

Note technique

Différence artérioveineuse du contenu en O₂, saturation veineuse mêlée en O₂ ou index cardiaque en postopératoire de chirurgie cardiaque : sont-ils équivalents ?

Arteriovenous difference in O₂ content, pulmonary venous O₂ saturation, cardiac index: Are they equivalent in cardiac surgery?

J. Pottecher^a, A. Belii^b, J. Huntzinger^a, L. Chausseret^a, C. Soltner^a, L. Beydon^{a,*}

^a Pôle d'anesthésie-réanimation, CHU d'Angers, 49933 Angers cedex 9, France

^b Département d'anesthésie-réanimation, Chisinau, Moldavie

Reçu le 4 mai 2008 ; accepté le 23 septembre 2008

Disponible sur Internet le 13 novembre 2008

Résumé

Objectif. – Évaluer la concordance de l'index cardiaque (IC), du sang veineux mêlé (SvO₂) et de la différence artérioveineuse de contenu en O₂ – C(a–v)O₂ – en chirurgie cardiaque. SvO₂ et IC devraient induire une quantité d'incertitude croissante par rapport à C(a–v)O₂ dans la mesure où ils ne prennent en compte que partiellement ou pas du tout la composante métabolique.

Type d'étude. – Analyse de variables collectées en routine.

Patients. – Quatre-vingts patients anesthésiés et ventilés, en postopératoire de chirurgie cardiaque.

Méthodes. – Réalisation simultanée d'un point hémodynamique par Swan-Ganz (SG) à débit continu et un gaz du sang artériel et veineux mêlé, en situation stable.

Résultats. – Par deux régressions linéaires : SvO₂ versus C(a–v)O₂ (Reg 1) et IC versus C(a–v)O₂ (Reg 2), nous montrons qu'un IC = 2,2 l/min/m² et une SvO₂ = 70 % correspondaient à une C(a–v)O₂ = 5 ml/100 ml. La dispersion, identifiée par la distribution verticale des points autour de la ligne de régression, une fois normalisée, était 3,2 fois plus grande dans Reg 2 que dans Reg 1.

Conclusions. – La correspondance des valeurs d'IC, de SvO₂ et de C(a–v)O₂ en chirurgie cardiaque est identique à celles présentées dans la littérature chez les patients de réanimation polyvalente. SvO₂ et surtout IC induisent une dispersion tangible des valeurs diminuant leur capacité à évaluer le ratio débit/métabolisme qui est au mieux apprécié par C(a–v)O₂.

© 2008 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Objective. – To study the concordance of cardiac index (CI), mixed venous oxygen saturation (SvO₂) and the arterial-mixed venous O₂ content difference, i.e.: C(a–v)O₂, postoperatively to cardiac surgery. We hypothesized that significant discrepancies would be measurable between C(a–v)O₂ and SvO₂, and CI, because the latter two indices encompass less metabolic components than the former.

Design. – Analysis of variables collected as part of routine care.

Patients. – Eighty anesthetized patients receiving mechanical ventilation after heart surgery.

Measurements and results. – Using linear regression of SvO₂ versus C(a–v)O₂ (Reg 1) and CI versus C(a–v)O₂ (Reg 2), respectively we found that CI = 2.2 L min⁻¹ m⁻² and SvO₂ = 70% were equivalent to C(a–v)O₂ = 5 ml/100 ml. The error reflected by the vertical scatter of points around the regression line, once normalized was 3.24 times greater in Reg 2 than in Reg 1.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : lbeydon.angers@in vivo.edu (L. Beydon).

Conclusions. – The correspondence of CI, SvO₂ and C(a–v)O₂ values observed in a population of patients studied immediately after scheduled heart surgery match those reported in critically ill patients. SvO₂ and furthermore CI induced a sizeable scatter of points around regression line. Accordingly, they appear as a lesser estimate of the flow/metabolism balance that may at best be inferred from C(a–v)O₂.

© 2008 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Cathétérisation ; Swan-Ganz ; Monitoring ; Hémodynamique ; Chirurgie cardiaque

Keywords: Catheterization; Swan-Ganz; Monitoring; Physiologic; Cardiac surgical procedures; Postoperative period; Critical care; Investigative; Techniques

1. Introduction

L'optimisation hémodynamique en réanimation contribue au pronostic clinique [1]. Les méthodes utilisables à cette fin sont multiples et le cathéter de Swan-Ganz (SG), vieux de 30 ans, est encore utilisé en routine, notamment dans sa version à débit continu. Son intérêt principal est de fournir des indications hémodynamiques pertinentes tout en étant maîtrisée de façon plus courante que l'échographie. Ainsi, dans notre réanimation de chirurgie cardiaque, les médecins de garde n'étant pas tous formés à l'échographie, la SG demeure le meilleur outil hémodynamique commun à tous. Notre objectif est de maintenir un index cardiaque (IC) supérieur à 2,2 l/min/m² qui est le seuil d'hypoperfusion proposé par Forrester et al. [2] dans les années 1970 lors de l'optimisation de l'hémodynamique de patients souffrant d'infarctus myocardique. Or, cette valeur d'IC est à notre connaissance la seule valeur normative disponible dans la littérature pour la pathologie cardiaque. En effet, dans ce contexte particulier, on ne dispose pas de seuil spécifique de « normalité » pour la différence artérioveineuse du contenu en O₂ – C(a–v)O₂ – et une seule étude s'intéresse à la saturation du sang veineux mêlé en O₂ (SvO₂) dans ce contexte [3]. Or, ces deux derniers paramètres qui incluent la « composante métabolique » ont été largement étudiés et se sont imposés en postopératoire de chirurgie générale [4,5], ou dans le choc septique [6] sous la forme approchée d'une saturation du sang veineux central en O₂ (ScvO₂) dans le but d'optimiser l'hémodynamique. Le contexte de chirurgie cardiaque nous semble suffisamment spécifique pour justifier une validation des valeurs seuil de SvO₂ et C(a–v)O₂ en regard du seuil d'IC validé à 2,2 l/min/m². En effet, des facteurs particuliers peuvent modifier dans ce contexte de chirurgie cardiaque l'interrelation entre ces variables comme l'anémie, l'anesthésie résiduelle ou l'absence de souffrance métabolique cellulaire spécifique du choc septique. Le but de notre étude a donc été de déterminer comment les valeurs de C(a–v)O₂ et SvO₂ se comparaient à l'IC, au seuil de 2,2 l min⁻¹ m⁻², à partir de mesures faites en routine sur un échantillon important et homogène de patients opérés du cœur. Le second objectif de cette étude était de tenter d'évaluer l'erreur croissante que l'on commet en utilisant SvO₂ à la place de C(a–v)O₂ et IC à la place de SvO₂. En effet, il a été montré récemment que la PaO₂, et par voie de conséquence la PvO₂ qui est souvent artificiellement élevée sous ventilation artificielle chez des sujets au poumon sain, influait notablement sur la PvO₂ et la SvO₂ [7]. Cela laisse suggérer

que pour évaluer la relation débit–métabolisme, cette variable prise isolément serait moins robuste que la C(a–v)O₂, sous ventilation artificielle.

2. Méthodes

Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique du CHU d'Angers, sans exiger de consentement du fait de la nature observationnelle de l'étude, portant sur des variables s'inscrivant dans le cadre de la routine clinique.

2.1. Patients et procédures

Nous avons utilisé les données hémodynamiques de routine – i.e. IC, SvO₂ et C(a–v)O₂ – de 80 patients consécutivement admis dans notre service de réanimation, après chirurgie cardiaque réglée. Ces données étaient collectées, 15 minutes après l'admission du patient encore anesthésié (effet résiduel du propofol–sufentanyl) et ventilé artificiellement. Elles font partie du bilan d'entrée systématique chez ces patients, porteurs d'une SG à débit continu (sans fonction SvO₂ continue) (cathéter Edwards[®] CCO, moniteur Vigilance[®], Edwards Lifescience[™], Irvine, CA, États-Unis) posée systématiquement après l'induction anesthésique. On réalisait, en même temps que l'acquisition des paramètres hémodynamiques, un double gaz du sang, artériel (cathéter radial) et sur du sang veineux mêlé prélevé par la voie pulmonaire de la SG (analyseur ABL505[®] et cooxymètre OSM3[®], Radiometer[™], Copenhague). La C(a–v)O₂ était calculée comme $C(a-v)O_2 = CaO_2 - CvO_2$ avec $CaO_2 = (PaO_2 \cdot 0,0031) + (Hb \cdot SaO_2 \cdot 1,34)$ et $CvO_2 = (PvO_2 \cdot 0,0031) + (Hb \cdot SvO_2 \cdot 1,34)$.

2.2. Analyse des données

Nous avons réalisé deux régressions linéaires : SvO₂ versus C(a–v)O₂ (Reg 1) et IC versus C(a–v)O₂ (Reg 2), respectivement. Nous avons évalué la dispersion normalisée des points sur chaque régression (Reg 1 et Reg 2), en divisant l'erreur standard de l'estimation (*Sy.x*) de chaque régression par la valeur moyenne de la variable (SvO₂ et IC pour Reg 1 et Reg 2, respectivement). Ces erreurs normalisées ont été dénommées *NormSy.x*. Le calcul de *NormSy.x* permettait de comparer la dispersion verticale des points dans Reg 1 et Reg 2 et donc le niveau d'erreur croissant [8] (reflété par la dispersion selon l'axe des y, des valeurs au sein de la population étudiée) qu'impose l'utilisation de SvO₂ à la place de C(a–v)O₂ et plus encore l'utilisation de l'IC.

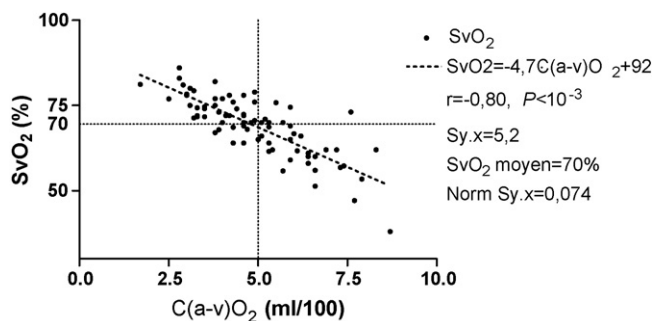


Fig. 1. Régression linéaire entre saturation veineuse mêlée en oxygène (SvO₂) et différence artériovéineuse du contenu en oxygène – C(a-v)O₂.

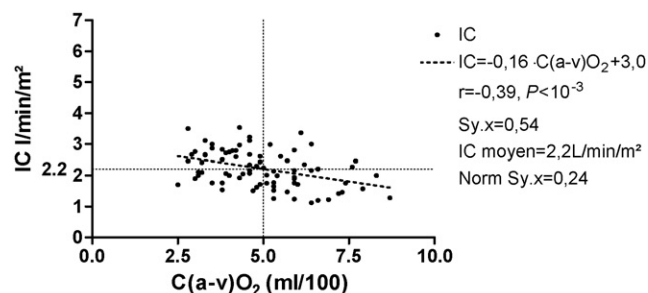


Fig. 2. Régression linéaire entre index cardiaque (IC) et C(a-v)O₂.

3. Résultats

Quatre-vingts patients (60 hommes et 20 femmes [69 ans ± 12]) ont été étudiés. Les interventions étaient valvulaires ($n = 47$), des pontages aortocoronaires ($n = 25$) et les deux ($n = 8$). L'Euroscore médian était de 6 (écart : 0–11) [9].

Nous montrons qu'à la valeur d'IC de 2,2 l/min/m² correspond une SvO₂ à 70 % et une C(a-v)O₂ à 5 ml/100 ml.

La régression entre SvO₂ et C(a-v)O₂ montre que NormSy.x s'élève à 7 %, malgré un coefficient de régression élevé ($r = -0,80$). La régression entre IC et C(a-v)O₂ met en évidence une valeur de NormSy.x de 24 %. En d'autres termes, l'erreur normalisée mesure la dispersion des valeurs d'IC et de SvO₂ dans la population étudiée. Elle est 3,24 fois plus élevée pour l'IC que pour la SvO₂ Fig. 1 et 2.

4. Discussion

Nos données fournissent, pour des patients de chirurgie cardiaque, la correspondance entre trois variables homologues couramment utilisées en hémodynamique : IC, SvO₂ et C(a-v)O₂. Or, si des valeurs seuil comme une SvO₂ à 70 % ont été utilisés avec succès pour des études de stratégie [6,10] et apparaissent actuellement s'imposer comme des évidences, la littérature nous montre que ces valeurs sont issues de travaux anciens, provenant de seulement deux équipes [5,11]. Pour ce faire, Shoemaker et al. [5] puis Bland et Shoemaker [11] ont étudié en réanimation polyvalente, la distribution d'une gamme de paramètres hémodynamiques chez les patients qui survivent et ceux qui décèdent, respectivement. Ils en ont dérivé pour chaque variable, une valeur seuil « recommandée » permettant au mieux de différencier ceux qui survivront des autres. La réanimation se devant alors de maintenir la variable au-dessus de cette valeur seuil. C'est sur ces bases que s'est établie la « réanimation à objectif hémodynamique » (*goal oriented therapy*) qui, malgré différentes tentatives d'envergure, n'a pendant longtemps pas permis d'améliorer le pronostic des patients [12–14]. Cela, jusqu'au moment où il est apparu que la précocité de décision était la rançon du succès [1,6,15], y compris en chirurgie cardiaque [10]. Fait intéressant, le paramètre retenu dans ces études positives, basées sur la précocité du traitement, est une SvO₂ ou une ScvO₂ supérieure

à 70 %, renforçant la cohérence de ces études. Si la SvO₂ ne faisait pas partie des paramètres pris en compte dans les études pionnières, Shoemaker et al. proposaient de maintenir une PvO₂ supérieure à 36 mmHg [5]. Or, en extrapolant, à partir de nomogrammes, on constate que ces valeurs correspondent, à peu de chose près, à une SvO₂ de 70 %, renforçant la cohérence de ces études. Deux études récentes tendent à conforter ce seuil de SvO₂ supérieure à 70 %, indépendamment des travaux plus anciens que nous avons cités. Elles montrent, en effet, que la valeur moyenne de SvO₂ observée dans deux cohortes de patients de réanimation, hors choc septique, sont proches de ce seuil : 69 ± 1 % [16] et 74 ± 9 %, respectivement [17]. Le seuil de SvO₂ supérieure à 70 % peut donc être considéré comme le seuil moyen de normalité pour cette variable en réanimation.

Pour IC et C(a-v)O₂, nos données recourent et confortent celles des deux seules publications décrivant un contexte cardiovasculaire. La valeur d'IC de 2,2 l/min/m² est, comme on l'a vu, proche du seuil recommandé par Forrestier et al. [2] chez les patients coronariens aigus. Elle correspond dans notre série à une C(a-v)O₂ = 5 ml/100 ml. Cette dernière valeur constitue le seuil de normalité pour la C(a-v)O₂, tel que proposé par Shoemaker et Czer [4]. On recoupe également les résultats de Svedjeholm et al. [3] qui rapportaient qu'une valeur d'IC de 2,1 l/min/m² correspond à une valeur de SvO₂ à 70 % chez des opérés de pontage coronaire. Nous montrons ainsi que les valeurs issues de notre cohorte de patients sont proches des données issues de différents autres contextes de réanimation. Les valeurs seuil évoquées semblent donc robustes, avec un niveau homogène de correspondance.

Au vu des études récentes, la SvO₂ tendrait donc à s'imposer comme le moyen simple de quantifier la balance débit/métabolisme [18], avec un seuil qui corrobore bien celui recommandé pour la méthode de référence, i.e. C(a-v)O₂ à 5 [4]. De plus, comme attendu, les écarts standardisés sont moins importants dans la régression SvO₂ versus C(a-v)O₂ que dans la régression de l'IC versus C(a-v)O₂. On aurait ainsi tendance à penser que la SvO₂ est un paramètre moins bruité que l'IC. Cette constatation peut s'expliquer de plusieurs manières. En premier lieu, un couplage mathématique est constitutif de la régression SvO₂ versus C(a-v)O₂ et peut rendre compte d'une moindre dispersion des points par rapport à la régression IC versus C(a-v)O₂. Cependant,

l'erreur normalisée est un moyen classique de décrire la dispersion verticale des points autour de la ligne de régression sans pour autant supprimer l'effet du couplage mathématique [8]. Des méthodes complexes ont été proposées dans la littérature pour supprimer un tel couplage en introduisant la variabilité intrinsèque de chaque variable partagée, ce qui n'était pas possible dans notre étude [19,20]. Une telle approche n'était pas possible dans le contexte de notre étude. En second lieu, on évoque le fait que SvO₂ et IC ne sont pas comparables par nature, car non liés aux mêmes déterminants physiologiques. Outre le fait que la SvO₂ est dépendante de la VO₂, elle dépend aussi de la PaO₂. Ainsi, la SvO₂ va augmenter si on élève la F_IO₂, chez des sujets à poumon sain, les autres déterminants restant identiques. Elle est aussi dépendante du taux d'hémoglobine qui modifie l'importance de l'extraction périphérique en O₂. Inversement, la C(a-v)O₂ n'est pas influencée par ces facteurs. Malgré ces deux sources de divergence entre SvO₂ et C(a-v)O₂, pour un même patient, on constate que l'erreur standard de la régression est faible, ce qui tend à minimiser le rôle joué par ces deux biais potentiels. En revanche, la dispersion des points est trois fois supérieure dans la régression IC versus C(a-v)O₂. Cela peut s'expliquer par le fait que les variables IC et C(a-v)O₂ diffèrent plus l'une de l'autre que SvO₂ et C(a-v)O₂. En effet, l'IC est un paramètre dépendant de facteurs comme le tonus sympathique, les conditions de charge ventriculaire, des facteurs humoraux, en plus du métabolisme. Cela explique sans doute une dispersion plus large des valeurs d'IC par opposition à C(a-v)O₂ et SvO₂ qui dérivent du principe de Fick qui lie débit et métabolisme. Cette constatation d'un plus grand « bruit de fond » pour IC tendrait à lui préférer C(a-v)O₂ et SvO₂ comme variables « hémodynamiques » utilisables pour optimiser l'hémodynamique, en regard de la demande métabolique. Ainsi, notre étude apporte des arguments indirects pour hiérarchiser ces trois variables, en relativisant l'intérêt de l'IC qui recouvre une information moins riche que SvO₂ et C(a-v)O₂. Cette constatation conforte les études récentes qui utilisent la SvO₂ comme variable d'ajustement « hémodynamique » de première intention.

Nous souhaiterions signaler deux autres points de méthode. Tout d'abord expliquer notre souhait de comparer des variables considérées à tort comme « analogues » par le clinicien (car toutes au service de l'optimisation du transport d'O₂), mais intrinsèquement différentes (IC ne reflète que le débit, sans référence au métabolisme). Le clinicien se pose logiquement la question de l'équivalence des variables utilisables pour optimiser l'état du patient. Notre démarche de comparaison du seuil et de comparaison du niveau de dispersion des valeurs dans une population spécifique est donc cliniquement logique, même si elle est « métrologiquement » erronée puisqu'elle compare des variables de nature différente. Enfin, nous avons utilisé une SG à débit continu en lieu et place de la méthode de référence par bolus de soluté glacé. Néanmoins, la SG à débit continu a été validée comme donnant des valeurs très comparables à la méthode classique, dans la gamme des valeurs usuelles [21]. Son avantage ergonomique explique que la méthode classique soit peu

utilisée. Nous avons ainsi cherché à traduire les pratiques les plus communes.

En conclusion, nous montrons que la mesure de l'IC diverge notablement de la C(a-v)O₂, cette dernière constituant un moyen robuste pour évaluer l'adéquation du débit au métabolisme. La SvO₂ diverge modérément de la C(a-v)O₂ du fait que la SaO₂ et le taux d'hémoglobine ne sont pas pris en compte. Néanmoins, si on raisonne sur des valeurs moyennes pour une population donnée, telles que l'expriment les droites de régression, les valeurs seuil des paramètres que nous avons étudiés en postopératoire de chirurgie cardiaque recourent exactement celles de la littérature issue de patients de réanimation polyvalente.

Références

- [1] Kern JW, Shoemaker WC. Meta-analysis of hemodynamic optimization in high-risk patients. *Crit Care Med* 2002;30:1686–92.
- [2] Forrester JS, Diamond G, Chatterjee K, Swan HJ. Medical therapy of acute myocardial infarction by application of hemodynamic subsets (first of two parts). *N Engl J Med* 1976;295:1356–62.
- [3] Svedjeholm R, Hakanson E, Szabo Z. Routine SvO₂ measurement after CABG surgery with a surgically introduced pulmonary artery catheter. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999;16:450–7.
- [4] Shoemaker WC, Czer LS. Evaluation of the biologic importance of various hemodynamic and oxygen transport variables: which variables should be monitored in postoperative shock? *Crit Care Med* 1979;7:424–31.
- [5] Shoemaker WC, Appel P, Bland R. Use of physiologic monitoring to predict outcome and to assist in clinical decisions in critically ill postoperative patients. *Am J Surg* 1983;146:43–50.
- [6] Rivers E, Nguyen B, Havstad S, Ressler J, Muzzin A, Knoblich B, et al. Early goal-directed therapy in the treatment of severe sepsis and septic shock. *N Engl J Med* 2001;345:1368–77.
- [7] Ho KM, Harding R, Chamberlain J. The impact of arterial oxygen tension on venous oxygen saturation in circulatory failure. *Shock* 2008;29:3–6.
- [8] Dapson RW. Guidelines for statistical usage in age-estimation technics. *J Wildlife Manage* 1980;44:541–8.
- [9] Nashef SA, Roques F, Michel P, Gauducheau E, Lemeshow S, Salamon R. European system for cardiac operative risk evaluation (EuroSCORE). *Eur J Cardiothorac Surg* 1999;16:9–13.
- [10] Polonen P, Ruokonen E, Hippelainen M, Poyhonen M, Takala J. A prospective, randomized study of goal-oriented hemodynamic therapy in cardiac surgical patients. *Anesth Analg* 2000;90:1052–9.
- [11] Bland RD, Shoemaker WC. Probability of survival as a prognostic and severity of illness score in critically ill surgical patients. *Crit Care Med* 1985;13:91–5.
- [12] Gattinoni L, Brazzi L, Pelosi P, Latini R, Tognoni G, Pesenti A, et al. A trial of goal-oriented hemodynamic therapy in critically ill patients. SvO₂ Collaborative Group. *N Engl J Med* 1995;333:1025–32.
- [13] Sandham JD, Hull RD, Brant RF, Knox L, Pineo GF, Doig CJ, et al. A randomized, controlled trial of the use of pulmonary artery catheters in high-risk surgical patients. *N Engl J Med* 2003;348:5–14.
- [14] Hayes MA, Timmins AC, Yau EH, Palazzo M, Hinds CJ, Watson D. Elevation of systemic oxygen delivery in the treatment of critically ill patients. *N Engl J Med* 1994;330:1717–22.
- [15] Shoemaker WC, Appel PL, Kram HB, Waxman K, Lee TS. Prospective trial of supranormal values of survivors as therapeutic goals in high-risk surgical patients. *Chest* 1988;94:1176–86.
- [16] Ladakis C, Myrianthefs P, Karabinis A, Karatzas G, Dosios T, Fildissis G, et al. Central venous and mixed venous oxygen saturation in critically ill patients. *Respiration* 2001;68:279–85.
- [17] Reinhart K, Kuhn HJ, Hartog C, Bredle DL. Continuous central venous and pulmonary artery oxygen saturation monitoring in the critically ill. *Intensive Care Med* 2004;30:1572–8.

- [18] Blasco V, Leone M, Textoris J, Visintini P, Albanese J, Martin C. Oxymétrie veineuse : physiologie et implications thérapeutiques. *Ann Fr Anesth Reanim* 2008;27:74–82.
- [19] Moreno LF, Stratton HH, Newell JC, Feustel PJ. Mathematical coupling of data: correction of a common error for linear calculations. *J Appl Physiol* 1986;60:335–43.
- [20] Stratton HH, Feustel PJ, Newell JC. Regression of calculated variables in the presence of shared measurement error. *J Appl Physiol* 1987;62:2083–93.
- [21] Yelderman ML, Ramsay MA, Quinn MD, Paulsen AW, McKown RC, Gillman PH. Continuous thermodilution cardiac output measurement in intensive care unit patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1992;6:270–4.