



Monitoring du transport artériel en oxygène sous circulation extra-corporelle: quelle implication sur la morbi- mortalité postopératoire ?

Oxygen delivery monitoring under cardiopulmonary bypass: what implication on postoperative morbidity and mortality?

Mouna Bousnina¹, Amine Jemel², Khediya Soumer¹, Tarek Sendi³, Sonia Ouerghi⁴, Adel Marghli¹

1-Service de chirurgie thoracique et cardiovasculaire Hôpital Abderrahmen Mami Ariana / université Tunis El Manar/Faculté de Médecine de Tunis

2- Service de chirurgie thoracique et cardiovasculaire Hôpital Abderrahmen Mami Ariana /Université de Sfax Faculté de Médecine de Sfax

3- Service de chirurgie thoracique et cardiovasculaire Hôpital Abderrahmen Mami Ariana / Université de Monastir Faculté de médecine de Monastir

4- Service d'Anesthésie réanimation hôpital Abderrahmen Mami Ariana / Université de Tunis el Manar /Faculté de Médecine de Tunis

RÉSUMÉ

Introduction : Les paramètres de pilotage standards de la circulation extracorporelle (CEC) utilisés actuellement en Tunisie sont remplacés dans les pays occidentaux par le concept de « goal-directed-perfusion » exigeant un transport artériel en oxygène (TaO₂) minimal à 270ml/min/m².

Objectif : Etudier si les objectifs de perfusion au cours de la CEC sont satisfaisants en étudiant le TaO₂ chez nos malades.

Méthodes : C'est une étude observationnelle transversale et rétrospective étudiant une série de 50 patients opérés pour une revascularisation myocardique sous CEC.

Résultats : Nous avons remarqué une corrélation significative entre le TaO_{2i} départ et la Clcréat à j0, la Δcréat (j1-j0) et la durée de ventilation. Nous avons aussi noté une corrélation significative entre le TaO_{2i} de sortie et la diurèse à j0, la durée de ventilation, la durée d'hospitalisation et la mortalité hospitalière. A travers une étude univariée, nous avons comparé les paramètres classiques de surveillance de perfusion au cours de la CEC en plus du TaO_{2i} départ avec les différents résultats postopératoires. Nous avons remarqué que les chiffres du TaO_{2i} départ au-dessous du seuil de 270ml/min/m² ont été corrélés significativement avec la durée d'administration des catécholamines en post opératoire, avec la ventilation prolongée, avec la variation de la créatininémie en postopératoire et avec la mortalité hospitalière.

Conclusion : Le TaO₂ est un outil de surveillance qui a prouvé ses avantages pour le monitoring de la perfusion sous CEC.

Mots-clefs : Chirurgie cardiaque – circulation extracorporelle – réanimation cardiaque

SUMMARY

Introduction: The standard control parameters of cardiopulmonary bypass (CPB) currently used in Tunisia are replaced in Western countries by the concept of «goal-directed-perfusion» requiring oxygen delivery (DO₂) minimum at 270ml / min / m².

Aim: In this study, we explored the association between the DO₂ and the postoperative morbidity and mortality.

Methods: This is a cross-sectional and retrospective observational study including a series of 50 patients operated on for myocardial revascularization under CPB.

Results: We noticed a significant correlation between starting DO_{2i} and Creatinine clearance at day 0, Δcreate (day 1-day 0) and ventilation time. There was also a significant correlation between discharge DO_{2i} and daytime urine output, ventilation time, hospital stay and in-hospital mortality. Through a univariable study, we compared the classic parameters of perfusion monitoring during CPB in addition to the starting DO_{2i} with the different postoperative results. It was noted that the starting DO_{2i} figures below the threshold of 270ml / min / m² were significantly correlated with the duration of administration of catecholamines postoperatively, with prolonged ventilation, with the variation in serum creatinine postoperatively and with in-hospital mortality.

Conclusion: DO₂ is a monitoring tool that has proven its advantages for monitoring under CPB.

Key-words: Cardiac surgery - extracorporeal circulation – cardiac resuscitation

Correspondance

Mouna Bousnina

Service de chirurgie thoracique et cardiovasculaire Hôpital Abderrahmen Mami Ariana / université Tunis El Manar/Faculté de Médecine de Tunis

E-mail : bousnina.mouna@gmail.com

INTRODUCTION

La circulation extracorporelle (CEC) est une technique qui a permis le développement de la chirurgie cardiaque. Elle permet de suppléer les principales fonctions du cœur et des poumons ; l'oxygénation du sang et sa circulation afin d'oxygéner les différents tissus de l'organisme. L'hypoxie tissulaire au cours de la chirurgie cardiaque est un important facteur prédictif de défaillance multi viscérale qu'elle soit secondaire au bas débit de perfusion ou à la réaction inflammatoire de la CEC (1,2). Dans le but d'éviter cette hypoxie, plusieurs paramètres standard permettent de vérifier l'état de perfusion périphérique lors d'une CEC. Néanmoins, aucun de ces paramètres n'a été corrélé aux complications post-opératoires jusqu'à l'étude de De Somer (3) qui a identifié le transport artériel en oxygène (TaO₂) comme un facteur indépendant prédictif d'insuffisance rénale aigue post-CEC. En effet, au-dessous d'un TaO₂ indexé (TaO_{2i}) de 262 ml/min/m², l'apport d'O₂ n'est plus garanti et l'ATP est produite par un métabolisme anaérobie induisant la production de lactates (2). L'objectif de notre étude est d'analyser la corrélation entre le taux de TaO₂ et les complications post-opératoires sur une population de patients tunisiens opérés sous CEC.

METHODES

Type de l'étude :

C'est une étude observationnelle transversale menée sur une période de 3 ans entre le mois de janvier 2014 et le mois de décembre 2016. Nous avons rétrospectivement colligé 50 patients opérés pour une revascularisation myocardique sous CEC au service de chirurgie thoracique et cardiovasculaire de l'Hôpital Abderrahmen Mami de l'Ariana.

Population

Les critères d'inclusion : nous avons inclus tous les malades opérés entre le mois de janvier 2014 et le mois de décembre 2016 pour une revascularisation chirurgicale du myocarde sous CEC.

Les critères de non inclusion : nous n'avons inclus ni les malades ayant eu des gestes combinés (une chirurgie carotidienne ou une chirurgie valvulaire) ni ceux opérés à cœur battant. Nous avons exclu tout malade dont le dossier renferme des données manquantes indispensables aux statistiques.

Technique chirurgicale :

Tous les patients ont été opérés sous anesthésie générale. Après une sternotomie médiane verticale, une CEC a été installée entre une canule artérielle au niveau de l'aorte ascendante et une canule veineuse atrio-cave. Le priming de la pompe de CEC comportait 1500 ml composés par : un litre de sérum physiologique, 500ml de bicarbonate à 14% et 5000 UI d'héparine non fractionnée. Une héparinisation générale à la dose de 3mg/kg a été administrée avec comme objectif un ACT (activating clotting time) supérieur à 400 sec. La CEC s'est déroulée en normo thermie et la protection myocardique a été assurée par une solution de cardioplégie au sang froid par voie antérograde et renouvelée après chaque anastomose coronaire distale. La neutralisation de l'héparine en fin de CEC par de la protamine a été faite dose par dose.

Définitions - Collecte de données

Nous avons recueilli les données démographiques des patients, les facteurs de risque cardiovasculaire ainsi que les données des examens clinique et paracliniques.

Le protocole de monitoring de la perfusion tissulaire au cours de la CEC a été élaboré selon les conditions du laboratoire de l'hôpital (manque de réactifs). Ce protocole renferme : un bilan initial fait 10 minutes après le départ de la CEC comportant une NFS, un ionogramme sanguin, des GDS artériel et veineux et un taux de lactates et un bilan final au déclantage aortique. Avant l'arrêt de la CEC, un deuxième bilan est réalisé composé par une NFS, des GDS artériels et un ionogramme sanguin.

Nous avons aussi recueilli les paramètres peropératoires de la CEC et du geste opératoire ainsi que les paramètres cliniques et paracliniques postopératoires.

A partir de toutes ces données fournies, nous avons pu calculer le TaO₂ en deux temps : au départ de la CEC et au déclantage aortique. Par définition, le TaO₂ est la quantité d'oxygène que le ventricule gauche fournit chaque minute à la circulation artérielle.

Le calcul du TaO₂ a été fait selon la formule suivante :
 $TaO_2 = DC \times 1.39 \times Hb \times SaO_2$

Où DC est égal au débit de la pompe de CEC.

Analyse statistique :

Les données ont été analysées par le logiciel SPSS 23.0. Les variables quantitatives ont été comparées par le test de Student et les variables qualitatives par les tests de Chi-2 ou par le test exact de Fischer pour les effectifs inférieurs à 5. L'intervalle de confiance est de 95 % et le seuil de significativité est défini par $p < 0,05$.

RESULTATS**Résultats préopératoires :**

L'échantillon renferme 50 patients avec une médiane d'âge à 61,72 ans. La majorité des patients est de sexe masculin (sexe ratio= 0.78), tabagique (70%) et hypertendu (58%). Le tiers des patients est diabétiques type II, dyslipidémique et obèse. Plus de détails sont illustrés dans le tableau 1.

Tableau 1 : les résultats descriptifs préopératoires :

	Nombre N=50	% ou extrêmes
Sexe masculin	39	78%
Age en années (médiane)	61.72	[42 – 85]
HTA	29	58%
Diabète I	8	16%
Diabète II	17	34%
Tabac	35	70%
Dyslipidémie	14	28%
IMC>30	16	32%
SC	1,82	[1,36-2,34]
Cl créat en ml/mn (médiane)	88.5	[20 – 188]
Cl créat<60ml/mn	8	16%
BPCO	1	2%
AVC	2	4%
IDM	22	44%
ACFA	2	4%
FEVG en % (médiane)	54	[38 – 75]
EuroSCORE II (médiane)	1.36	[0.5 – 9.29]

Résultats per-opératoires :

Au cours de la CEC, une PAM aux alentours de 72,5 mm Hg a été maintenue avec un débit indexé de perfusion à 2,36 l/min/m². Un seul malade a eu un TaO₂ indexé de départ inférieur à 270 ml/min/m², et un autre a eu une SvO₂ inférieure à 70%. Quatre malades ont eu un taux de lactates de départ supérieur à 2 mmol/l. En fin de la CEC, 14% des patients ont présenté des valeurs de TaO₂i <270 ml/mn/m². Le tableau 2 illustre plus de détails concernant les paramètres descriptifs peropératoires.

Tableau 2 : Les résultats descriptifs peropératoires :

	Nombre N=50	% ou extrêmes
PAM en mmHg (médiane)	72.5	[70 – 80]
Débit de CEC indexé en l/mn/m ² (médiane)	2.36	[2.34 – 2.4]
TaO ₂ i départ en ml/mn (médiane)	355	[329 – 389]
TaO ₂ i départ <270ml/mn	1	2%
Hb départ (moyenne)	10,3	[6,6 – 13,9]
Hte départ (moyenne)	30,5	[19 – 40]
SvO ₂ départ (médiane)	89.5	[86 – 92]
SvO ₂ départ <70%	1	2%
Lactates départ (médiane)	1.7	[1.3 – 2.2]
Lactates départ>2 mmol/l	4	8%
Nombre de greffons (médiane)	3	[2 – 3]
Temps de clampage en mn (médiane)	85	[63.75 – 92]
Temps de CEC en mn (médiane)	120	[96.75 – 155]
Transfusion per CEC	3	6%
Catécholamines au sevrage de la CEC	34	68%
BCPIA au sevrage de la CEC	2	4%
Transfusion à l'arrêt de la CEC	25	50%
Hb en fin de la CEC (moyenne)	9,6	[5 – 13,2]
Hte en fin de la CEC (moyenne)	28,62	[13,6 – 38]
TaO ₂ i en fin de la CEC en ml/mn (médiane)	337.6	[298 – 368]
TaO ₂ i en fin de CEC <270 ml/mn	7	14%
Diurèse per CEC en ml (médiane)	700	[500 – 1125]

Résultats post-opératoires

Sept patients (14%) avaient une clairance de créatinine inférieure à 60 ml/min mais aucun n'a eu recours à la dialyse en postopératoire. Trois patients sont décédés durant la période post-opératoire immédiate, soit une mortalité hospitalière de 6%. Tous ces patients ont été de sexe féminin, avaient une clairance de créatinine pré-opératoire <60ml/min et un euroSCORE II >2,5%. Les causes de décès ont été : un bas débit cardiaque avec une défaillance multiviscérale chez deux patientes et un état de choc septique à point de départ pulmonaire chez l'autre patiente. Le tableau 3 décrit en détails les données post-opératoires.

Tableau 3 : Les résultats descriptifs postopératoires :

	Nombre N=50	% ou extrêmes
Catécholamines	27	54
Durée de catécholamines en jours (médiane)	1	[0 – 2]
ACFA	4	8
BAV	1	2
IVG	8	16
BCPIA	2	4%
Durée de ventilation en heure (médiane)	3	[2 – 5]
Ventilation>48h	1	2
AVC	0	0
Lactates J0 (médiane)	2.6	[2.3 – 4]
Lactates j0 > 4 mmol/l	6	12
Clcreat j0	97,6	[24 – 230]
Cl créat<60ml/mn	7	14
Δcréat j1-0 (médiane)	10.5	[2.5 – 23]
Diurèse j0 (ml)	1363	[100 – 2900]
Transfusion	26	52
Reprise	1	2
Pneumopathie infectieuse	5	10
Médiastinite	1	2
Durée d'hospitalisation en j (médiane)	8	[7 – 9]
Décès	3	6

Etude analytique :

Nous avons étudié la variable TaO2i de départ et celle de la fin de la CEC en faisant la corrélation avec les différents paramètres de surveillance postopératoire.

Nous avons remarqué une corrélation significative entre le TaO2i départ et la Clcréat à j0 (p=0,032), la Δcréat (j1-j0) (p=0,021) et la durée de ventilation (p=0,006) (Tableau 4)

Nous avons aussi noté une corrélation significative entre le TaO2i de sortie et la diurèse à j0 (p=0,026), la durée de ventilation (p=0,038) et la mortalité hospitalière (p=0,011).

Tableau 4 : Etude univariée entre le TaO2i et les paramètres de surveillance postopératoire.

	Médiane ou n (%)	TaO2i départ Valeur de p	TaO2i sortie Valeur de p
Diurèse per CEC (ml)	700	0.654	0.555
Clcréat j0 (ml/min)	88.6	0.032	0.230
Diurèse j0 (ml)	1350	0.307	0.026
Δcréat (j1-j0)	10.5	0.021	0.092
Catécholamines po	27 (54%)	0.676	0.665
Durée de catécholamines (j)	1	0.165	0.148
Durée de ventilation (h)	3	0.006	0.038
AVC	0	-	-
Pneumopathie	5 (10%)	0.115	0.538
Médiastinite	1 (2%)	0.690	0.934
Durée d'hospitalisation (j)	8	0.328	0.056
Décès	3 (6%)	0.197	0.011

Au départ de la CEC, les paramètres utilisés pour vérifier la bonne perfusion ont été : le taux d'Hb, le taux de lactates et la SvO2 de départ. A travers une étude univariée, nous avons étudié la corrélation entre ces différents paramètres associés au TaO2i de départ et les paramètres postopératoires recueillis (tableau 5).

Nous avons remarqué que les chiffres de lactates et/ou de SvO2 en dehors des normes, n'ont pas été corrélés avec des complications postopératoires de façon significative. Alors que les chiffres du TaO2i de départ au-dessous du seuil de 270ml/min/m² ont été corrélés significativement avec la durée d'administration des catécholamines

en post opératoire ($p < 0,001$), avec la ventilation prolongée ($p = 0,02$) et la variation de la créatininémie en postopératoire ($p = 0,02$).

Tableau 5 : Les degrés de corrélation entre les paramètres de surveillance et les complications postopératoires.

	TaO ₂ i départ <270ml/mn/ m ² Valeur de p	Lactates départ >2mmol/l Valeur de p	SvO ₂ départ<70% Valeur de p
Catécholamines en postopératoire	1	0.559	1
Durée de catécholamines	0.000	0.211	0.943
Ventilation>48h	0.02	-	1
Δcréat (j1-j0)	0.001	0.843	0.718
AVC	-	-	-
Pneumopathie infectieuse	0.1	1	1
Médiastinite	1	-	1
Durée d'hospitalisation	0.412	0.587	0.820
Décès	0.06	0.308	1

DISCUSSION

Cette étude rétrospective a montré une corrélation significative entre le TaO₂i de départ et les marqueurs de la fonction rénale. Nous avons aussi montré une corrélation significative entre TaO₂i de sortie, et la durée de ventilation et la mortalité hospitalière.

Nous avons mis en évidence qu'un TaO₂i <270ml/mn/m² est un facteur prédictif de complications postopératoires tels que la durée d'utilisation des catécholamines, la ventilation prolongée, la Δcréat ($p < 0,05$), alors que le taux élevé de lactates ou les SvO₂ basses n'ont été corrélés significativement à aucune des complications postopératoires.

La physiopathologie du transport artériel en oxygène (TaO₂) :

Ronco et al (4) ont mis en évidence une relation biphasique entre le TaO₂ et la consommation d'O₂ (VO₂). Tant que le TaO₂ est supérieur au seuil critique, la VO₂ reste stable, l'aérobiose est conservée et le taux de lactates est bas. Si le TaO₂ chute en dessous d'un seuil critique, une dysoxie cellulaire s'installe et les lactates augmentent avec une chute de la SvO₂.

Les paramètres classiques de surveillance sous CEC

Hall (5) a conclu dans son travail qu'un taux extrêmement bas de SvO₂ signifie un risque élevé, sinon réel, d'hypoxie tissulaire. Par ailleurs, un taux élevé ou normal de SvO₂ ne garantit pas l'absence d'une hypoxie tissulaire régionale, ou, dans le cadre d'un sepsis, d'un dysfonctionnement progressif de tissu en l'absence d'hypoxie.

Cela peut s'expliquer par le fait que la SvO₂ est un paramètre composite qui varie en fonction de la SaO₂, de la VO₂, du débit cardiaque et de l'Hb. Ces différents facteurs varient considérablement sous CEC du fait de l'hémodilution et des variations de la volémie.

D'autre part, Della Rocca et al (6) ont affirmé que la SvO₂ et le taux de lactates représentent l'expression du bas débit déjà installé et non instantané, et donnent des informations tardives concernant la consommation et le transport d'oxygène.

L'hyperlactatémie au cours de la CEC est multifactorielle. Elle peut être le reflet d'une dysoxie cellulaire en rapport avec l'hémodilution ou un TaO₂ bas. Cependant, l'hyperlactatémie peut être secondaire à une hyperglycémie, une insuffisance cardiaque préopératoire et une chirurgie cardiaque urgente (7). Dans notre étude, nous n'avons pas retrouvé une corrélation entre la SvO₂ ou les lactates et les complications postopératoires. Ceci peut être dû au nombre de patients de notre échantillon ne permettant pas une analyse multivariée.

L'évolution du TaO₂ sous CEC :

Le monitoring du TaO₂ au cours de la CEC et sa corrélation avec la morbi-mortalité postopératoire ont largement été étudiés (3,4,8,9). Au cours des dernières années, un grand nombre d'auteurs a souligné la relation entre le taux le plus bas d'hématocrite pendant la CEC

et l'insuffisance rénale postopératoire. Marco Ranucci et al (9) ont mené une étude prospective incluant 1048 patients opérés pour une revascularisation myocardique sous CEC et ont retrouvé que le meilleur facteur prédictif de l'insuffisance rénale aiguë et l'augmentation du taux de la créatinine sanguine est un TaO₂ bas avec une valeur critique à 260ml/min/m². Le plus bas taux d'hématocrite a été aussi un facteur de risque indépendant avec une valeur prédictive basse à partir de 23.5%. Une fois corrigée par la transfusion, il ne reste que le TaO₂ et donc le débit de pompe comme facteur de risque indépendant. Ranucci rajoute que, le fait que le faible taux d'hématocrite durant la CEC peut induire une altération de la fonction rénale et laisse peu de stratégies possibles pour sa préservation. Il préconise un priming rétrograde, si possible, ou la transfusion de produits sanguins avant ou durant la CEC sans négliger les dégâts que peut causer la transfusion sur le rein lui-même. Par contre, si nous considérons que le TaO₂ est notre objectif, d'autres options seront disponibles : le débit de la pompe peut être augmenté jusqu'à avoir un TaO₂ > 270-280 ml/min/m². Si le TaO₂ baisse au-dessous de 270ml/min/m², le patient aura un risque élevé de dialyse pour insuffisance rénale aiguë quel que soit le taux d'hématocrite. Si le TaO₂ est maintenue dans les normes, le risque de dialyse reste faible quel que soit le taux d'hématocrite. Néanmoins, maintenir un débit élevé de pompe n'est pas toujours possible. Dans ce cas, nous pouvons diminuer les besoins métaboliques en refroidissant le malade. Cette solution théorique n'a pas été démontrée en pratique par les travaux qui ont étudié l'altération de la fonction rénale en fonction de la température (10).

Dans une étude comparative comprenant un 1^{er} groupe ayant développé une défaillance rénale après une chirurgie cardiaque et un 2^{ème} groupe témoin, J. Trent Magruder et al (8) ont démontré que les patients du premier groupe présentaient une valeur minimale de TaO₂ plus faible (208 vs 230 ml / m², p = 0,03). L'analyse multivariée a prouvé qu'un TaO₂ au cours de la CEC < 225ml/min/m² est un facteur prédictif d'insuffisance rénale aiguë (p=0,01).

Ces résultats concordent avec les nôtres puisque nous avons retrouvé une corrélation entre le TaO_{2i} de départ et la Cl_{créat} et Δ_{créat} d'une part, et entre TaO₂ de sortie et la diurèse à j0 d'autre part. En plus, nous avons montré qu'une basse valeur du TaO_{2i} de départ est un facteur prédictif d'élévation de la créatinine en postopératoire.

En fait, le monitoring du TaO₂ s'intègre dans le concept «Goal-directed perfusion», introduit par Magruder et al. (11) : Le principe fondamental de la GDT (goal directed therapy) ou la GDP (goal directed perfusion) est d'optimiser la perfusion tissulaire à travers l'identification de paramètres physiologiques pertinents et la manipulation de ces paramètres pour arriver à cet objectif.

Kyriakos et al (12) ont mené une étude rétrospective, comparant deux groupes de patients opérés pour une revascularisation myocardique. Un premier groupe a été pris en charge en suivant les méthodes de surveillance classiques (PAM, PVC, SvO₂, lactates) et dans l'autre groupe, ils ont eu recours au protocole «Goal-directed perfusion». Les résultats ont montré une meilleure préservation des fonctions d'organes, une moindre production de lactates à la fin de la CEC, un moindre recours à la transfusion et une diminution significative de l'incidence de l'insuffisance rénale aiguë et d'AVC dans le groupe GDP monitoring.

Li P (13), dans une méta-analyse récente avec une revue de la littérature incluant 9 études et 1148 patients opérés pour différents types de chirurgie cardiaque, n'a pas révélé de différence significative entre le groupe GDT et le groupe contrôle concernant la mortalité (p=0,164), la durée de ventilation (p=0,099) et le séjour en soins intensifs (p=0,106). Par contre il a noté une différence significative entre les deux groupes pour le séjour hospitalier. Il a conclu qu'un meilleur équilibre hémodynamique facilite le rétablissement rapide en post opératoire.

Aya et al (14) dans une revue de la littérature incluant 5 essais randomisés et 699 patients opérés pour différents types de chirurgie cardiaque ont montré qu'il y'a une diminution significative des complications postopératoires (p=0,006) et du séjour hospitalier (p=0,003) entre le groupe GDT et le groupe contrôle sans qu'il y ait une différence significative concernant la mortalité.

Poonam et al (15) ont mené une étude multicentrique randomisée incluant 130 patients opérés pour une revascularisation myocardique sous CEC. Les patients ont été divisés en un groupe contrôle et un groupe GDT. La durée de ventilation, le séjour hospitalier et le séjour en réanimation ont été significativement moindre dans le groupe GDT. La durée de catécholamines a été moindre dans le groupe GDT mais la différence a été non significative.

CONCLUSIONS

De nombreuses études se sont intéressées au transport artériel en oxygène (TaO₂) dont la valeur critique au-dessous de 270ml/min/m² est fortement liée à une augmentation de la morbi-mortalité après une chirurgie cardiaque sous CEC. Plusieurs équipes ont adopté le protocole GDP et ont intégré le calcul instantané du TaO₂, de la VCO₂ et du rapport TaO₂/VO₂ dans les scopes de la pompe de la CEC.

Notre étude a pu confirmer la corrélation entre le taux de TaO₂ calculé et les complications postopératoires et prouvé que la plus basse valeur du TaO₂ est un facteur prédictif de complications en le comparant aux taux élevés de lactates et aux valeurs basses de la SvO₂.

Le TaO₂ est un outil de surveillance qui a prouvé ses avantages pour le monitoring de la perfusion sous CEC. Néanmoins, cette étude doit être complétée par une autre étude prospective multicentrique permettant une analyse multivariée.

Remerciements

Les auteurs remercient Dr BELLALI Hédia pour son assistance statistique.

RÉFÉRENCES

1. Ranucci M, De Toffol B, Isgrò G, Romitti F, Conti D, Vicentini M. Hyperlactatemia during cardiopulmonary bypass: determinants and impact on postoperative outcome. *Crit Care Lond Engl.* 2006;10(6):R167.
2. Ranucci M, Isgrò G, Romitti F, Mele S, Biagioli B, Giomarelli P. Anaerobic Metabolism During Cardiopulmonary Bypass: Predictive Value of Carbon Dioxide Derived Parameters. *Ann Thorac Surg.* juin 2006;81(6):2189-95.
3. de Somer F, Mulholland JW, Bryan MR, Aloisio T, Van Nooten GJ, Ranucci M. O₂ delivery and CO₂ production during cardiopulmonary bypass as determinants of acute kidney injury: time for a goal-directed perfusion management? *Crit Care.* 2011;15(4):R192.
4. Ronco JJ, Fenwick JC, Tweeddale MG, Wiggs BR, Phang PT, Cooper DJ, et al. Identification of the critical oxygen delivery for anaerobic metabolism in critically ill septic and nonseptic humans. *JAMA.* 13 oct 1993;270(14):1724-30.
5. Hall J. Mixed Venous Oxygen Saturation (SvO₂). In: *Functional Hemodynamic Monitoring.* Berlin: Springer-Heidelberg; 2005. p. 233-40. (Update in Intensive Care and Emergency Medicine.; vol. 42).
6. Della Rocca G, Pompei L. Goal-directed therapy in anesthesia: any clinical impact or just a fashion? *Minerva Anesthesiol.* mai 2011;77(5):545-53.
7. Demers P, Elkouri S, Martineau R, Couturier A, Cartier R. Outcome with high blood lactate levels during cardiopulmonary bypass in adult cardiac operation. *Ann Thorac Surg.* déc 2000;70(6):2082-6.
8. Magruder JT, Dungan SP, Grimm JC, Harness HL, Wierschke C, Castillejo S, et al. Nadir Oxygen Delivery on Bypass and Hypotension Increase Acute Kidney Injury Risk After Cardiac Operations. *Ann Thorac Surg.* nov 2015;100(5):1697-703.
9. Ranucci M, Romitti F, Isgrò G, Cotza M, Brozzi S, Boncilli A, et al. Oxygen delivery during cardiopulmonary bypass and acute renal failure after coronary operations. *Ann Thorac Surg.* déc 2005;80(6):2213-20.
10. Swaminathan M, East C, Phillips-Bute B, Newman MF, Reves JG, Smith PK, et al. Report of a substudy on warm versus cold cardiopulmonary bypass: changes in creatinine clearance. *Ann Thorac Surg.* nov 2001;72(5):1603-9.
11. Magruder JT, Crawford TC, Harness HL, Grimm JC, Suarez-Pierre A, Wierschke C, et al. A pilot goal-directed perfusion initiative is associated with less acute kidney injury after cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2017;153(1):118-125.e1.
12. Anastasiadis K, Antonitsis P, Deliopoulos A, Argiriadou H. A multidisciplinary perioperative strategy for attaining « more physiologic » cardiac surgery. *Perfusion.* sept 2017;32(6):446-53.
13. Li P, Qu L-P, Qi D, Shen B, Wang Y-M, Xu J-R, et al. Significance of perioperative goal-directed hemodynamic approach in preventing postoperative complications in patients after cardiac surgery: a meta-analysis and systematic review. *Ann Med.* 2017;49(4):343-51.
14. Aya HD, Cecconi M, Hamilton M, Rhodes A. Goal-directed therapy in cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth.* avr 2013;110(4):510-7.
15. Kapoor PM, Magoon R, Rawat R, Mehta Y. Perioperative utility of goal-directed therapy in high-risk cardiac patients undergoing coronary artery bypass grafting: « A clinical outcome and biomarker-based study ». *Ann Card Anaesth.* déc 2016;19(4):638-82.