

Article original

Mesure sur banc d'essai des FIO_2 délivrées par la CPAP Boussignac alimentée en oxygène pur[☆]

Laboratory testing measurement of FIO_2 delivered by Boussignac CPAP system with an input of 100% oxygen

F. Templier *, F. Dolveck, M. Baer, M. Chauvin, D. Fletcher

Samu 92 – Smur Garches, hôpital Raymond-Poincaré, 104, boulevard Raymond-Poincaré, 92380 Garches, France

Reçu le 17 mai 2002 ; accepté le 18 novembre 2002

Résumé

Introduction. – La CPAP (*continuous positive airway pressure*) fait partie des traitements de l'OAP cardiogénique. Parmi les systèmes utilisables en Smur, la CPAP Boussignac (VygonTM) a montré une très bonne faisabilité technique, mais sans analyse des valeurs de FIO_2 délivrées par ce système ouvert.

Objectif. – Mesurer la FIO_2 délivrée par la CPAP Boussignac alimentée en oxygène pur.

Type d'étude. – Mesure en laboratoire sur banc d'essai.

Matériel et méthode. – Mesure des FIO_2 délivrées en faisant varier 3 paramètres (pression télé-expiratoire (PEP), fréquence ventilatoire, volume courant, VT) et mesure du débit d'oxygène nécessaire. Banc d'essai : alimentation en oxygène pur, avec débitmètre à bille 0–30 l min⁻¹ (MedilineTM), valve de CPAP Boussignac avec manomètre (VygonTM), poumon test Michigan, ventilateur César (TaemaTM), analyseur de FIO_2 (ServomexTM) à cellule paramagnétique et temps de réponse < 10 s, pneumotachographe (FleischTM version 2).

Résultats. – Jusqu'à 10 cmH₂O de PEP, le débit d'oxygène nécessaire est ≤ 30 l min⁻¹. En faisant varier les 3 paramètres (fréquence, volume courant, PEP), la FIO_2 mesurée est comprise entre 70 et 100 vol % pour un volume minute ≤ 15 l min⁻¹ (sauf PEP = 2,5 cmH₂O et fréquence à 10 c min⁻¹ et un VT = 1500 ml, FIO_2 = 60 vol %). Elle est comprise entre 59 et 83 vol % pour un volume minute > 15 l min⁻¹ et < 20 l min⁻¹.

Conclusion. – La CPAP Boussignac alimentée en oxygène pur délivre des niveaux élevés de FIO_2 , notamment pour les valeurs de volume minute habituellement rencontrées en clinique. Le débit en oxygène est inférieur au débit nécessaire pour obtenir des FIO_2 comparables avec les systèmes de CPAP générateurs de débit, utilisés parfois en Smur.

© 2003 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Introduction. – CPAP (Continuous Positive Airway Pressure) is one of the treatments of the cardiogenic acute pulmonary edema (cAPE). Among the out-of-hospital used devices, Boussignac CPAP (VygonTM) shows a good technical usability, but no analysis of delivered FIO_2 is available.

Objective. – To measure the FIO_2 delivered to patient, using Boussignac CPAP with an input of 100 vol % oxygen.

Type of study. – Measurement in a laboratory testing.

Material and method. – Measurement of delivered FIO_2 in a three parameters environment: expiratory positive airway pressure (EPAP), respiratory rate (RR) and required oxygen flow (ROF). Laboratory test: 100 vol % oxygen input, with a ball-type flow regulator for oxygen 0–30 l min⁻¹ (MedilineTM), Boussignac CPAP valve with manometer (VygonTM), Michigan test lung, ventilator César (TaemaTM), oxygen analysis (ServomexTM) with paramagnetic sensor, with a response time < 10 s, pneumotachographe (FleischTM v 2).

[☆] Travail présenté sous forme de communication affichée lors du XXIX^e congrès de la société de réanimation de langue française, CNIT, Paris-La-Défense, 16–19 janvier 2001.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : francois.templier@samu.org (F. Templier).

Results. – Under 10 cmH₂O EPAP, the required oxygen flow is $\leq 30 \text{ l min}^{-1}$. Measured FIO₂ ranges from 70 to 100 vol %, for a volume per minute $\leq 15 \text{ l min}^{-1}$ except for a EPAP at 2.5 cmH₂O with a rate = 10 l min^{-1} and a tidal volume (VT) at 1500 ml where the measured FIO₂ is 60 vol %. For a volume per minute $> 15 \text{ l min}^{-1}$ and $< 20 \text{ l min}^{-1}$, measured FIO₂ ranges from 59 to 83 vol % depending on the variations of RR and VT.

Conclusion. – Boussignac CPAP with 100 vol % oxygen input, delivers high levels of FIO₂, especially for volume per minute values usually met in cAPE. The needed oxygen flow is lower than what is usually required by other CPAP flow generators using the venturi effect that may be used in out-of-hospital medical care.

© 2003 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. All rights reserved.

Mots clés : CPAP (Continuous positive airway pressure) ; Œdème aigu pulmonaire cardiogénique ; Réanimation préhospitalière ; Samu ; Smur

Keywords: CPAP (Continuous positive airway pressure); Cardiogenic acute pulmonary oedema (cAPE); Out-of-hospital medical care

1. Introduction

La ventilation spontanée au masque en pression positive continue (CPAP ou *continuous positive airway pressure*) fait partie de la prise en charge de l'œdème aigu pulmonaire cardiogénique (OAPc), associée au traitement médicamenteux conventionnel [1–3]. En médecine préhospitalière, cette thérapeutique semble insuffisamment utilisée [4], probablement en partie à cause des contraintes techniques des systèmes disponibles jusqu'à maintenant. La CPAP Boussignac (VygonTM, Ecoen, France) est un système récent et original. Intégrée à un kit (Fig. 1), l'évaluation de son utilisation pratique en Smur a montré de très bons résultats lors de la prise en charge de l'OAPc dès le domicile [5,6]. La FIO₂ délivrée par ce système ouvert de CPAP n'était pas précisée dans cette étude. L'objectif de ce travail était de mesurer en laboratoire la FIO₂ délivrée par la CPAP Boussignac alimentée en oxygène pur, en fonction de différents niveaux de CPAP, de fréquence ventilatoire et de volume courant (VT).

2. Matériel et méthodes

2.1. Description de la CPAP Boussignac

La CPAP Boussignac induit une pression positive continue par injection d'un gaz à haute vitesse dans un cylindre, à travers des canaux latéraux défléchis [7]. Étant donné les propriétés de turbulence et de friction de l'air, cet effet d'entraînement propage le flux de proche en proche à l'intérieur du cylindre, comme lors de la rotation d'une hélice dans un tunnel. Une surpression est créée à l'un des orifices du cylindre (côté patient) et une dépression à l'autre (côté air ambiant). Le niveau de pression réalisé est fonction de la quantité et de la vitesse des gaz injectés. Bien qu'il soit théoriquement possible de connaître la pression créée selon le débit de gaz, il est recommandé en situation clinique de surveiller cette pression en continu [5,6]. Comparée à d'autres systèmes de CPAP intégrés à des ventilateurs de réanimation, la CPAP Boussignac a montré une meilleure performance sur le travail respiratoire. Ce système étant ouvert, il peut créer un mélange d'air lors d'une inspiration, y compris lors de l'alimentation en oxygène pur.

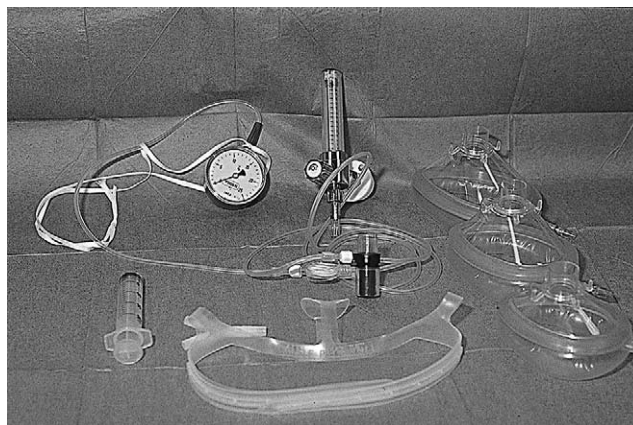


Fig. 1. CPAP Boussignac intégrée dans un kit en partie prémonté, comprenant notamment un manomètre et un débitmètre à bille pouvant varier de 0 à 30 l min^{-1} .

2.2. Réalisation des mesures

2.2.1. Banc d'essai comprenant (Fig. 2) :

- une valve de CPAP Boussignac, alimentée en oxygène pur par l'intermédiaire d'un débitmètre à bille pouvant varier de 0 à 30 l min^{-1} (MédilineTM), permettant un réglage précis du niveau de pression télé-expiratoire souhaité (PEP) ;
- un manomètre (VygonTM) connecté à la CPAP permettant de mesurer la PEP ;
- un poumon test Michigan (compliance : $50 \text{ ml cmH}_2\text{O}^{-1}$, résistance Rp : $5 \text{ cmH}_2\text{O l}^{-1} \text{ s}^{-1}$), relié à un ventilateur César (TaemaTM) réglé à une FIO₂ de 21 vol % ;
- un analyseur de FIO₂ (ServomexTM) à cellule paramagnétique et temps de réponse inférieur à 10 s, disposé entre la CPAP et le poumon test ;
- un pneumotachographe (FleischTM version 2) disposé également entre la CPAP et le poumon test.

Ce type de banc d'essai permet de réaliser l'équivalent d'une ventilation en pression négative intermittente, comme en ventilation spontanée. Les 2 soufflets du poumon test sont branchés sur des circuits indépendants, mais sont reliés mécaniquement entre eux afin qu'ils se mobilisent simultanément. Lors de l'insufflation par le ventilateur d'un volume

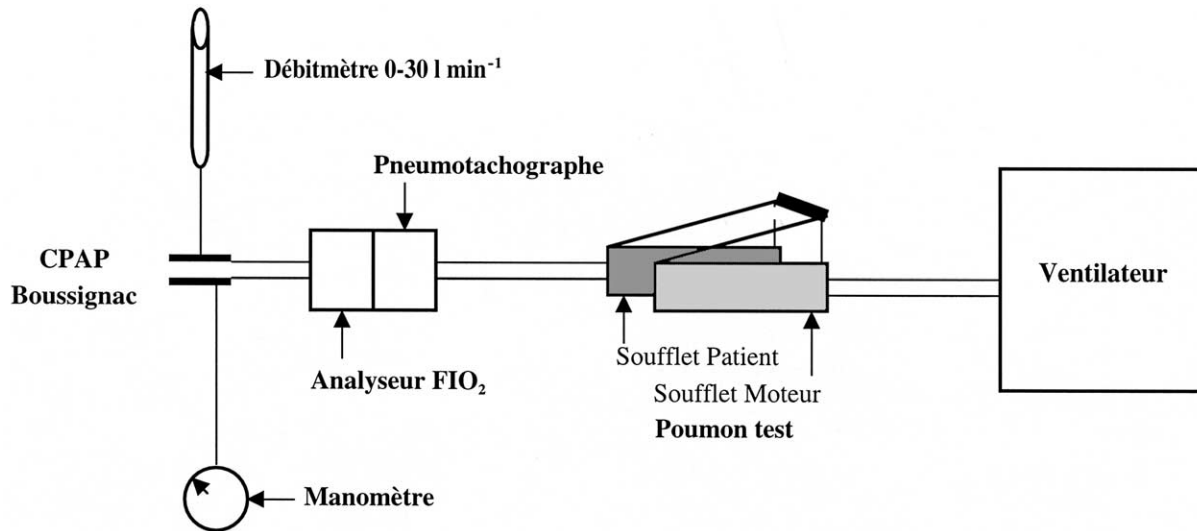


Fig. 2. Schéma de montage du banc d'essai utilisé pour la mesure des FIO_2 délivrées par la CPAP Boussignac alimentée en oxygène pur.

courant dans le soufflet moteur, le soufflet patient est alors soulevé, créant ainsi une dépression dans le circuit patient. Sur ce même circuit, un pneumotachographe mesure le VT réellement mobilisé. Si besoin, le VT délivré par le ventilateur est adapté pour obtenir celui désiré dans le circuit patient.

2.2.2. Mesures réalisées

FIO_2 délivrée en faisant varier les 3 paramètres suivants :

- Pression télé-expiratoire (PEP) (cmH_2O) : 2,5–5–7,5–10–12,5–15
- Fréquence ventilatoire ($c\ min^{-1}$) : 10–15–20–25–30–35–40–45–50
- VT (ml) : 250–500–750–1000–1250–1500

Débit d'oxygène nécessaire pour obtenir la PEP désirée. En cas de débit supérieur à $30\ l\ min^{-1}$, celui-ci ne pouvait pas être mesuré précisément.

3. Résultats

Lorsque le volume minute est inférieur ou égal à $15\ l\ min^{-1}$, la FIO_2 est toujours comprise entre 70 et 100 vol %, sauf pour une PEP à $2,5\ cmH_2O$ associée à une fréquence de $10\ c\ min^{-1}$ et un VT de 1500 ml. Dans ce cas, la FIO_2 mesurée est de 60 vol %.

Lorsque le volume minute est compris entre 15 et $20\ l\ min^{-1}$, la FIO_2 est comprise entre 59 et 83 vol %.

Les valeurs précises de FIO_2 obtenues pour les niveaux de PEP habituellement utilisés en situation clinique (5–7,5–10 cmH_2O) sont détaillées dans le Tableau 1. Le débit d'oxygène nécessaire est inférieur ou égal à $30\ l\ min^{-1}$ pour des PEP inférieures ou égales à $10\ cmH_2O$ (Tableau 2).

4. Discussion

Récemment, une étude démontre l'intérêt et la faisabilité technique de la CPAP Boussignac en Smur [5,6]. Toutefois,

celle-ci étant un système ouvert, il est important de vérifier la valeur des FIO_2 délivrées. Ce travail montre que la CPAP Boussignac alimentée en oxygène pur est capable de délivrer des FIO_2 élevées pour des valeurs de fréquences ventilatoires et de volumes courants rencontrés en clinique au cours d'un OAPc. Ceci a été valable quel que soit le niveau de pression positive souhaité et notamment pour les niveaux habituellement recommandés dans cette indication, à savoir entre 5 et $10\ cmH_2O$. La consommation d'oxygène est restée inférieure ou égale à $30\ l\ min^{-1}$ pour des niveaux de PEP inférieurs ou égaux à $10\ cmH_2O$, correspondant aux pressions utilisées en clinique.

Le banc d'essai utilisé a permis de reproduire une ventilation spontanée en pression négative intermittente, sur lequel nous avons appliqué une pression positive continue au moyen de la CPAP Boussignac. Nous avons choisi de réaliser nos mesures en faisant varier différents niveaux de PEP, afin d'avoir une approche simple et proche de la clinique. La mesure de la pression moyenne dans le circuit aurait été sans doute plus représentative des conditions dynamiques de la ventilation, mais notre choix n'a sans doute pas influencé l'interprétation de nos résultats. La connexion entre la CPAP et le circuit étant dans notre montage parfaitement étanche, nos mesures pourraient s'avérer faussées en situation clinique en cas de fuites entre le masque servant d'interface et le visage du patient. En pratique, lors de l'application d'une CPAP, ces fuites semblent rares [5,6]. De plus, la CPAP Boussignac étant modulable et monitorable, une baisse de pression due à des fuites peut être facilement corrigée. Enfin, l'influence éventuelle de l'augmentation de la FIO_2 de l'air ambiant par l'oxygène administré est identique en situation clinique.

L'oxygénothérapie à une FIO_2 proche de 1 par masque haute concentration fait partie du traitement médicamenteux conventionnel de l'OAPc. Plusieurs études menées en réanimation ont par ailleurs démontré un bénéfice de la CPAP en association à ce traitement médicamenteux, au cours du

Tableau 1

Valeur de FIO₂ (vol %) obtenues en fonction de la fréquence et du volume courant, pour des pressions télé-expiratoires (PEP) de 5–7,5–10 cmH₂O

PEP = 5 cmH ₂ O		Fréquence ventilatoire (c min ⁻¹)								
		10	15	20	25	30	35	40	45	50
Volume courant (ml)	250	100*	100*	100*	100*	97*	92*	84*	78*	73*
	500	100*	100*	93*	83*	71*	65**	60**	56	53
	750	100*	90*	74*	61**	56	51	NM	NM	NM
	1000	94*	72*	59**	51	48	NM	NM	NM	NM
	1250	86*	61**	51	NM	NM	NM	NM	NM	NM
	1500	73*	56	47	NM	NM	NM	NM	NM	NM
PEP = 7,5 cmH ₂ O		Fréquence ventilatoire (c min ⁻¹)								
		10	15	20	25	30	35	40	45	50
Volume courant (ml)	250	100*	100*	100*	100*	100*	98*	95*	92*	85*
	500	100*	100*	93*	84*	75*	67**	65**	61	60
	750	100*	91*	79*	67**	60	57	57	NM	NM
	1000	96*	76*	66**	59	54	NM	NM	NM	NM
	1250	87*	67**	59	54	NM	NM	NM	NM	NM
	1500	81*	62	57	NM	NM	NM	NM	NM	NM
PEP = 10 cmH ₂ O		Fréquence ventilatoire (c min ⁻¹)								
		10	15	20	25	30	35	40	45	50
Volume courant (ml)	250	100*	100*	100*	100*	100*	100*	95*	92*	91*
	500	100*	100*	97*	90*	82*	76**	72**	66	53
	750	100*	96*	84*	79**	67	62	NM	NM	NM
	1000	99*	85*	73**	64	60	NM	NM	NM	NM
	1250	95*	73**	64	59	NM	NM	NM	NM	NM
	1500	89*	71	62	NM	NM	NM	NM	NM	NM

NM : non mesurable par le banc d'essai

* Volume minute ≤ 15 l min⁻¹** Volume minute > 15 l min⁻¹ et ≤ 20 l min⁻¹ : FIO₂ comprise entre 59 et 79 vol %

traitement de l'OAPc : amélioration plus rapide des paramètres cliniques [1], diminution significative du nombre d'intubation, y compris en cas d'hypercapnie avec réduction non significative de la mortalité [2,3]. Le système de CPAP choisi est un générateur de débit à effet venturi. La FIO₂ varie selon les études : 30 vol % [1], 60 à 100 vol % [2], 100 vol % [3]. La consommation d'oxygène n'est pas précisée. Au mieux, la décision de traiter un patient par CPAP ne doit pas pour autant entraîner une baisse de la FIO₂ délivrée et le choix du système de CPAP doit en tenir compte. En Smur, les ventilateurs de transport sont techniquement insuffisants. Les ventilateurs de réanimation sont volumineux et coûteux et si certains Smur en disposent dans leurs unités mobiles hospitalières, ils ne permettent pas une mise en route dès le domicile [4]. Les systèmes de CPAP générateurs de débits à effet Venturi (Gamida™, Vital Signs™) sont compacts et facilement transportables. Le débit de gaz recommandé doit être d'au moins 100 l min⁻¹ [8], obligeant soit de disposer de réserves d'oxygène très importantes, soit de limiter la FIO₂.

Tableau 2

Débits d'oxygène nécessaires pour obtenir les pressions télé-expiratoires (PEP) souhaitées

PEP obtenues (cmH ₂ O)	Débit d'oxygène nécessaire (l min ⁻¹)
2,5	16
5	22
7,5	27
10	30
12,5	≥ 30
15	≥ 30

Ainsi, lors d'une étude préhospitalière française menée sur un petit effectif de patients en OAPc traités dès le domicile, un générateur de débit est utilisé avec une FIO₂ de seulement 35 vol %, la durée de CPAP étant limitée à 30 min [9]. Dans une autre étude utilisant également un système générateur de débit, les auteurs appliquent des FIO₂ comprises entre 35 et 95 vol %, ce qui peut nécessiter des débits d'oxygène pouvant approcher les 150 l min⁻¹. La CPAP n'est appliquée qu'une fois le patient dans l'ambulance [10]. Pour obtenir les pressions positives recommandées en clinique, la consommation de la CPAP Boussignac est inférieure ou égale à 30 l min⁻¹, tout en délivrant des FIO₂ élevées. Ainsi, l'autonomie d'une bouteille portable d'oxygène de 1 m³ utilisée classiquement en Smur peut-être évaluée à plus de 30 min. Avec un système générateur de débit réglé pour obtenir une FIO₂ aux alentours de 70 vol %, l'autonomie d'une même bouteille est inférieure à 15 min, chutant à 10 min pour une FIO₂ de 100 vol %. La consommation de la CPAP Boussignac est compatible avec une utilisation dès le domicile [6]. Dans ce travail, la durée moyenne d'utilisation de la CPAP en dehors de l'ambulance a été mesurée à 37 ± 23 min (extrêmes : 7–115).

5. Conclusion

La CPAP « Boussignac » est facile à utiliser. Elle permet de monitorer en continu et de moduler les pressions. Alimentée en oxygène pur, elle délivre des niveaux élevés de FIO₂, notamment pour les valeurs de volume minute habituelle-

ment rencontrées en clinique. La consommation d'oxygène enregistrée pour obtenir ces niveaux de FIO_2 est nettement inférieure à celle des systèmes générateurs de débit avec venturi, pour des niveaux de pression identiques. Cette étude complète l'intérêt technique de cette CPAP, notamment pour une utilisation préhospitalière.

Remerciements

Remerciements à la Société Taema™ pour son soutien technique.

Références

- [1] Räsänen J, Heikkilä J, Downs J, Nikki P, Väisänen I, Vitanen A. Continuous positive airway pressure by face mask in acute cardiogenic pulmonary edema. *Am J Cardiol* 1985;55:296–300.
- [2] Bersten AD, Holt AW, Vedig AE, Skowronski GA, Baggoley CJ. Treatment of severe cardiogenic pulmonary edema with continuous positive airway pressure delivered by face mask. *N Engl J Med* 1991;325:1825–30.
- [3] Lin M, Yang YF, Chiang HT, Chang MS, Chiang BN, Cheitlin MD. Reappraisal of continuous positive airway pressure therapy in acute cardiogenic pulmonary edema: short-term results and long-term follow-up. *Chest* 1995;107:1379–86.
- [4] Douge G, Allaire H, Leroux C, Chauvin M, Fletcher D, Templier F. Matériels de support ventilatoire utilisés par les Smur [résumé]. *JEUR* 2002;15:IS 91.
- [5] Templier F, Conchon G, Baer M, Fletcher D, Chauvin M. Utilisation pratique de la CPAP « Boussignac » en Smur : bilan à 9 mois [résumé]. *Ann Fr Anesth Réanim* 2000;19(Suppl. 1):316s.
- [6] Templier F, Dolveck F, Baer M, Chauvin M, Fletcher D, Boussignac. CPAP system practical use in a prehospital medical care unit. *Eur J Emerg Med* 2003 à paraître.
- [7] Isabey D, Boussignac G, Harf A. Effect of air entrainment on airway pressure during endotracheal gas injection. *J Appl Physiol* 1989;67:771–9.
- [8] Vallet B, Leclerc J, Robin E, Plaisance P, Goldstein P. Intérêt de la ventilation non invasive au cours de l'insuffisance respiratoire aiguë. Utilisation potentielle en médecine préhospitalière. In: Sfar, editor. *Médecine d'urgence 1998. 40^e congrès national d'anesthésie et de réanimation*. Paris: Elsevier; 1998. p. 133–48.
- [9] Plaisance P, Adnet F, Degardin F, Hibon A, Morel JC, Hoyeau M, et al. Intérêt de la pression intrathoracique positive permanente au masque (CPAP) dans le traitement des œdèmes aigus du poumon d'origine cardiogénique en médecine préhospitalière [résumé]. *Ann Fr Anesth Réanim* 1994;13(Suppl):R99.
- [10] Kosowsky JM, Stephanides SL, Branson RD, Sayre MR. Prehospital use of continuous positive airway pressure (CPAP) for presumed pulmonary edema: a preliminary case series. *Prehosp Emerg Care* 2001;5:190–6.