Cardiothoracic Anesthesia, Respiration and Airway

Après circulation extra-corporelle, la mesure continue de la SvO_2 et la co-oxymétrie du sang mêlé ne sont pas interchangeables

[Continuous SvO_2 measurements and co-oximetry are not interchangeable immediately after cardiopulmonary bypass]

Karim Bendjelid MD MS, Nicolas Schutz MD, Peter M. Suter MD FRCA, Jacques-A. Romand MD FCMM

Objectif : Déterminer la précision de la mesure continue (*in vivo*) de la saturation veineuse en oxygène du sang mêlé (SvO_2) par cathéter à fibres optiques chez les patients en post-circulation extra-corporelle (CEC).

Méthode : Nous avons étudié prospectivement 14 patients (âge, 64 ± 8) post-CEC équipés d'un cathéter artériel pulmonaire. Le taux d'hématocrite moyen était de $30 \pm 4\%$. Le cathéter a été calibré *in vitro* et *in vivo* suivant les recommandations du constructeur. Cinquante-six mesures simultanées de SvO_2 continue ($CSvO_2$) et de SvO_2 mesurée ($MSvO_2$) par hémoxymètre ont été effectuées et les valeurs paires ont été analysées par régression linéaire. Pour que les deux mesures soient interchangeables, nous avons déterminé, *a priori*, une limite maximale de 3 % (environ 5 % de la mesure) comme différence acceptable entre les deux types de mesures.

Résultats : Toutes les mesures ont été faites dans les quatre heures suivant la mise en place du cathéter. $CSvO_2$ est faiblement corrélée à $MSvO_2$ avec un coefficient de corrélation $r^2 = 0,49$ ($P < 0,001$). L'analyse de Bland-Altman objective un biais moyen de $0,8 \pm 3\%$ avec 36 % des valeurs mesurées en dehors de la zone cliniquement acceptable. Pour des valeurs $CSvO_2 \leq 65\%$, les mesures ne sont pas corrélées ($P = NS$), le biais est de $-2 \pm 7\%$ et 56 % des valeurs mesurées en dehors de la zone cliniquement acceptable.

Conclusion : Nos résultats objectivent que, dans les suites immédiates d'une CEC, la mesure continue de la SvO_2 et la co-oxymétrie du sang mêlé ne sont pas interchangeables. D'autres études sont nécessaires afin de confirmer ces résultats et comprendre les phénomènes physiopathologiques à l'origine de l'absence de concordance entre les deux méthodes.

Objective: To determine the accuracy of continuous (*in vivo*) measurement of mixed venous oxygen saturation (SvO_2), using a fiberoptic catheter, in patients having had cardiopulmonary bypass (CPB).

Methods: Using a pulmonary arterial catheter, we prospectively studied 14 patients (age 64 ± 8) having had cardiopulmonary bypass. Mean hematocrit was $30 \pm 4\%$. The catheter was calibrated *in vitro* and *in vivo*, according to the manufacturer's instructions. Fifty-six simultaneous measurements of continuous SvO_2 ($CSvO_2$) and measured SvO_2 ($MSvO_2$) were taken with a co-oxymeter and the paired values were analyzed by the linear regression method. To make the two sets of measurements interchangeable, we established, *a priori*, a maximum limit of 3% (approximately 5% of the measurement), as being an acceptable difference between the two types of measurements.

Results: All the measurements were obtained within four hours of the placement of the catheter. $CSvO_2$ was weakly correlated with $MSvO_2$, with a correlation coefficient of $r^2 = 0.49$ ($P < 0.001$). The Bland-Altman analysis demonstrates an objective mean bias of $0.8 \pm 3\%$, with 36% of the values measured falling outside clinically acceptable limits. For values of $CSvO_2 \leq 65\%$, the measurements were not correlated ($P = NS$). The bias was $-2 \pm 7\%$, and 56% of the values measured fell outside clinically acceptable limits.

Conclusions: Our results demonstrate that, in the immediate aftermath of cardiopulmonary bypass, the continuous measurement of SvO_2 and the co-oxymetry determination of mixed blood is not interchangeable. Other studies will be necessary to confirm these results and enable us to understand the pathophysiological phenomena accounting for the lack of agreement between the two methods.

De la Division des Soins Intensifs de Chirurgie, Hôpitaux Universitaires de Genève, Genève, Suisse.

Adresser la correspondance à: Dr Karim Bendjelid, Chef de Clinique Scientifique, Division des Soins Intensifs Chirurgicaux, Hôpitaux Universitaires de Genève, CH-1211 Genève 14, Suisse. Téléphone: +41/22 382 74 52; Télécopieur: +41/22 382 74 55; Courriel: Karim.Bendjelid@hcuge.ch

Accepted for publication December 9, 2003.

Revision accepted March 26, 2004.

LA saturation en oxygène de l'hémoglobine du sang veineux mêlé (Svo₂) reflète la balance corporelle totale entre l'oxygène délivré et l'oxygène consommé par les tissus périphériques.¹ Plus précisément elle reflète le recours à un mécanisme de compensation qui est la modulation de l'extraction tissulaire en oxygène (perturbée en cas de choc distributif) afin de maintenir une balance [consommation d'oxygène/oxygène délivré] adéquate. Cette variable trouve donc toute son utilité pour la surveillance des patients pouvant présenter des défaillances circulatoires pendant la phase péri et postopératoire.^{2,3} Bien que ces 20 dernières années, l'utilisation de cathéter artériel pulmonaire (CAP) à fibres optiques⁴ ait permis une mesure fiable et continue de la Svo₂ par spectrophotométrie au lit du malade,⁵ la précision de ce type de mesure a été peu étudiée dans les suites opératoires d'une circulation extra-corporelle (CEC). En effet, la plupart des études publiées ont évalué ce type de cathéter chez des patients pendant la chirurgie^{6,7} mais pas dans les premières heures suivant la CEC.

Pourtant, les effets de la CEC suivis par la période de réchauffement postopératoire et les conditions d'hémodilution pourraient être une limite pour cette méthode à refléter fidèlement la Svo₂ du sang mêlé en continu. Le présent travail a cherché à évaluer la concordance liant les valeurs de Svo₂ du sang mêlé mesurées au moyen d'un cathéter à fibres optiques à ceux des échantillons prélevés puis mesurés par un appareil de référence (hémoxygromètre) chez des patients en postopératoire de chirurgie cardiaque.

Méthodes

L'étude a été approuvée par le Commission d'Éthique institutionnelle et tous les patients ont donné leur consentement par écrit la veille de l'intervention. Seuls les patients opérés d'un pontage aortocoronaire ont été sélectionnés. Les critères d'exclusion des patients pour l'étude étaient les suivants : l'absence de CAP en postopératoire, l'instabilité hémodynamique (définie plus bas) ou encore un saignement supérieur à 100 mL·h⁻¹.

Procédure périopératoire

Le traitement anti-angineux a été interrompu le soir précédant l'intervention mais le métoprolol, par voie orale, a été maintenu en cas de médication de longue durée par bêta-bloquants. Une prémédication par diazépam et morphine était administrée une heure avant l'intervention. Pour l'intervention, un cathéter artériel radial de 20 g ainsi qu'un CAP à fibres optiques permettant une surveillance continue de la

Svo₂ (Vigilance Monitor, Baxter Edwards, Irvine, CA, USA) ont été mis en place. Par ailleurs, les patients ont été équipés d'une sonde endotrachéale, une sonde naso-gastrique et un cathéter urinaire de Foley. L'anesthésie était assurée par midazolam, fentanyl et bromure de pancuronium. Une CEC hypothermique (28°C) ainsi qu'une cardioplégie froide ont été appliquées. Le débit de CEC a été de 2 L·min⁻¹·m⁻² et la pression artérielle moyenne a été maintenue à 60 mmHg par l'emploi de médicaments vasoactifs. Pendant la CEC, les poumons n'ont pas été ventilés mais une pression positive de fin d'expiration (2–5 cm H₂O) a été appliquée. En cas de nécessité, le sevrage de la CEC était réalisé moyennant un support médicamenteux inotrope positif ou vasoactif. Après l'intervention, les patients ont été transférés à l'unité des soins intensifs chirurgicaux. Dès l'arrivée, la sédation et l'analgésie ont été administrées par injection continue de midazolam et de morphine, (score de 6 sur l'échelle de Ramsay)⁸ en attendant le réchauffement. Les patients étaient ventilés mécaniquement (Evita 4, Dräger, Lübeck, Germany). Les paramètres ventilatoires étaient les suivants : mode volume contrôlé, volume courant (8–10 mL·kg⁻¹ du poids corporel) et fréquence respiratoire (12 respirations·min⁻¹). Les deux paramètres précités ont été adaptés de manière à maintenir un PaCO₂ à 5,3 ± 0,5 KPa (40 ± 5 mmHg). La fraction d'oxygène inspiré (FiO₂) était ajustée pour une saturation artérielle (Sao₂) > 92 %. Le rapport inspiration/expiration (I/E) était de 1:2. La température corporelle et le débit urinaire ont été surveillés pendant la période postopératoire. Pour éviter la déperdition de chaleur, des couvertures chauffantes ont été utilisées. Les patients ont été observés pendant un minimum de deux heures de manière à s'assurer de leur stabilité hémodynamique, définie par des variations des valeurs hémodynamiques inférieures à 10 % (fréquence cardiaque, débit cardiaque, Svo₂ et pression artérielle moyenne) avec une température > 36,5°C. Avant la mise en place, chaque CAP a été calibré *in vitro* en suivant les recommandations du constructeur. Une radiographie pulmonaire a été effectuée afin de déterminer la position correcte du tube endotrachéal, du CAP, de la voie centrale, et des drains chirurgicaux. Par ailleurs, elle permettait de vérifier l'absence d'épanchements pleuraux ou de pneumothorax. Le bon positionnement du CAP au niveau de l'artère pulmonaire (Zone III de West) a été vérifié moyennant les critères de Teboul *et coll.*⁹ Pendant toute la période, les soins prodigués aux patients et les aspirations du tube endotrachéal ont été tolérées, si nécessaires, mais ont été suspendues pendant la période d'étude du protocole.

FIGURE 1A Régression linéaire entre la S_{vo_2} mesurée *in vivo* (CS_{vo_2}) par cathéter et la S_{vo_2} mesurée *in vitro* simultanément par un hémoxymètre à partir d'un échantillon sanguin prélevé dans l'artère pulmonaire. Les lignes en pointillé représentent l'intervalle de confiance (95 %).

Le protocole d'étude

Après s'être assuré de la bonne position du CAP,⁹ sa calibration *in vivo* est effectuée en suivant les recommandations du constructeur. Pour chaque mesure comparative, des échantillons sanguins ont été prélevés simultanément au niveau de l'artère pulmonaire. Chaque prélèvement était fait minutieusement, après une purge de 4 mL et une vitesse d'aspiration très lente afin d'éviter une artérialisation du sang. Tous les échantillons sanguins, ont été prélevés en anaérobiose et analysés immédiatement par un hémoxymètre (Statprofile Ultra, Nova biomedical, Waltham, USA). D'après les données du constructeur, la précision de l'hémoxymètre mesurée en inter-essai sur 20 analyses consécutives est de 1,0 %. La même précision mesurée à raison d'un dosage par jour sur 20 jours est de 1,5 %. Ces mesures ont été validées sur des échantillons de valeurs allant de 30 à 100 %. Cinquante-six mesures simultanées de S_{vo_2} continue (CS_{vo_2}) et de S_{vo_2} mesurée (MS_{vo_2}) ont donc été effectuées.

Analyse statistique

Les résultats sont exprimés en moyennes $\pm$ écart type (ET). Les valeurs de CS_{vo_2} et de MS_{vo_2} ont été corrélées par une régression linéaire. L'analyse de Bland-Altman¹⁰ a été utilisée afin d'estimer le biais moyen entre les deux méthodes. Pour que les deux mesures soient interchangeables, nous avons déterminé, *a priori*,

FIGURE 1B Analyse de Bland-Altman comparant la relation liant S_{vo_2} mesurée *in vivo* (CS_{vo_2}) par cathéter et la S_{vo_2} mesurée *in vitro* simultanément par un hémoxymètre à partir d'un échantillon sanguin prélevé dans l'artère pulmonaire. La ligne en trait plein indique la différence moyenne entre les deux mesures (biais). Les lignes interrompues représentent 2 déviations standards (SD). Les cercles correspondent au nombre de mesures = 56. La zone hachurée correspond à la différence jugée acceptable cliniquement permettant de supporter la conclusion que les deux méthodes sont interchangeables. Notez que 20/56 mesures (36 %) sont en dehors de la zone acceptable (hachurée).

une limite maximale de 3 % (environ 5 % de la mesure) comme différence acceptable entre les deux méthodes,¹¹ permettant de ne pas modifier la prise en charge clinique du patient. L'analyse statistique a été effectuée grâce au logiciel Graph Pad Prism (Graph pad software V3, San Diego, CA, USA). La valeur $P < 0,05$ a été considérée comme statistiquement significative.

Résultats

Quatorze patients (âge, 64 ± 8) ont été inclus dans l'étude. La surface corporelle moyenne était de $1,9 \pm 0,17$ m². La fraction d'éjection préopératoire moyenne était de 63 ± 9 %. En moyenne $2,4 \pm 0,9$ ponts coronaires ont été réalisés. Les temps moyens de CEC et de clampage aortique étaient de 104 ± 40 et 70 ± 32 min respectivement. L'infusion de catécholamines a été nécessaire chez quatre patients pour le sevrage de la CEC (dobutamine, $n = 1$ et épinephrine, $n = 3$). Lors des mesures de S_{vo_2} , la température moyenne était de $37 \pm 0,7^\circ\text{C}$, le taux d'hémoglobine moyen de $9,9 \pm 1,3$ g·dL⁻¹, d'hématocrite moyen de $29,8 \pm 3,6$ % et l'index cardiaque de $2,8 \pm 0,13$. Cinquante-six mesures simultanées de CS_{vo_2} et de MS_{vo_2} ont été effectuées (quatre mesures par patient). Toutes les mesures ont été faites dans les quatre heures suivant la mise en place du

FIGURE 2A Régression linéaire entre la Svo₂ mesurée *in vivo* (CSvo₂) par cathéter et la Svo₂ mesurée *in vitro* simultanément par un hémoxymètre à partir d'un échantillon sanguin prélevé dans l'artère pulmonaire, pour des valeurs de CSvo₂ ≤ 65 %. Les lignes en pointillé représentent l'intervalle de confiance (95 %).

cathéter et les six heures ayant suivi la fin de la CEC (extrêmes huit heures et quatre heures). L'intervalle entre deux mesures successives était de 30 min.

Les valeurs moyennes de CSvo₂ et de MSvo₂ étaient de 70 ± 6 (extrêmes, 57–77 %) et 69 ± 5 % (extrêmes, 55,9–75 %) respectivement. Les résultats de la régression linéaire objectivent que CSvo₂ est faiblement corrélée à MSvo₂ avec un coefficient de corrélation $r^2 = 0,49$ ($P < 0,001$) (Figure 1A). L'analyse de Bland-Altman objective un biais moyen de 0,8 % avec un intervalle de confiance de -5,2 % à +6,8 % (Figure 1B). Néanmoins, comme indiqué sur cette dernière figure, 36 % des mesures (20/56) sont en dehors de la zone souhaitable (zone où les différences mesurées entre les deux méthodes sont cliniquement acceptables). De plus, il n'existe aucune corrélation significative entre CSvo₂ et MSvo₂, lorsque l'analyse porte sur 14 valeurs de Svo₂ ≤ 65 % (Figure 2A) avec, lors de l'analyse de Bland-Altman, un biais moyen de -2 % et un intervalle de confiance de -16 % à +12 % (Figure 2B). De façon similaire, sur cette même figure 57 % des mesures (8/14) sont en dehors de la zone souhaitable. Donc, dans les conditions de cette étude les valeurs mesurées de CSvo₂ et MSvo₂ ne sont pas interchangeables.

Discussion

Le premier objectif de cette étude était de tester la concordance entre la mesure continue de Svo₂ par un PAC à fibres optiques et la mesure de Svo₂ par un

FIGURE 2B Analyse de Bland-Altman comparant la relation liant Svo₂ mesurée *in vivo* (CSvo₂) par cathéter et la Svo₂ mesurée *in vitro* simultanément par un hémoxymètre à partir d'un échantillon sanguin prélevé dans l'artère pulmonaire, pour des valeurs de CSvo₂ ≤ 65 %. La ligne en trait plein indique la différence moyenne entre les deux mesures (biais). Les lignes interrompues représentent 2 déviations standards (SD). Les cercles correspondent au nombre de mesures = 14. La zone hachurée correspond à la différence jugée acceptable cliniquement permettant de supporter la conclusion que les deux méthodes sont interchangeables. Notez que 8/14 mesures (57 %) sont en dehors de la zone acceptable (hachurée).

appareil de référence (co-oxymètre), chez des patients en phase postopératoire d'une chirurgie cardiaque avec CEC et après leur réchauffement. Les résultats de ce travail objectivent que CSvo₂ est faiblement corrélée à MSvo₂ avec une dispersion importante, un intervalle de confiance assez large (ET = 3 %) et 36 % des mesures (20/56) en dehors de la zone de différence cliniquement acceptable. De plus, quand on compare les deux méthodes pour les valeurs de Svo₂ ≤ 65 %, les deux mesures ne sont ni corrélables ($P = NS$) ni interchangeables (ET = 7 %, pour une limite maximale de 3 %).

Après la CEC, la surveillance de la Svo₂ en continu permet de suivre de manière immédiate l'efficacité de la réponse au remplissage vasculaire, de la mise en place d'un traitement inotrope positif et/ou de l'intérêt d'un entraînement électro-systolique ventriculaire ou séquentiel.¹² Aussi, lors des premières heures postopératoires la surveillance continue de la Svo₂ permet de diagnostiquer rapidement une hémorragie non extériorisée ou une tamponnade ou de monitorer minutieusement la période post-extubation.¹³ De plus, chez les patients insuffisants cardiaques en stade III et IV de la classe NYHA, on peut raisonnablement penser que ce monitoring soit vraiment utile.¹⁴ Par ailleurs, la présence d'une fuite tricuspidiennne ou d'une arythmie par fibrillation auriculaire rendant les

mesures de débit cardiaque par thermodilution très dispersées,¹⁵ la CSvo₂ devient un indicateur indispensable de la situation hémodynamique de certains patients après une chirurgie avec CEC.

Néanmoins, à notre connaissance, aucun travail n'a examiné la corrélation entre la mesure CSvo₂ moyennant un CAP à fibres optiques et MSvo₂, chez des patients adultes, dans les suites opératoires d'une CEC. En effet, bien que Pond *et coll.*, aient étudié la corrélation de CSvo₂ et MSvo₂ dans les suites d'une chirurgie cardiaque avec CEC, leurs résultats ($r^2 = 0,83$ avec biais = $-1,7 \pm 3,51$ %) associaient des mesures faites avant, pendant et après CEC⁷ (avec aucune données du sous-groupe post-CEC). De plus, dans cette dernière étude, aucune limite maximale comme différence acceptable entre les deux méthodes¹¹ n'a été définie pour juger que les deux mesures étaient interchangeables.

La seule étude ayant étudié la corrélation entre MSvo₂ et CSvo₂ après CEC a été faite chez des enfants. En effet, Schranz *et coll.*,¹⁶ étudiant 16 enfants, trouvaient une corrélation entre MSvo₂ et CSvo₂ avec $r^2 = 0,72$. Néanmoins, dans cette étude, la précision de la mesure continue de Svo₂ n'a pas été mesurée, ni le biais calculé par la méthode de Bland-Altman.¹⁰ Paradoxalement, les résultats de la présente étude, objectivent un coefficient de corrélation plus faible ($r^2 = 0,49$) et soulignent l'absence de toute concordance entre les mesures de CSvo₂ et de MSvo₂. De plus, en dessous de 65 % de Svo₂, la discordance entre ces deux mesures est accentuée. Ces résultats sont importants car la Svo₂ optimale recommandée chez les patients dans les premières heures postopératoires est autour de 65 %.¹⁴ L'absence d'interchangeabilité entre ces deux méthodes de mesures, nous pousse à trouver l'explication dans les effets de la CEC et de la période de réchauffement postopératoire. Par ailleurs, la tentation d'expliquer la faible corrélation obtenue dans notre étude par l'hémodilution est récusée par plusieurs travaux.^{6,13} En effet, van Woerkens *et coll.*,¹⁷ investigant l'effet de la variation de l'hématocrite sur la précision de la mesure de CSvo₂ ont démontré la fiabilité de cette mesure dans les conditions d'hémodilution. Enfin, Waller *et coll.*⁶ ont évalué la corrélation de la mesure continue de Svo₂ par cathéter à fibres optiques avec la mesure par co-oxymétrie chez 13 patients durant une CEC et ont trouvé un lien étroit entre les deux méthodes ($r^2 = 0,85$, $P < 0,0001$), mais ceci dans le contexte d'un débit cardiaque plus bas et d'une hypothermie.

Les autres hypothèses pouvant expliquer nos résultats seraient une variabilité excessive de la mesure par CAP due à une modification du signal suite à la mobilité de la distalité du cathéter qui s'applique contre la

paroi. Le positionnement du CAP au niveau de l'artère pulmonaire (Zone III de West) bien que vérifié moyennant des critères validés⁹ pourrait être à l'origine de prélèvements sanguins inadéquats (sur oxygénés, Zone II de West) pour la mesure par co-oxymétrie. De façon similaire, un CAP en position bloquée (Wedge) peut être à l'origine d'un prélèvement sanguin artérialisé. Finalement, l'hypothèse d'une pauvre fiabilité ou précision de l'hémoxymètre, même si elle n'est pas exclue, semble peu probable au vu des données du constructeur (voir méthodes).

Conclusion

Dans les conditions de notre étude, la mesure continue de Svo₂ par un cathéter à fibres optiques dans les suites d'une CEC ne concorde pas avec la mesure obtenue par co-oxymétrie. Plus spécialement pour des valeurs de Svo₂ ≤ 65 %, la discordance semble s'intensifier. Les deux mesures ne sont donc pas interchangeables et les valeurs absolues de Svo₂ mesurées en continu par CAP, notamment quand ces dernières deviennent basses, ne peuvent être acceptées car pouvant faire modifier la prise en charge clinique et thérapeutique du patient de son sens optimal. Ces données suggèrent de réaliser d'autres études, sur de plus grands échantillons de patients, afin de confirmer ces résultats et de comprendre les phénomènes physiopathologiques à l'origine de l'absence de concordance entre les deux méthodes dans les suites immédiates d'une CEC.

Références

- 1 Nelson LD. Continuous venous oximetry in surgical patients. *Ann Surg* 1986; 203: 329-33.
- 2 Shenaq SA, Casar G, Chelly JE, Ott H, Crawford ES. Continuous monitoring of mixed venous oxygen saturation during aortic surgery. *Chest* 1987; 92: 796-9.
- 3 Powelson JA, Maini BS, Bishop RL, Sottile FD. Continuous monitoring of mixed venous oxygen saturation during aortic operations. *Crit Care Med* 1992; 20: 332-6.
- 4 Munro HM, Wood CE, Taylor BL, Smith GB. Continuous invasive cardiac output monitoring—the Baxter/Edwards Critical-Care Swan Ganz IntelliCath inverted question mark and Vigilance inverted question mark system. *Clin Intensive Care* 1994; 5: 52-5.
- 5 Boutros AR, Lee C. Value of continuous monitoring of mixed venous blood oxygen saturation in the management of critically ill patients. *Crit Care Med* 1986; 14: 132-4.
- 6 Waller JL, Kaplan JA, Bauman DI, Craver JM. Clinical evaluation of a new fiberoptic catheter oximeter during cardiac surgery. *Anesth Analg* 1982; 61: 676-9.

- 7 Pond CG, Blessios G, Bowlin J, McCawley C, Lappas DG. Perioperative evaluation of a new mixed venous oxygen saturation catheter in cardiac surgical patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1992; 6: 280–2.
- 8 Ramsay MA, Savege TM, Simpson BR, Goodwin R. Controlled sedation with alphaxalone-alphadolone. *Br Med J* 1974; 2: 656–9.
- 9 Teboul JL, Besbes M, Andrivet P, *et al.* A bedside index assessing the reliability of pulmonary artery occlusion pressure measurements during mechanical ventilation with positive end-expiratory pressure. *J Crit Care* 1992; 7: 22–9.
- 10 Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 1: 307–10.
- 11 Hardy JF, Belisle S, Gravel N. Incorrect analysis of data leads to incorrect conclusions. *Can J Anaesth* 1997; 44: 786–7.
- 12 Divertie MB, McMichan JC. Continuous monitoring of mixed venous oxygen saturation. *Chest* 1984; 85: 423–8.
- 13 Jamieson WR, Turnbull KW, Larrieu AJ, Dodds WA, Allison JC, Tyers GF. Continuous monitoring of mixed venous oxygen saturation in cardiac surgery. *Can J Surg* 1982; 25: 538–43.
- 14 Videcoq M, Desmots JM. What part can mixed venous blood saturation monitoring play in cardiac surgery? (French). *Ann Fr Anesth Reanim* 1989; 8: 696–702.
- 15 Jardin F. PEEP, tricuspid regurgitation, and cardiac output. *Intensive Care Med* 1997; 23: 806–7.
- 16 Schranz D, Schmitt S, Oelert H, *et al.* Continuous monitoring of mixed venous oxygen saturation in infants after cardiac surgery. *Intensive Care Med* 1989; 15: 228–32.
- 17 van Woerkens EC, Trouwborst A, Tenbrinck R. Accuracy of a mixed venous saturation catheter during acutely induced changes in hematocrit in humans. *Crit Care Med* 1991; 19: 1025–9.