



MONITORAGE EN RÉANIMATION : LES NOUVEAUX PARAMÈTRES DÉRIVÉS Δ POP ET PVI

Maxime Cannesson, Olivier Desebbe, Jean-Jacques Lehot
Service d'anesthésie réanimation Hôpital Louis Pradel, Lyon.
E.mail : maxime_cannesson@hotmail.com

INTRODUCTION

Les variations respiratoires de la pression artérielle chez le patient sous ventilation mécanique et anesthésie générale sont un paramètre décrit depuis des dizaines d'années pour la détection de l'hypovolémie en anesthésie et en réanimation. Les premiers à avoir décrit ces paramètres basés sur les variations de la pression artérielle systolique chez le patient anesthésié et sous ventilation en pression positive sont Coyle et al dans un abstract présenté en 1983 au congrès de l'American Society of Anesthesiology et publié sous forme d'abstract la même année dans la revue *Anesthesiology* [1]. Ces auteurs n'ont jamais publié ce travail sous forme d'article original et c'est l'équipe Israélienne d'Azriel Perel et de Reuven Pizov qui en 1987 va décrire de manière plus détaillée ces paramètres aujourd'hui bien connus que sont le deltaUp et le deltaDown [2]. Dans les années qui suivent ces paramètres vont être déclinés sous des formes multiples et variées tant dans le domaine de l'anesthésie [3] que de la réanimation avec, en particulier, la description en 2001 par l'équipe de Jean-Louis Teboul des variations respiratoires de la pression artérielle pulsée plus connues sous le nom de Δ PP [4]. Actuellement, la tendance est au monitoring continu et automatisé de ces paramètres qui permettent véritablement de faire entrer ces concepts dans la pratique clinique quotidienne [5] le but étant, en anesthésie tout du moins, de pouvoir éventuellement les utiliser pour l'optimisation du remplissage vasculaire au bloc opératoire [6].

En 1987, année durant laquelle Perel et al publient leurs travaux sur le deltaUp et le deltaDown, Partridge et al publient pour la première fois un travail relativement similaire à ceux réalisés à partir des courbes de pression artérielle et montrant que les variations respiratoires observées au niveau de la courbe de pléthysmographie donnée par l'oxymètre de pouls sont liées au statut volémique des patients sous ventilation mécanique et anesthésie générale [7]. Douze ans plus tard, en 1999, c'est de nouveau l'équipe de Reuven Pizov en Israël qui décrit

plus précisément la relation étroite qui existe entre les variations respiratoires observées au niveau du pic de l'onde de pléthysmographie et la volémie [8]. De même que pour les variations respiratoires de la pression artérielle, celles de la courbe de pléthysmographie vont alors être étudiées dans de nombreux contextes avec des résultats quasiment toujours identiques. En particulier, à l'instar du ΔPP , c'est l'amplitude de la courbe de pléthysmographie qui semble avoir le plus d'intérêt pour la détection non invasive de la précharge dépendance et de la réponse au remplissage vasculaire (ΔPOP ou ΔPP_{pleth}) [9-11]. Par ailleurs, la tendance actuelle est au monitoring continu et automatique de ΔPOP (PVI) [12, 13].

Même s'il est indéniable que ces paramètres non invasifs dérivés de l'onde de pléthysmographie ont la capacité à prédire la réponse au remplissage vasculaire dans certaines conditions, il n'en reste pas moins que ces paramètres présentent un certain nombre de limites techniques qui nécessitent d'être bien connues pour interpréter correctement les données obtenues à partir de l'analyse morphologique de la courbe de pléthysmographie.

Dans ce chapitre, nous décrivons l'ensemble des éléments qui démontrent la capacité du ΔPOP et du PVI à prédire la réponse au remplissage vasculaire chez le patient sous anesthésie générale et ventilation mécanique, puis, dans un deuxième temps, nous détaillerons les limites physiologiques et techniques qui rendent très difficile l'interprétation fiable de ces paramètres. En particulier, nous verrons qu'il paraît plus hasardeux en pratique clinique d'utiliser les paramètres dérivés de la pléthysmographie en réanimation qu'en anesthésie.

1. SUR QUEL RATIONNEL REPOSE L'ANALYSE DES VARIATIONS RESPIRATOIRES DE LA COURBE DE PLÉTHYSMOGRAPHIE POUR LA PRÉDICTION DE LA PRÉCHARGE DÉPENDANCE EN ANESTHÉSIE ET EN RÉANIMATION ?

L'oxymétrie de pouls est une technologie qui repose sur l'absorption lumineuse. L'absorption présente deux composantes : une composante dite constante qui représente l'absorption lumineuse par les tissus, les os, les pigments cutanés et par le sang veineux (bien que la caractéristique constante d'absorption lumineuse par le sang veineux soit très discutée [14]), et une absorption pulsatile qui représente l'absorption lumineuse par le sang artériel. Il faut d'emblée noter que cette absorption va dépendre du volume de sang et non de la pression. Ainsi, au cours de la systole, le volume de sang présent au niveau du réseau capillaire digital par exemple est maximum et l'absorption est elle aussi maximum. De cette absorption lumineuse on obtient une courbe de pléthysmographie sur laquelle on peut retrouver des variations respiratoires tant chez le patient sous ventilation mécanique [8] que chez le patient en ventilation spontanée [15]. Shamir et al furent parmi les premiers à décrire la sensibilité des variations respiratoires du pic de l'onde de pléthysmographie aux variations de précharge ventriculaire [8]. Mais l'un des problèmes principaux de la courbe de pléthysmographie vient du fait qu'il s'agit d'une courbe sans unité. Plus récemment, ce sont les variations respiratoires de l'amplitude de l'onde de pléthysmographie qui ont été étudiées. Ces variations sont quantifiées à l'aide de la formule de Bland et Altman qui permet d'approcher la variabilité d'une mesure. Ainsi, sur un cycle respiratoire unique on détermine les amplitudes maximale (POP_{max}) et minimale (POP_{min}) de l'onde et on calcule les variations respiratoires (ΔPOP) selon la formule :

$\Delta POP = (POP_{max} - POP_{min}) / [(POP_{max} + POP_{min}) / 2]$ [9]. Le premier travail publié en 2005 par notre équipe montrait qu'il existait une relation statistiquement significative entre ΔPOP et ΔPP chez des patients de réanimation sous ventilation mécanique et qu'une valeur seuil de $\Delta POP > 15\%$ permettait de prédire un $\Delta PP > 13\%$ (qui est la valeur seuil pour prédire la réponse au remplissage vasculaire) avec une bonne sensibilité et une bonne spécificité [9].

Les données retrouvées par notre équipe montrant la relation entre ΔPOP et ΔPP ont été retrouvées par d'autres [16, 17]. Les étapes suivantes ont consisté à mettre en évidence la sensibilité de ΔPOP aux variations de précharge ventriculaire. Dans une étude menée au bloc opératoire chez des patients ventilés en pression positive sous anesthésie générale nous avons mis en évidence le fait que ΔPOP augmentait lors de la diminution de précharge ventriculaire secondaire à un changement de position et qu'il diminuait lors d'une augmentation de la précharge. Par ailleurs, l'évolution de ΔPOP se faisait dans le même sens que ΔPP [18]. Cette étude était la première à mettre en évidence la sensibilité de cet indice, totalement non invasif, aux variations de précharge ventriculaire.

Plus récemment, plusieurs équipes se sont intéressées à la capacité de ΔPOP à prédire la réponse au remplissage vasculaire au bloc opératoire [10, 17, 19] et en réanimation [11, 20] avec des résultats très prometteurs et reproductibles. Solus Biguenet et al ont étudié ΔPOP au bloc opératoire dans le cadre de la chirurgie hépatique [17] et ont montré que cet indice était supérieur aux indices dynamiques pour la prédiction de la réponse au remplissage vasculaire dans ce contexte. Natalini et al. se sont intéressés à ΔPOP au bloc opératoire et en réanimation et ont montré que cet indice était capable de prédire l'augmentation du débit cardiaque après remplissage vasculaire avec les mêmes sensibilité et spécificité que ΔPP [19]. Notre équipe a étudié ΔPOP après induction anesthésique au bloc opératoire sur un échantillon de patients proche de la majorité des patients rencontrés en chirurgie tout venant. Nous avons là encore retrouvé des valeurs de sensibilité et de spécificité identiques à celle de ΔPP pour la prédiction de l'efficacité du remplissage vasculaire chez ces patients [10]. Enfin, ces mêmes résultats ont été retrouvés en réanimation polyvalente [11] et en postopératoire de chirurgie cardiaque [20] chez des patients dont certains recevaient des amines vasopressives. Toutes les études citées précédemment retrouvent une supériorité de ΔPOP comparé aux indices statiques tels que la pression veineuse centrale ou la pression de l'artère pulmonaire occluse. Il existe donc actuellement un nombre important de données qui permettent d'affirmer que les variations respiratoires de l'amplitude de l'onde de pléthysmographie, à l'instar du ΔPP , permettent de prédire de manière non invasive la réponse au remplissage vasculaire tant en anesthésie qu'en réanimation.

2. MONITORAGE AUTOMATISÉ ET CONTINU DES VARIATIONS RESPIRATOIRES DE L'AMPLITUDE DE L'ONDE DE PLÉTHYSMOGRAPHIE : LE PLETH VARIABILITY INDEX OU PVI

Encore plus que le ΔPP , le ΔPOP a besoin d'une automatisation de son calcul pour pouvoir être utilisé en pratique clinique. En effet, les courbes de pléthysmographie brutes ne sont quasiment jamais exploitables sur les moniteurs utilisés en pratique clinique en anesthésie et en réanimation. La plupart des courbes obtenues sur les écrans des moniteurs sont filtrées (ce qui en soit n'est

pas un problème) et, surtout, lissées. L'analyse morphologique des courbes de pléthysmographie dépend donc étroitement des technologies utilisées.

Récemment, la société Masimo a mis sur le marché un indice dérivé de la pléthysmographie et analysant en continu et de manière automatique les variations respiratoires de l'indice de perfusion qui est le rapport entre l'absorption pulsatile et l'absorption constante et qui reflète donc l'amplitude la courbe. Cet indice, Pleth Variability Index (PVI), est exprimé en pourcentage.

La relation entre PVI et Δ POP a été étudiée en anesthésie [12, 13] et, plus récemment en réanimation [21]. Les travaux sur le sujet ont tous mis en évidence une bonne corrélation entre PVI et Δ POP ainsi qu'entre PVI et Δ PP. Il faut noter que dans le travail de Feissel et al., les patients étaient en réanimation dans un contexte de choc septique [21]. Dans ce travail les auteurs semblent aussi trouver qu'un PVI > 20 % pourrait prédire une réponse au remplissage avec une bonne sensibilité et une bonne spécificité. Ces données sont proches de celles publiées par la même équipe sur le Δ POP en réanimation dans le cadre du choc septique [11].

3. LIMITES ET PRÉCAUTIONS PARTICULIÈRES DANS L'ANALYSE DES DONNÉES

Bien que très séduisant, ces indices présentent à ce jour encore certaines limitations techniques qui doivent être bien connues pour rendre leur utilisation possible en pratique clinique. Ainsi, les conditions d'enregistrement de la courbe sont particulièrement importantes. Voici les différents paramètres à contrôler :

- Tous les travaux publiés sur le sujet se sont intéressés à la courbe de pléthysmographie brute. En effet, la grande majorité des moniteurs modernes utilisent des algorithmes qui lissent la courbe de pléthysmographie rendant l'analyse visuelle des ces variations particulièrement hasardeuse. L'enregistrement de la courbe brute nécessite à ce jour des logiciels spécialisés qui ne sont pas disponibles dans la pratique clinique. Cependant, certains moniteurs offrent la possibilité de choisir un gain manuel plutôt qu'automatique, ce qui pourrait permettre l'analyse de cette courbe sur le moniteur. Par ailleurs, il faut bien différencier le lissage du signal (qui est une sorte de moyennage) de son filtrage (qui permet d'éliminer certaines oscillations indésirables pour l'analyse des variations respiratoires). Le lissage impacte fortement le Δ POP tandis que le filtrage permet, dans certaines conditions, de l'optimiser.
- Les variations respiratoires de l'amplitude de l'onde de pléthysmographie dépendent du site d'enregistrement [22]. La plupart des études citées plus haut utilisent le doigt. Les données ne sont donc pas extrapolables aux autres sites de mesures et d'autres études seront nécessaires pour valider ces sites (oreille, front). Cependant, l'oreille pourrait être un site intéressant du fait que le tonus vasomoteur (dont dépend la courbe) est moins important à l'oreille qu'au doigt [23].
- Le tonus vasomoteur influence de manière important la courbe de pléthysmographie et il se pourrait que les patients en état de choc ou sous amines vasopressives ne puissent pas bénéficier d'un tel monitoring en pratique clinique [23, 24]. Un travail récent de Landsverk et al. montre que chez des patients en état de choc, la relation entre Δ POP et Δ PP sur des enregistrements continus est médiocre. Ces résultats sont en contradiction avec l'ensemble des travaux sur le sujet et en particulier avec les travaux réalisés

en réanimation [11, 25]. Cependant, ce travail a une grande importance car il montre que la morphologie de la courbe de pléthysmographie dépend de nombreux paramètres dont les paramètres ventilatoires et la volémie mais aussi d'autres paramètres comme la réactivité vasculaire et le tonus vasomoteur. L'anesthésie générale semble diminuer l'impact du tonus vasomoteur sur le débit sanguin cutané ce qui expliquerait pourquoi le Δ POP semble mieux fonctionner en anesthésie qu'en réanimation [26]. Par ailleurs, le filtrage des courbes de pléthysmographie à l'aide de bandes passantes hautes avec des seuils $> 0,1$ Hz (la fréquence respiratoire étant de l'ordre de 0,2 Hz soit environ 12-14 par minutes) permettrait aussi d'optimiser l'analyse des variations respiratoires en éliminant les oscillations plus lentes liées au tonus vasomoteur. Ces détails techniques sont très bien connus des ingénieurs spécialisés dans le traitement du signal ainsi que des industriels et les limitations inhérentes à ces problèmes techniques pourraient probablement être dépassées.

La lumière extérieure peut parasiter le signal de pléthysmographie et par conséquent l'enregistrement du signal doit se faire avec un oxymètre à l'abri de la lumière (sous les champs chirurgicaux).

Enfin, tous les oxymètres de pouls n'utilisent pas la même technologie et ce qui a été montré avec une technologie doit être démontré avec les autres. Cependant, les différentes études publiées sur le sujet ont utilisé des modèles d'oxymètre différents ce qui tend à penser que l'indice est fiable quelle que soit la technologie employée [25].

CONCLUSION

Les variations respiratoires de l'amplitude de l'onde de pléthysmographie donnée par l'oxymètre de pouls (Δ POP) permettent de prédire de manière fiable et totalement non invasive la réponse au remplissage vasculaire chez le patient sous ventilation mécanique. Les limites de la technique doivent être bien connues pour pouvoir appliquer ce paramètre en pratique clinique. Actuellement, il est possible de monitorer en continu et de manière automatique le Δ POP à l'aide du PVI [12, 13, 21]. Bien que Δ POP et PVI semblent fonctionner en réanimation chez le patient en choc septique [11, 21], il reste cependant certaines limites à son utilisation dans ce contexte en raison du tonus vasomoteur qui vient parasiter le signal [24, 25, 27]. En anesthésie, ces limites semblent moins importantes [26]. Potentiellement, en anesthésie, ces indices pourraient permettre de guider et d'optimiser le remplissage vasculaire peropératoire de manière totalement non invasive [28].

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Coyle JP, Teplick RS, Long MC, Davison JK: Respiratory variations in systemic arterial pressure as an indicator of volume status. *Anesthesiology* 2003;59:A53
- [2] 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
- [3] Tavernier B, Makhotine O, Lebuffe G, Dupont J, Scherpereel P: Systolic pressure variation as a guide to fluid therapy in patients with sepsis-induced hypotension. *Anesthesiology* 1998;89:1313-21
- [4] Michard F, Boussat S, Chemla D, Anguel N, Mercat A, Lecarpentier Y, Richard C, Pinsky MR, Teboul JL: 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

- [5] Cannesson M, Slieker J, Desebbe O, Bauer C, Chiari P, Hénaine R, Lehot JJ: 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: 1195-2000
- [6] Lopes MR, Oliveira MA, Pereira VO, Lemos IP, Auler JO, Jr., Michard F: Goal-directed fluid management based on pulse pressure variation monitoring during high-risk surgery: a pilot randomized controlled trial. *Crit Care* 2007;11:R100
- [7] Partridge BL: Use of pulse oximetry as a noninvasive indicator of intravascular volume status. *J Clin Monit* 1987;3:263-8
- [8] Shamir M, Eidelman LA, Floman Y, Kaplan L, Pizov R: Pulse oximetry plethysmographic waveform during changes in blood volume. *Br J Anaesth* 1999;82:178-81
- [9] Cannesson M, Besnard C, Durand PG, Bohe J, Jacques D: Relation between respiratory variations in pulse oximetry plethysmographic waveform amplitude and arterial pulse pressure in ventilated patients. *Crit Care* 2005;9:R562-8
- [10] Cannesson M, Attof Y, Rosamel P, Desebbe O, Joseph P, Metton O, Bastien O, Lehot JJ: Respiratory variations in pulse oximetry plethysmographic waveform amplitude to predict fluid responsiveness in the operating room. *Anesthesiology* 2007;106:1105-11
- [11] Feissel M, Teboul JL, Merlani P, Badie J, Faller JP, Bendjelid K: Plethysmographic dynamic indices predict fluid responsiveness in septic ventilated patients. *Intensive Care Med* 2007;33:993-9
- [12] Cannesson M, Delannoy B, Morand A, Rosamel P, Attof Y, Bastien O, Lehot JJ: Does the pleth variability index indicate the respiratory induced variation in the plethysmogram and arterial pressure waveforms? *Anesth Analg* 2008;106:1189-94
- [13] Cannesson M, Desebbe O, Rosamel P, Delannoy B, Robin J, Bastien O, Lehot JJ: 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
- [14] Shelley KH, Dickstein M, Shulman SM: The detection of peripheral venous pulsation using the pulse oximeter as a plethysmograph. *J Clin Monit* 1993;9:283-7
- [15] Delerme S, Renault R, Le Manach Y, Lvovschi V, Bendahou M, Riou B, Ray P: Variations in pulse oximetry plethysmographic waveform amplitude induced by passive leg raising in spontaneously breathing volunteers. *Am J Emerg Med* 2007;25:637-42
- [16] Natalini G, Rosano A, Franschetti ME, Fachetti P, Bernardini A: Variations in arterial blood pressure and photoplethysmography during mechanical ventilation. *Anesth Analg* 2006;103:1182-88
- [17] Solus-Biguenet H, Fleifel M, Tavernier B, Kipnis E, Onimus J, Robin E, Lebuffe G, Decoene C, Pruvot FR, Vallet B: Non-invasive prediction of fluid responsiveness during major hepatic surgery. *Br J Anaesth* 2006;97:808-16
- [18] Cannesson M, Desebbe O, Hachemi M, Jacques D, Bastien O, Lehot JJ: Respiratory variations in pulse oximeter waveform amplitude are influenced by venous return in mechanically ventilated patients under general anaesthesia. *Eur J Anaesthesiol* 2007;24:245-51
- [19] Natalini G, Rosano A, Taranto M, Faggian B, Vittorielli E, Bernardini A: Arterial versus plethysmographic dynamic indices to test responsiveness for testing fluid administration in hypotensive patients: a clinical trial. *Anesth Analg* 2006;103:1478-84
- [20] Wyffels PA, Durnez PJ, Helderweirt J, Stockman WM, De Kegel D: Ventilation-induced plethysmographic variations predict fluid responsiveness in ventilated postoperative cardiac surgery patients. *Anesth Analg* 2007;105:448-52
- [21] Feissel M, Kalakhy R, Badie J, Roblès G, Faller JP, Teboul JL: La variabilité respiratoire de la pléthysmographie issue de l'oxymétrie de pouls (PVI): un nouvel indice prédictif non invasif de la réponse au remplissage vasculaire. *Congrès Annuel de la Société de Réanimation de Langue Française* 2009:SO40
- [22] Shelley KH, Jablonka DH, Awad AA, Stout RG, Rezkanna H, Silverman DG: What is the best site for measuring the effect of ventilation on the pulse oximeter waveform? *Anesth Analg* 2006;103:372-7, table of contents
- [23] Awad AA, Ghobashy MA, Ouda W, Stout RG, Silverman DG, Shelley KH: Different responses of ear and finger pulse oximeter wave form to cold pressor test. *Anesth Analg* 2001;92:1483-6
- [24] Cannesson M, Desebbe O, Lehot JJ: Fluid responsiveness assessment using the pulse oximeter waveform: not yet ready for prime time. *Anesth Analg* 2007; 104: 1598-9; author reply 1599-600

- [25] Cannesson M, Desebbe O, Lehot JJ: Comment on «Plethysmographic dynamic indices predict fluid responsiveness in septic ventilated patients» by Feissel et al. *Intensive Care Med* 2007
- [26] Landsverk SA, Kvandal P, Bernjak A, Stefanovska A, Kirkeboen KA: The effects of general anesthesia on human skin microcirculation evaluated by wavelet transform. *Anesth Analg* 2007;105:1012-9
- [27] Landsverk SA, Hoiseth LO, Kvandal P, Hisdal J, Skare O, Kirkeboen KA: Poor agreement between respiratory variations in pulse oximetry photoplethysmographic waveform amplitude and pulse pressure in intensive care unit patients. *Anesthesiology* 2008;109:849-55
- [28] Cannesson M, Desebbe O: Using ventilation induced plethysmographic waveform variations to optimize patient fluid status. *Curr Opin Anaesthesiol* 2008;21:772-8