chirurgie. Proposition d'après [1,2]

Risque lié au type de chirurgie		
Faible	Modéré	Elevé
Ambulatoire	Urologie (rénale) Intestinale simple Vasculaire périphérique	Modéré avec caractère d'urgence Vasculaire aortique Abdominale (Hépatique, pancréatique, gas- trique, œsophagienne, intestinale compliquée) Orthopédie (reprise d'arthroplastie)

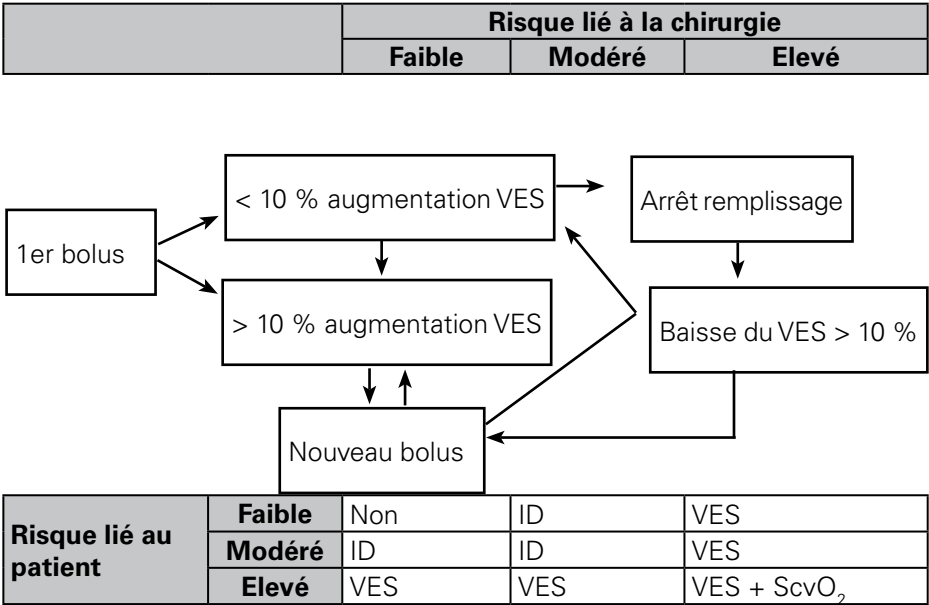
Tableau IIIb

Classification du risque selon le patient. Proposition d'après [1,2]

Risque lié au patient	Faible	Absence de comorbidité
	Modéré	Age > 65 ans Hospitalisation précédent la chirurgie > 3 jours Score ASA ≥ 3 Présence d'une comorbidité (cardiopathie ischémique ou décompensée, AVC, Diabète insulinodépendant, cirrhose, BPCO, cancer métastaté)
	Elevé	Patient avec plusieurs comorbidités Patient avec plusieurs facteurs de risque modérés Patient en état de choc
ASA : american society of anesthesiologists, AVC : accident vasculaire cérébral, BPCO : bronchopneumopathie chronique obstructive		

Tableau IIIc

Stratégie de monitoring hémodynamique péri-opératoire en fonction du
risque lié au patient et à la chirurgie



Non : pas d'indication à un monitoring hémodynamique péri-opératoire
 ID : monitoring hémodynamique péri-opératoire incluant un ou plusieurs indices dynamiques prédictifs de la réponse au remplissage vasculaire
 VES : monitoring hémodynamique péri-opératoire incluant le volume d'éjection systolique
 VES + ScvO₂ : monitoring hémodynamique péri-opératoire incluant le volume d'éjection systolique et un paramètre d'oxygénation tissulaire (saturation veineuse centrale en oxygène)

Figure 3 : *Algorithme décisionnel de remplissage vasculaire péri-opératoire selon la variation observée du volume d'éjection systolique (VES) : proposition des Recommandations Formalisées d'Experts de la Société Française d'Anesthésie et de Réanimation sur la stratégie du remplissage vasculaire péri-opératoire.*

2.5. QUAND OPTIMISER LE DC ?

L'optimisation hémodynamique doit être réalisée précocement, en péri-opératoire, mais il semble logique de la prolonger dans les heures qui suivent la chirurgie dans des unités de soins continus ou intensifs, et ce d'autant plus qu'il persiste des signes d'hypoperfusion tissulaire (DC bas, ScvO₂ < 70 %, hyperlactatémie). Plusieurs études ont retrouvé un bénéfice en termes de morbidité et de durée d'hospitalisation lorsque les patients étaient optimisés après la chirurgie [23, 24]. Pearse et al. ont récemment constaté que 73 % des patients décédés n'étaient jamais admis en réanimation [1], soulignant le rôle crucial du suivi hémodynamique postopératoire des patients à risque. La durée de surveillance postopératoire n'est cependant pas validée.

CONCLUSION

Le monitoring du DC s'intègre dans un concept de monitoring hémodynamique avancé qui permet une prise en charge thérapeutique adaptée à chaque patient chirurgical à haut risque. L'optimisation hémodynamique rigoureuse qui en découle, au mieux dans le cadre d'un protocole de service validé par l'ensemble de l'équipe, permet une réduction significative de la morbi-mortalité péri-opératoire. Les patients à risque devraient ainsi être dépistés dès la consultation d'anesthésie et se voir proposer à la fois une préparation pluridisciplinaire préopératoire et la mise en place d'une surveillance hémodynamique péri-opératoire adaptée. Le bénéfice évident pour les patients s'appuie de nos jours sur un niveau de preuve scientifique robuste et contraste avec la frilosité des cliniciens à recourir en pratique au monitoring du DC. La mise à disposition de nouveaux outils mini-invasifs et simples d'utilisation devrait permettre de combler progressivement ce hiatus.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Pearse RM, Moreno RP, Bauer P, et al. Mortality after surgery in Europe: a 7 day cohort study. *Lancet* 2012;380:1059-65.
- [2] Pearse RM, Harrison DA, James P, et al. Identification and characterization of the high-risk surgical population in the United Kingdom. *Crit Care* 2006;10:R81

- [3] Hamilton M, Cecconi M, Rhodes A. A systematic review and meta-analysis on the use of preemptive hemodynamic intervention to improve postoperative outcomes in moderate and high-risk surgical patients. *Anesth Analg* 2011;112:1392-402
- [4] Monnet X, Letierce A, Hamzaoui O, et al. Arterial pressure allows monitoring the changes in cardiac output induced by volume expansion but not by norepinephrine. *Crit Care Med* 2011;39:1394-9
- [5] Bellamy MC. Wet, dry or something else? *Br J Anaesth* 2006; 97 :755-7
- [6] Powell-Tuck J, Gosling P, Lobo DN, et al. British consensus guidelines on intravenous fluid therapy for adult surgical patients GIFTASUP http://www.bapen.org.uk/pdfs/bapen_pubs/giftasup.pdf (consulté le 4 septembre 2012)
- [7] Copeland GP, Jones D, Walters M. POSSUM: a scoring system for surgical audit. *Br J Surg* 1991;78:355-60
- [8] 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
- [9] Cannesson M, Le Manach Y, Hofer CK, et al. Assessing the diagnostic accuracy of pulse pressure variations for the prediction of fluid responsiveness: A «grey zone» approach. *Anesthesiology* 2011;115:231-241
- [10] Lopes MR, Oliveira MA, Pereira VO, et al. Goal-directed fluid management based on pulse pressure variation monitoring during high-risk surgery: a pilot controlled randomized trial. *Crit Care* 2007;11:R100
- [11] Benes J, Chytra I, Altmann P, et al. Intraoperative fluid optimization using stroke volume variation in high risk surgical patients: results of a prospective randomized study. *Crit Care* 2010;14:R118
- [12] Mayer J, Boldt J, Mengistu AM, et al. Goal-directed intra-operative therapy based on auto-calibrated arterial pressure waveform analysis reduces hospital stay in high-risk surgical patients: a randomized, controlled trial. *Crit Care* 2010;14:R18
- [13] Forget P, Lois F, de Kock M. Goal-Directed fluid management based on the pulse oximeter-derived pleth variability index reduces lactates levels and improves fluid management. *Anesth Analg* 2010;111:910-4
- [14] Jhanji S, Dawson J, Pearse RM. Cardiac output monitoring: basic science and clinical application. *Anaesthesia* 2008;63:172-81
- [15] Reuter DA, Huang C, Edrich T, et al. Cardiac output monitoring using indicator-dilution techniques: basics, limits, and perspectives. *Anesth Analg* 2010;110:799-811
- [16] Goepfert MS, Reuter DA, Akyol D, et al. Goal-directed fluid management reduces vasopressor and catecholamine use in cardiac surgery patients. *Intensive Care Med* 2007;33:96-103
- [17] Peyton PJ, Chong SW. Minimally invasive measurement of cardiac output during surgery and critical care. *Anesthesiology* 2010;113:1220-35
- [18] Hadian M, Kim HK, Severyn DA, et al. Cross-comparison of cardiac output trending accuracy of LiDCO, PiCCO, FloTrac and pulmonary artery catheters. *Crit Care* 2010;14:R212
- [19] Fischer MO, Avram R, Carjalu I, et al. Non-invasive continuous arterial pressure and cardiac index monitoring with Nexfin after cardiac surgery. *Br J Anaesth* 2012;109:514-21
- [20] Rivers E, Nguyen B, Havstad S, et al. Early Goal-Directed Therapy Group: Early goal-directed therapy in the treatment of severe sepsis and septic shock. *N Engl J Med* 2001;345:1368-77
- [21] Futier E, Robin E, Jabaudon M, et al. Central venous O₂ saturation and venous-to-arterial CO₂ difference as complementary tools for goal-directed therapy during high-risk surgery. *Crit Care* 2010;14:R193
- [22] Recommandations formalisées d'experts SFAR-ADARPEF 2012. Stratégie du remplissage vasculaire péri-opératoire : à paraître
- [23] Pearse R, Dawson D, Fawcett J, et al. Early-goal-directed therapy after major surgery reduces complications and duration of hospital stay. A randomized, controlled trial. *Crit Care* 2005;9:R687-93
- [24] Chytra I, Pradl R, Bosman R, et al. Esophageal Doppler-guided fluid management decreases blood lactate levels in multiple-trauma patients : a randomized controlled trial. *Crit Care* 2007;11:R24