Fractions inspirées d'oxygène délivrées par un ventilateur de transport à turbine alimenté par un concentrateur d'oxygène

J. Bordes[1], P.-H. Savoie[2], J. Ferreres[1], F. Celindano[3], É. Kaiser[4]

1 Département d'anesthésie-réanimation, Hôpital d'instruction des armées Sainte-Anne, Toulon, France.
2 Service d'urologie, Hôpital d'instruction des armées Sainte-Anne, Toulon, France.
3 Département d'anesthésie-réanimation, Hôpital d'instruction des armées Laveran, Marseille, France.
4 Service d'orthopédie, Hôpital d'instruction des armées Laveran, Marseille, France.

Résumé

Introduction : Sur les théâtres d'opérations extérieures, l'utilisation de bouteilles d'oxygène pressurisées peut être limitée par les possibilités d'approvisionnement. Le ventilateur LTV 1000™ est un ventilateur à turbine qui présente la particularité de pouvoir être alimenté en oxygène normobare, donc par un concentrateur d'oxygène. Nous avons voulu évaluer les FiO_2 délivrées par un LTV 1000™ alimenté en oxygène normobare par un concentrateur seul, ainsi que les facteurs de variations de cette FiO_2.

Matériels et méthodes : Cette étude était menée durant le mandat 28 (avril – juillet 2012) de la mission Licorne, à Abidjan, Côte d'Ivoire. Un ventilateur LTV 1000™ (Pulmonetic system®) était alimenté en oxygène normobare par un concentrateur type integra 10 OM (Sequal technologies®). La FiO_2 délivrée était mesurée par un oxymètre, en fonction du débit d'oxygène délivré par le concentrateur, et en fonction des paramètres ventilatoires réglés sur le ventilateur.

Résultats : Les FiO_2 mesurées allaient de 25,5 % (débit du concentrateur de 0,5 l/min) à 71,1 % (débit du concentrateur maximum de 10 l/min). L'augmentation de débit du concentrateur était associée à une augmentation de la FIO_2 délivrée. L'augmentation du volume minute réglé sur le ventilateur s'accompagnait d'une baisse de la FiO_2 délivrée. Cette variation était constatée quel que soit le débit d'oxygène du concentrateur.

Conclusion : un ventilateur à turbine type LTV 1000 est capable d'assurer une ventilation mécanique sans autre source d'oxygène qu'un concentrateur en délivrant des FiO_2 jusqu'à 70 %. Dans ces conditions, il apparaît nécessaire de monitorer la FiO_2 compte de tenu des variations significatives de celle-ci lorsque les paramètres de ventilation sont modifiés.

Mots-clés : Concentrateur d'oxygène. FiO_2. Oxygène normobare. Ventilateur.

Abstract

FIO_2 DELIVERED BY A PORTABLE TURBINE VENTILATOR WITH AN OXYGEN CONCENTRATOR FOR AN AUSTERE ENVIRONMENT.

Background: The management of critically ill patients in austere environments is a logistic challenge. The availability of oxygen cylinders for the mechanically ventilated patients may be difficult in such contexts. A solution is to use oxygen concentrator operated ventilators.

Methods: We tested the SeQual Integra™ 10 OM oxygen concentrator (OC) paired with the Pulmonetic System® LTV 1000 ventilator and evaluated the delivered fractions of inspired oxygen (FIO_2) across a range of minute volumes and combinations of ventilator settings to determine the factors affecting the delivered FIO_2.

Results: The LTV 1000 ventilator is a turbine ventilator which is able to deliver high FiO_2 up to 70% when functioning with an oxygen concentrator. However, modifications of the ventilator settings, such as increases in minute ventilation, affect the delivered FiO_2 even if the oxygen flow is constant on the oxygen concentrator.

Conclusions: The ability of an oxygen concentrator to deliver high levels of FIO_2 when used with a turbine ventilator makes this method of oxygen delivery a viable alternative to cylinders in austere environments. However, FIO_2 has to be monitored because delivered FIO_2 decreases dramatically when minute ventilation is increased.

Keywords: FiO_2. Low flow oxygen. Mechanical ventilation. Oxygen concentrator.

Introduction

La disponibilité en oxygène est une contrainte majeure de la pratique de l'anesthésie-réanimation en milieu dégradéS[1,2]. Les ventilateurs de transport à turbine peuvent fonctionner en autonomie complète simplement avec une batterie et une bouteille à oxygène pour enrichir la FiO_2. C'est le cas du ventilateur LTV 1000™, qui est un ventilateur de transport aux caractéristiques proches de celles d'un ventilateur de réanimation, et qui fournit un débit permanent de 10 L/min en phase expiratoire (*ou flow-by*), permettant d'assurer la fonction de trigger inspiratoire. La consommation d'oxygène est donc dépendante de la FiO_2 réglée, mais aussi de ce débit permanent[3,4]. Ce ventilateur présente cependant la particularité de pouvoir être alimenté en oxygène normobare.

Les antennes chirurgicales ont dans leur dotation deux ventilateurs LTV 1000™, et deux types de sources d'oxygène : des bouteilles d'oxygène pressurisées, et un concentrateur (ou extracteur) d'oxygène type Integra 10 OM. Étant donné le nombre limité de bouteilles en dotation, et l'approvisionnement qui peut être problématique selon les théâtres d'opération, nous avons voulu évaluer sur un théâtre d'opération les FiO_2 délivrées par un LTV 1000™ alimenté en oxygène normobare par un concentrateur seul, ainsi que les facteurs de variations de cette FiO_2.

Matériels et méthodes

Cette étude a été menée durant le mandat 28 (avril – juillet 2012) de l'antenne chirurgicale aéroportée Batlic, à Abidjan, Côte d'Ivoire.

Le ventilateur étudié était un ventilateur LTV 1000™ (Pulmonetic system®). Il était relié par le circuit patient à un ballon réservoir SilkoBag d'une capacité de 3,0 L (Rush®), et alimenté en oxygène normobare par un concentrateur type integra 10 OM (Sequal technologies®) (Figures 1-3). La FiO_2 délivrée était mesurée après la pièce en Y du circuit patient par un oxymètre Oxyman (Gamida®). L'appareil était calibré à 21 % en air ambiant avant les mesures.



Figure 1. Ventilateur LTV 1000®, circuit patient et oxymètre.



Figure 2. Adaptateur à embout conique se connectant à la fiche 3 pans d'alimentation du ventilateur permettant d'utiliser les sources d'oxygène normobare. Le concentrateur était branché à cet adaptateur.



Figure 3. Concentrateur d'oxygène *Integra 10 OM* en dotation dans les antennes chirurgicales.

Les mesures suivantes étaient réalisées :

– mesure de la FiO_2 à débit croissant d'oxygène délivré par le concentrateur et à ventilation minute constante. Pour ces mesures, les réglages du ventilateur étaient : volume contrôlé, fréquence respiratoire (FR) à 12/min, volume courant (vt) à 500 mL, rapport I/E à 1/1.5, pas de pression expiratoire positive ;

– mesure de la FiO_2 à débit d'oxygène constant et à ventilation minute croissante ;

– mesure de la FiO_2 à débit d'oxygène constant et I/E variable. Pour ces mesures, les réglages du ventilateur étaient : volume contrôlé, FR à 12/min, vt à 500 mL ;

– mesure du volume courant expiré à débit d'oxygène variable. Le vt réglé sur le ventilateur était de 500 ml.

La FiO_2 était mesurée au bout de 20 cycles ventilatoires ; il s'agit du temps que nous avons constaté pour que la FiO_2 affichée sur l'oxymètre se stabilise. Treize mesures étaient réalisées pour chaque paramètre.

Résultats

1°) FiO_2 délivrées pour des débits croissants d'oxygène à ventilation minute constante :

Les FiO_2 mesurées allaient de 25,5 % (débit du concentrateur de 0,5 l/min) à 71,07 (débit du concentrateur maximum de 10 l/min). L'augmentation de débit du concentrateur était associée à une augmentation de la FIO_2 délivrée (tableau I, figure 4).

2°) Facteurs de variations de la FiO_2 délivrée par le LTV 1000™

L'augmentation du volume minute réglé sur le ventilateur s'accompagnait d'une baisse de la FiO_2 délivrée. Cette variation était constatée quel que soit le débit d'oxygène du concentrateur (figure 5).

L'allongement du rapport I/E était également associé à une diminution de la FiO_2, et ce quel que soit le débit d'oxygène sur le concentrateur (tableau II).

3°) Influence du débit d'oxygène sur le volume courant expiré mesuré

Il n'a pas été retrouvé de différence statistiquement significative du volume expiré mesuré sur le LTV 1000 pour deux valeurs extrêmes de débit réglé sur le concentrateur (figure 6).

Discussion

Notre étude montre que le LTV 1000® est un ventilateur pouvant délivrer des FiO_2 de 25 à 70 % en étant alimenté en oxygène normobare par

Tableau I. Valeur de FiO_2 mesurée en fonction du débit d'oxygène réglée sur le concentrateur d'oxygène pour une ventilation minute de 6 l/min.

Débit du concentrateur (l/min)	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
FiO_2 mesurée (%)	25,50	27,00	32,88	38,95	44,73	50,59	56,28	61,48	66,19	70,28	71,07

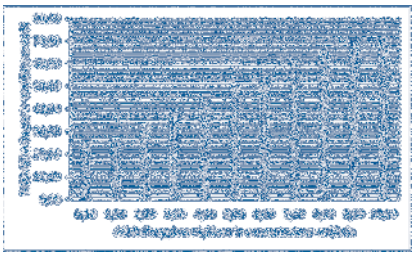


Figure 4. Variation de FiO_2 délivrée par le LTV 1000® en fonction du débit d'oxygène réglé sur le concentrateur à ventilation minute constante (6 l/min). Cette relation n'est pas linéaire.

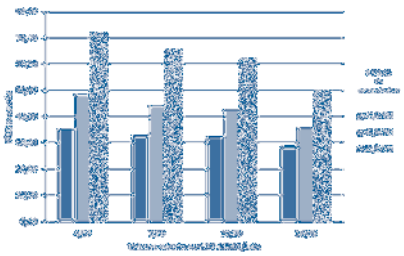


Figure 5. Variation de FiO_2 délivrée par le LTV 1000® en fonction de la ventilation minute pour 3 débits d'oxygène croissants.

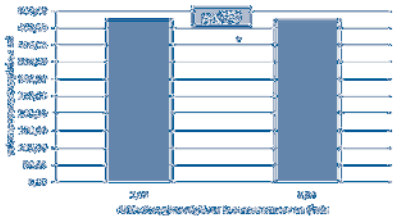


Figure 6. Volume expiré en fonction du débit d'oxygène pour un vt réglé à 500 ml sur le LTV 1000®. * test de Mann and Whitney.

un concentrateur seul, pour une ventilation minute que l'on peut considérer « standard » (6 l/minute). L'utilisation de ventilateurs à turbine pouvant être alimentés en oxygène basse pression a déjà été rapportée. Durant le déploiement des forces anglaises en Irak au sein d'une structure médicochirurgicale équivalente d'un *Role 3*, des ventilateurs T bird VS™ (Bird Products Corp, Palm Springs Ca®) ont été alimentés par des concentrateurs à oxygène DeVilbiss (Sunrise Medical Respiratory Products®) à un débit fixe de 5 L/min permettant d'obtenir une FiO_2 maximale de 55 % [2]. Une équipe française a également étudié les FiO_2 délivrées par un ventilateur LTV 1000 alimenté en oxygène basse pression à la fois par un concentrateur à débit fixe de 5 l/min et des débits croissants d'oxygène apportés par un débitmètre relié à une bouteille d'oxygène [5]. Au moment de cette dernière étude, les antennes chirurgicales du service de santé français étaient équipées d'un extracteur d'O_2 Nelcorr (Puritan Bennett Companion®) qui ne produisait qu'un débit fixe d'oxygène de 5 l/min. À notre connaissance, cette étude est la première publiée à évaluer les FiO_2 délivrées par le ventilateur LTV 1000 à des débits variables d'oxygène basse pression sans autre source d'oxygène qu'un concentrateur. En utilisant un ventilateur LTV 1200 alimenté par le même extracteur d'oxygène, Nadaud et al ont rapporté des FiO_2 allant jusqu'à 90 % pour des ventilations minute faibles, et n'excédant pas 70 % pour des ventilations minute élevées de 14 L/min [6]. Ces données sont cohérentes avec celles que nous publions puisque nous constatons également une baisse significative de la FiO_2 avec l'augmentation de la ventilation minute. Toutefois, la différence essentielle entre les ventilateurs LTV 1000 et 1200 est la possibilité de désactiver sur le LTV 1200 le flow-by de 10 l/min. Ce *flow-by* influe sur la consommation d'oxygène et sur les FiO_2 délivrées lorsque le ventilateur est alimenté en oxygène normobare. Il n'est pas précisé dans l'article si ce *flow-by* était activé ou non. Par ailleurs, les ventilations minutes ne sont pas non plus détaillées. Il est donc difficile de comparer les résultats.

Les ventilateurs de transport peuvent être classés en deux catégories selon le système de pressurisation utilisé pour générer un débit de gaz : les ventilateurs pneumatiques dont le débit de gaz est généré par des gaz comprimés, et les ventilateurs à turbine piston dont le débit de gaz est généré par un moteur électrique qui actionne soit une turbine, soit un piston[4]. Le LTV 1000 est un ventilateur à turbine, ce qui permet la génération d'un débit permanent en phase expiratoire de 10 l/min (*flow-by*), autorisant un déclenchement en débit de l'inspiration dans les modes assistés. En contrepartie, ce débit entraîne une consommation importante de gaz. Ainsi, dans l'étude publiée par Blakeman et al, une bouteille d'oxygène de calibre E-size (soit 660 litres d'oxygène) était consommée en 43 minutes pour une ventilation de 10 l/min à FiO_2 100 %, alors qu'un calcul basé sur la seule ventilation minute et la FiO_2 aurait estimé un temps de fonctionnement de 66 minutes [3]. La différence est expliquée par ce débit constant. Cependant, la présence de cette turbine lui permet de pouvoir fonctionner avec deux modes d'alimentation en oxygène : oxygène pressurisé en bouteille ou murale, ou bien oxygène normobare délivrée par un extracteur d'oxygène ou un débitmètre, puisque la génération du débit de gaz est indépendante des gaz pressurisés. Lors de l'utilisation en

Tableau II. Variation de la FiO_2 en fonction du rapport I/E. * test de Mann and Whitney.

Débit d'oxygène sur le concentrateur	O_2 = 2L/min		
Rapport I/E	1/1.5	1/4	Valeur de p
FiO_2 moyenne mesurée (%)	33,2	32,4	p < 0.05*
	O2 = 6L/min		
Rapport I/E	1/1.5	1/4	
FiO_2 moyenne mesurée %	56,3	52	p < 0.05

mode haute pression, le réglage de la FiO_2 se fait sur la façade de commande du ventilateur, entre 21 et 100 %. Lorsque le mode d'alimentation en oxygène basse pression est choisi, la FiO_2 n'est pas réglable et dépend du débit d'oxygène apportée, et des facteurs de variation que nous avons étudiés.

Notre étude met en effet en évidence que la FiO_2 délivrée par le LTV 1000 lorsque le débit d'O_2 sur l'extracteur est constant est variable en fonction :

– de la ventilation minute du ventilateur ; toute modification de celle-ci entraîne des modifications inverses de FiO_2 lorsque le débit d'oxygène sur l'extracteur n'est pas modifié ;

– du rapport I/E. Il existe en effet une baisse de la FiO_2 lorsque pour une même ventilation minute le rapport I/E est allongé. Ceci est expliqué par la dilution de l'oxygène par le débit expiratoire.

Il avait été montré précédemment que le niveau de PEP ne faisait pas varier la FiO_2 dans cette configuration, c'est pourquoi nous n'avons pas testé cette hypothèse [5]. Ceci est expliqué par le fait que le réglage de la PEP sur ce ventilateur est manuel au moyen d'une valve placé sur le circuit expiratoire, sans faire intervenir de variation de débit. Il apparaît donc que des modifications de certains paramètres ventilatoires sont susceptibles d'entraîner une variation de FiO_2 délivrée par le LTV 1000 alimenté en oxygène délivré par extracteur. Face à ces variations, il nous semble indispensable de monitorer la FiO_2 par un oxymètre.

L'intérêt de l'alimentation en O_2 par concentrateur est de permettre une ventilation prolongée sans utiliser les réserves d'oxygène en bouteille en dotation dans les structures médicales de l'avant qui sont limitées, et ce d'autant plus que l'approvisionnement et le ravitaillement peuvent être problématiques selon les théâtres d'opération. L'intérêt peut être individuel chez un patient devant être ventilé de manière prolongée en attente d'une évacuation sanitaire. En effet, rappelons que nos structures positionnées à l'avant ont vocation à prendre en charge le blessé de guerre qui peut être hémorragique et/ou blasté, et qu'il a été montré que l'incidence du syndrome de détresse respiratoire aiguë chez de tels patients était de 26 % [7]. La capacité de délivrer des FiO_2 élevées tout en maîtrisant la consommation d'une ressource limitée est donc bien un enjeu majeur pour l'anesthésiste-réanimateur militaire en Opex. L'autre intérêt est collectif en cas d'activation d'un plan « MASCAL » au sein d'une structure à ressources limitées comme l'antenne chirurgicale aérotransportable BatLic, en Côte d'Ivoire.

Conclusion

Le LTV 1000 actuellement en dotation dans les antennes chirurgicales est capable d'assurer une ventilation mécanique sans autre source d'oxygène qu'un concentrateur en délivrant des FiO_2 jusqu'à 70 % pour des conditions « standards » de ventilation. Cette capacité peut permettre de faire face à nombre de situations sans utiliser la ressource en oxygène pressurisée. Nous attirons toutefois l'attention des praticiens sur la nécessité de monitorer cette FiO_2 lorsque le LTV 1000 est alimenté en oxygène basse pression compte de tenu de nombreux facteurs de variation.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Beckmann U, Gillies D, Berenholtz S, Wu A, Pronovost P. Incidents relating to the intra-hospital transfer of critically ill patients. An analysis of the reports submitted to the Australian Incident Monitoring Study in Intensive Care. Intensive Care Med (2004) 30 : 1579-85.
2. Roberts MJ, Fox MA, Hamilton-Davies C, Dowson S. The Experience Of The Intensive Care Unit In A British Army Field Hospital During The 2003 Gulf Conflict. J R Army Med Corps 2003 ; 149 : 284-90.
3. Blakeman T, Rodriquez D and Branson R. Accuracy of the Oxygen Cylinder Duration Calculator of the LTV-1000 Portable Ventilator. Respiratory care 2009 ; 54.
4. Damm C, Clabault K, Lamia B, Richard JC. Caractéristiques d'un bon ventilateur de transport. Réanimation 2003 ; 12 : 502 - 509. Réanoxyo 2009 ; 25 (2) : 51-3.
5. Kaiser E, Pernod G, Meaudre E, Boret H, Palmier B. Fractions d'oxygène délivrées par le LTV 1000 alimenté en oxygène normobare. JEUR 2005 ; 18 : 149-53.
6. Nadaud J, Rüttimann M, Landy C, Gagnon N, Millot I, Lemoine A, Plancade D, Favier JC, Boulland P. Évolutions récentes des techniques de production d'oxygène dans les formations sanitaires de campagne.
7. Watson G, Sperry J, Rosengart M, Minei J, Harbrecht B, et al. Fresh Frozen Plasma Is Independently Associated With a Higher Risk of Multiple Organ Failure and Acute Respiratory DistressSyndrome. J Trauma. 2009 ; 67 : 221-30.