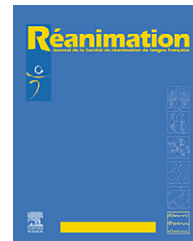




available at www.sciencedirect.com



journal homepage: <http://france.elsevier.com/direct/REAURG/>



MISE AU POINT

CPAP versus ventilation à double niveau de pression : aspects physiologiques au cours des détresses respiratoires hypoxémiques

CPAP versus NIV: physiological aspects during acute hypoxemic respiratory failure

E. L'Her^{a,b,*}, M. Lefevre^a

^a Réanimation et urgences médicales, CHU de la Cavale-Blanche, 29609 Brest cedex, France

^b EA 3879, unité de physiologie comparée et intégrative, université de Bretagne Occidentale, UFR médecine, rue Camille-Desmoulins, 29200 Brest, France

Disponible sur internet le 19 janvier 2007

MOTS CLÉS

Détresse respiratoire aiguë hypoxémique ;
Ventilation non-invasive ;
CPAP ;
Physiologie ;
Travail ventilatoire

Résumé Les données physiologiques disponibles supportent l'utilisation de la ventilation non invasive au cours des détresses respiratoires aiguës, malgré des résultats cliniques discordants en fonction des indications. Toutes insuffisances respiratoires aiguës hypoxémiques confondues (œdème pulmonaire cardiogénique inclus), de multiples arguments physiologiques plaident pour une supériorité de la ventilation à double niveau de pression (aide inspiratoire plus pression expiratoire positive) par rapport à la CPAP, que ce soit en terme d'amélioration de la symptomatologie clinique et/ou surtout de réduction optimale du travail inspiratoire des patients.

© 2007 Société de réanimation de langue française. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

Acute hypoxemic respiratory failure;
Non-invasive ventilation;
CPAP;
Physiology;
Work of breathing

Abstract Current physiological data support the use of non-invasive ventilation during acute hypoxemic respiratory failure, even if controversy exists regarding the different indications. Whatever acute respiratory failure type (even in patients with cardiogenic pulmonary oedema), several physiological arguments do suggest a superiority of pressure support plus positive end expiratory pressure over CPAP alone in terms of a better clinical improvement and optimal work of breathing decrease.

© 2007 Société de réanimation de langue française. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : erwan.lher@chu-brest.fr (E. L'Her).

Introduction

L'effort inspiratoire fourni par les patients en détresse respiratoire aiguë est environ de quatre à six fois supérieur à celui développé en situation normale. Un réglage adéquat des paramètres ventilatoires sous ventilation non invasive (VNI) est susceptible d'améliorer de façon précoce les signes cliniques et biologiques de détresse respiratoire, ainsi que de normaliser ce surcroît d'effort inspiratoire fourni par les patients [1,2]. Dans certaines situations, ces effets bénéfiques permettent d'éviter le recours à une intubation [1,3].

À l'exception notable des patients présentant un œdème pulmonaire cardiogénique (OAP), les échecs de la VNI restent cependant nombreux et environ 40-50 % des patients vont nécessiter le recours secondaire à une intubation [4-7]. La conférence de consensus qui s'est tenue à Paris au mois d'octobre 2006 a confirmé les données déjà existantes et a souligné la difficulté de mise en route d'une VNI au cours de l'insuffisance respiratoire aiguë hypoxémique (IRAH) (*en cours de publication*). Des données physiologiques sont nécessaires afin d'optimiser l'application de la VNI chez les patients présentant une IRAH et ainsi d'améliorer ses chances de succès (i.e. éviter le recours à une assistance ventilatoire invasive).

Problématique

Choix du mode ventilatoire : CPAP versus AI + PEP

Au cours de l'IRAH, l'application d'une pression expiratoire positive (PEP) permet en théorie de limiter la réduction de la capacité résiduelle fonctionnelle observée habituellement, d'améliorer la mécanique ventilatoire (diminuer le travail inspiratoire du patient), et de corriger les anomalies gazométriques [1]. Pour ces multiples raisons, la pression positive continue (CPAP) est depuis très longtemps utilisée en milieu de réanimation afin de prévenir l'aggravation clinique et/ou d'éviter le recours à une intubation [8-11]. Cependant, à côté de ces bénéfices théoriques et d'une amélioration rapide, incontestable et quasi constante de l'hématose des patients sous CPAP (en particulier en cas d'utilisation de CPAP à haut débit d'oxygène), son intérêt en terme pronostique reste très controversé en dehors de l'OAP [12,13]. Les meilleurs résultats semblent majoritairement être obtenus par la combinaison d'une aide inspiratoire (AI) et d'une PEP (AI + PEP) [14-18]. Si les arguments physiologiques sont a priori similaires sur le plan respiratoire, les résultats cliniques comparant la CPAP et l'AI + PEP au cours des OAP et des IRAH d'autres étiologies sont cependant différents. Par ailleurs, au cours de l'OAP la VNI est également susceptible de modifier les paramètres hémodynamiques.

Choix du niveau d'assistance ventilatoire

À côté d'un objectif d'amélioration de l'hématose, la plupart du temps atteint sous VNI, la diminution du travail inspiratoire est l'objectif essentiel devant certaines atteintes pulmonaires (pneumopathies, syndrome de détresse respiratoire...) dont la physiopathologie va justifier une assis-

tance ventilatoire prolongée, dans l'attente de l'efficacité du traitement spécifique. D'un côté l'utilisation de niveau de supports ventilatoires trop élevés est susceptible d'augmenter les fuites, de générer une asynchronie patient-ventilateur, et donc de compliquer la gestion de la VNI en obérant ses résultats ; de l'autre, un niveau d'assistance insuffisant est susceptible de se traduire par une décharge insuffisante des muscles inspiratoires.

Données physiologiques disponibles permettant de guider ces choix

Peu de données sont disponibles concernant l'application d'une VNI à la phase aiguë de l'IRAH, en dehors de la situation spécifique de l'exacerbation de bronchopneumopathie chronique obstructive (IRA d'IRCO). Un certain nombre de justificatifs physiologiques dérivent de plus d'études réalisées chez des patients intubés.

De façon synthétique, nous aborderons dans un premier temps les arguments physiologiques de choix d'une modalité ventilatoire au cours de l'OAP, en faisant le lien avec les autres pathologies étudiées, puis dans un second temps nous aborderons la situation spécifique de l'IRAH (en dehors de l'OAP).

Œdème pulmonaire cardiogénique

La CPAP est certainement le mode ventilatoire non invasif actuellement le plus utilisé au quotidien dans cette indication. Les résultats cliniques de la CPAP et de l'AI + PEP semblent similaires au cours de l'OAP [19,20], le choix d'un mode ventilatoire dans cette indication repose actuellement plus sur une logique prenant en compte l'ergonomie, les conditions d'exercice, ainsi que les habitudes et pratiques de chaque service.

Conséquences physiologiques de l'OAP

L'OAP résulte d'une augmentation de l'eau libre intrapulmonaire et engendre une réduction des volumes pulmonaires [21]. Une hypercapnie est fréquemment observée chez les patients présentant un OAP [8,22]. Cette hypercapnie est le plus souvent considérée comme étant la conséquence d'un épuisement ventilatoire. La fatigue musculaire peut être liée à une augmentation importante du travail respiratoire, en raison à la fois de la compliance pulmonaire réduite et de l'augmentation des résistances des voies aériennes (œdème interstitiel et bronchique) [23-25]. La réduction de la compliance pulmonaire au cours de l'OAP est corrélée avec les anomalies des échanges gazeux [24].

La survenue d'une hypercapnie au cours de l'OAP est cependant potentiellement multifactorielle. Les patients présentant un OAP sont le plus souvent âgés et la plupart du temps polypathologiques, donc potentiellement porteurs d'une bronchopathie sous-jacente connue ou méconnue, ainsi que d'autres atteintes pulmonaires ou neuromusculaires.

Les muscles inspiratoires au cours de l'OAP génèrent de très importantes dépressions pleurales, ce qui augmente la pression transmurale et la postcharge du ventricule gauche [26,27]. La VNI, quelle qu'en soit la modalité, est donc

intrinsèquement susceptible de modifier l'hémodynamique des patients.

Effets de la CPAP au cours de l'OAP

La CPAP est la forme la plus simple de VNI et son utilisation en clinique est décrite dès les années 1930 par Barach et al. [28], ainsi que Poulton et Oxon [29]. Elle est habituellement obtenue sans l'utilisation de ventilateur, en connectant un masque hermétiquement appliqué au patient à une valve expiratoire, afin de maintenir un niveau de pression constante dans le circuit; le circuit est alimenté par une source de gaz frais. Aucune assistance à l'inspiration n'est donc fournie au patient. De multiples études cliniques suggèrent que l'utilisation de la CPAP chez des patients présentant un OAP sévère est rapidement associée à des bénéfices francs, tant au niveau hémodynamique que respiratoire [27,30-35].

Effets hémodynamiques de la CPAP au cours de l'OAP

Des études antérieures à 1945 démontraient déjà que l'application d'une respiration en pression positive à des patients en décompensation cardiaque permettait de diminuer, de façon significative, la dépression pleurale à l'inspiration, les pressions de remplissage du ventricule droit, et améliorerait ou prévenait la survenue de l'œdème pulmonaire [28,36].

L'application d'une CPAP de 5 cmH₂O permet d'améliorer l'index cardiaque et le volume d'éjection systolique, lorsque ceux-ci sont abaissés initialement [31]. Une amélioration supplémentaire peut être observée en augmentant le niveau de CPAP de 5 à 10 cmH₂O [30]. Chez les patients avec fonction systolique préservée (i.e. OAP sur dysfonction diastolique) l'effet hémodynamique principal de la CPAP semble uniquement lié à une diminution du volume télé-diastolique du ventricule gauche [37].

La CPAP entraîne également une réduction significative de la fréquence cardiaque [30,35], vraisemblablement en réponse à une augmentation du tonus parasympathique liée à l'inflation pulmonaire [38].

Effets respiratoires de la CPAP au cours de l'OAP

Les effets respiratoires essentiels de la CPAP au cours de l'OAP sont l'augmentation quasi constante de la capacité résiduelle fonctionnelle par réouverture alvéolaire, ainsi que l'effet positif potentiel de l'addition d'une pression expiratoire positive extrinsèque chez les patients présentant une pression expiratoire positive intrinsèque (auto-PEP) avec limitation des débits. En conséquence, l'oxygénation artérielle est améliorée [8,33] et les résistances des voies aériennes ainsi que le travail ventilatoire sont diminués [27,32,39].

Effets comparés de l'AI + PEP et de la CPAP au cours de l'OAP

L'AI + PEP associe les effets de la pression expiratoire positive à ceux d'une assistance ventilatoire en pression à l'inspiration, délivrée par le biais d'un ventilateur [1]. Ce type d'assistance ventilatoire correspondant donc en une CPAP associée à une aide inspiratoire, et serait donc ainsi susceptible d'améliorer les paramètres ventilatoires, et en

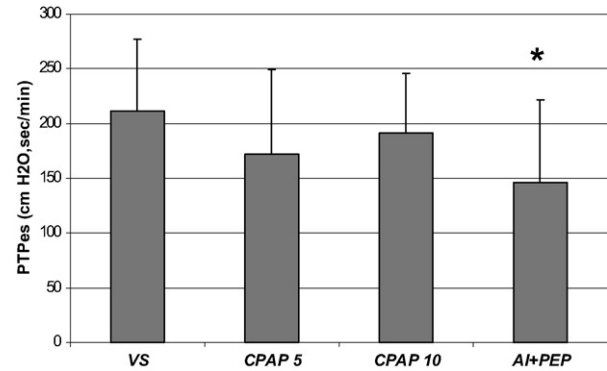


Figure 1 Comparaison des valeurs de PTP en fonction des réglages de la VNI chez des patients présentant un OAP stabilisé [42]. Les résultats sont présentés en valeur moyenne ± écart type. VS : ventilation spontanée ; CPAP 5 : Continuous Positive Airway Pressure à un niveau de 5 cmH₂O ; CPAP 10 : Continuous Positive Airway Pressure à un niveau de 10 cmH₂O ; AI + PEP : ventilation en aide inspiratoire (X cmH₂O) et pression expiratoire positive (X cmH₂O) ; **p* < 0,05 par rapport à la VS.

particulier de diminuer le travail respiratoire de façon plus précoce et importante que la CPAP seule.

Comparaison des effets hémodynamiques

Peu de données physiologiques sont disponibles concernant les effets hémodynamiques spécifiques de l'AI + PEP au cours de l'OAP, par rapport à celles disponibles avec la CPAP. Dans une étude de Bellone et al., CPAP et AI + PEP s'avéraient cependant équivalents en termes d'amélioration de la fraction d'éjection ventriculaire gauche et de diminution de la régurgitation fonctionnelle mitrale [40].

Comparaison des effets respiratoires

Comme signalé antérieurement, les effets respiratoires respectifs de la VNI en CPAP et en AI + PEP ont essentiellement été étudiés au cours des IRA d'IRCO. Appendini et al. ont ainsi démontré que la CPAP permettait dans cette indication de diminuer la charge inspiratoire des patients, mais que cet effet bénéfique était supérieur en cas d'utilisation d'une AI + PEP [41].

À notre connaissance, une seule étude physiologique s'est intéressée aux effets respectifs de ces différentes modalités de VNI chez des patients en OAP [42]. Dans l'étude de Chadda et al., des résultats similaires à ceux obtenus au cours des IRA d'IRCO étaient observés (Fig. 1) [42]. Même si les patients n'étaient inclus qu'après stabilisation clinique initiale et ne présentaient plus de signes cliniques patents de détresse respiratoire (fréquence respiratoire = 20 ± 2 c/min), cette étude favorise clairement sur le plan physiologique l'utilisation de l'AI + PEP au cours de l'OAP.

Autres causes d'IRAH

La caractéristique commune de ce type de détresses respiratoires aiguës (qui n'est en fait qu'un grand « fourre-tout » hétérogène regroupant de nombreuses situations et étiologies différentes), est que dans la très grande majorité des

cas la réversibilité de la pathologie causale (i.e. l'efficacité du traitement médical) est lente ; dans ces situations, l'assistance ventilatoire devra donc la plupart du temps être prolongée (6 ± 3 jours par exemple dans l'étude de Hilbert et al. [17]).

Effets de la CPAP au cours des IRAH

Même si la CPAP a longtemps été utilisée en routine dans cette indication [10,43,44], les données cliniques disponibles sont loin d'être aussi favorables que celles obtenues au cours de l'OAP. Dans l'étude prospective, randomisée, multicentrique de Delclaux et al. évaluant les effets de la CPAP chez 123 patients en détresse respiratoire aiguë (dont 102 patients sans cardiopathie sous-jacente), malgré des résultats cliniques et biologiques initialement favorables, la CPAP ne permettait pas d'éviter le recours à une intubation [45]. Elle était même susceptible d'induire plus d'effets secondaires que le traitement médical seul, vraisemblablement en raison d'un retard à l'intubation. Cet échec de la CPAP était, pour les auteurs, supposé être en partie lié à l'absence de diminution de l'effort inspiratoire des patients. Dans l'étude de Squadrone et al. en revanche, l'application d'une CPAP chez des patients en IRAH au décours d'un geste chirurgical abdominal s'avérait supérieure au traitement médical seul [13]. La mise à disposition du clinicien d'éléments physiologiques permettant de guider son choix dans l'application d'une modalité ventilatoire par rapport à l'autre est donc prégnante.

Les données physiologiques disponibles concernant l'utilisation de la CPAP seule au cours des IRAH sont malheureusement très rares. Au cours d'une étude physiologique réalisée chez des patients intubés pour IRAH, Katz et al. [11] ont montré que la CPAP utilisée seule permettait de réduire le travail inspiratoire des patients par rapport à la ventilation spontanée sur tube, après stabilisation initiale de la pathologie.

Effets comparés de l'AI + PEP et de la CPAP au cours des IRAH

Dans une étude physiologique également réalisée chez des patients intubés pour IRAH, l'association AI + PEP s'avérait supérieure à la CPAP seule, en termes d'amélioration clinique et de réduction de l'effort inspiratoire [46].

Dans l'étude physiologique de L'Her et al. [47] (Fig. 2), réalisée chez des patients en VNI pour IRAH, les variations observées du travail respiratoire sont concordantes avec celles obtenues chez les patients intubés, ainsi qu'avec les études cliniques tendant à démontrer un bénéfice potentiel de la VNI en termes de réduction du taux d'intubation [14-18,48]. L'application d'une CPAP dans ce collectif de patients présentant une IRAH sévère ($\text{PaO}_2/\text{F}_i\text{O}_2 = 131 \pm 61$) ne permettait pas de diminuer de façon significative le travail ventilatoire des patients. Seule l'application de niveaux d'AI élevés permettait de limiter de façon satisfaisante le travail inspiratoire, tout en supprimant la sensation de dyspnée. Ces niveaux d'AI élevés ne pouvaient être appliqués qu'en diminuant le niveau de PEP, au détriment de moins bons résultats sur le plan de l'hématose par rapport à la CPAP. Les auteurs concluaient que leurs résultats

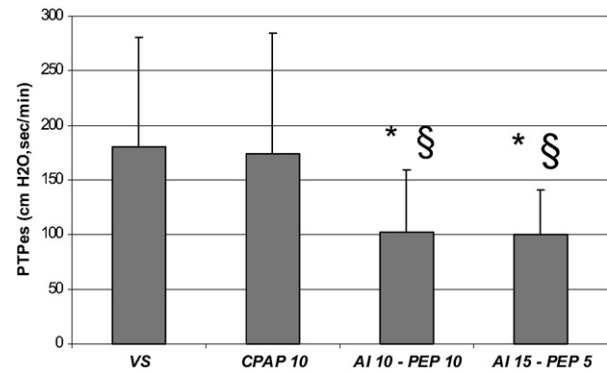


Figure 2 Comparaison des valeurs de PTP en fonction des réglages de la VNI chez des patients présentant une IRAH [47]. Les résultats sont présentés en valeur moyenne \pm écart type. VS : ventilation spontanée ; CPAP 10 : Continuous Positive Airway Pressure à un niveau de 10 cmH₂O ; AI 10-PEP 10 : ventilation en aide inspiratoire (10 cmH₂O) et pression expiratoire positive (10 cmH₂O) ; AI 15-PEP 5 : ventilation en aide inspiratoire (15 cmH₂O) et pression expiratoire positive (5 cmH₂O) ; * $p < 0,05$ par rapport à la VS ; § $p < 0,05$ par rapport à la CPAP.

suggéraient le caractère indispensable de l'utilisation de l'AI + PEP en cas de mise en route d'une VNI au cours de l'IRAH.

Au cours de l'IRAH, les objectifs de la VNI seront d'améliorer les paramètres cliniques et l'hématose, ainsi que de diminuer la charge des muscles inspiratoires. L'amélioration des paramètres cliniques et de l'hématose est assez facilement obtenue avec la CPAP qui permet de recruter des territoires alvéolaires non ventilés. Dans toutes les études concernant l'utilisation de la CPAP au cours de l'IRAH [13,44,45], cet effet est assez facilement obtenu avec un niveau de pression expiratoire positive de l'ordre de 10 cmH₂O. Cependant, il a également clairement été démontré que cet effet bénéfique n'est que transitoire. Dans l'étude de Delclaux et al., la différence en termes d'hématose par rapport aux résultats du traitement médical seul disparaissait au-delà de la 24^e heure [45].

Le choix d'un réglage optimal de VNI en AI + PEP devra donc tenir compte du compromis nécessaire entre l'amélioration de l'oxygénation (effet majoritaire de la PEP), diminution optimale du travail ventilatoire et amélioration de la tolérance (effet majoritaire de l'AI), et limitation des fuites (effet combiné, lié au niveau maximal de pression).

Conclusion

Les données physiologiques disponibles aujourd'hui supportent clairement l'utilisation de la VNI au cours des détresses respiratoires aiguës, malgré des résultats cliniques discordants en fonction des indications. Toutes indications confondues (OAP inclus), de multiples arguments physiologiques plaident pour une supériorité de l'AI + PEP par rapport à la CPAP, que ce soit en termes d'amélioration de la symptomatologie clinique (dyspnée en particulier [47]), ou encore et surtout en termes de réduction optimale du travail inspiratoire des patients.

L'utilisation de la CPAP se justifie au cours de l'OAP en raison d'un traitement médicamenteux standardisé, de la

rapidité de résolution de la pathologie et d'essais cliniques concordants. Au cours des autres IRAH, en revanche seule l'AI + PEP semble devoir être employée en se basant sur un argumentaire physiologique, compte tenu de la sévérité du pronostic de ces patients et de la nécessité d'une assistance ventilatoire prolongée. Dans ces indications, si la CPAP seule permet une amélioration optimale de l'oxygénation [12,47], elle est cependant incapable de réduire de façon significative le travail inspiratoire fourni par les patients [47].

Références

- [1] Mehta S, Hill NS. Non-invasive ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;163:540-77.
- [2] Tobin M. Advances in mechanical ventilation. *N Engl J Med* 2001;344:1986-96.
- [3] Evans TW. International Consensus Conferences in Intensive Care Medicine: non-invasive positive pressure ventilation in acute respiratory failure. *Intensive Care Med* 2001;27:166-78.
- [4] Antonelli M, Conti G, Moro ML, Esquinas A, Gonzalez-Diaz G, Confalonieri M, et al. Predictors of failure of non-invasive positive pressure ventilation in patients with acute hypoxemic respiratory failure: a multi-center study. *Intensive Care Med* 2001;27:1718-28.
- [5] Carlucci A, Richard J, Wysocki M, Lepage E, Brochard L. Ventilation SCGoM. Non-invasive vs conventional mechanical ventilation. An epidemiologic survey. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;163:874-80.
- [6] Domenighetti G, Gayer R, Gentilini R. Non-invasive pressure support ventilation in non-COPD patients with cardiogenic pulmonary edema and severe community acquired pneumonia: acute effects and outcome. *Intensive Care Med* 2002;28:1226-32.
- [7] Jolliet P, Abajo B, Pasquina P, Chevrolet JC. Non-invasive pressure support ventilation in severe community-acquired pneumonia. *Intensive Care Med* 2001;27:812-21.
- [8] Bersten AD, Holt AW, Vedig AE, Skowronski GA, Baggely CJ. Treatment of severe cardiogenic pulmonary edema with continuous positive airway pressure delivered by face mask. *N Engl J Med* 1991;325:1825-30.
- [9] Goldberg P, Reissmann H, Maltais F, Ranieri M, Gottfried SB. Efficacy of non-invasive CPAP in COPD with acute respiratory failure. *Eur Respir J* 1995;8:1894-900.
- [10] Hilbert G, Gruson D, Vargas F, Valentino R, Chene G, Boiron J-M, et al. Non-invasive continuous positive airway pressure in neutropenic patients with acute respiratory failure requiring intensive care unit admission. *Crit Care Med* 2000;28:3185-90.
- [11] Katz JA, Marks JD. Inspiratory work with and without continuous positive airway pressure in patients with acute respiratory failure. *Anesthesiology* 1985;63:598-607.
- [12] Delclaux C, L'Her E, Alberti C, Mancebo J, Abroug F, Conti G, et al. Treatment of acute hypoxemic non-hypercapnic respiratory insufficiency with continuous positive airway pressure delivered by a face mask. A randomised controlled trial. *JAMA* 2000;284:2352-60.
- [13] Squadrone V, Coxa M, Cerutti E, Schellino MM, Biolino P, Occella P, et al. Continuous positive airway pressure for treatment of postoperative hypoxemia: a randomised controlled trial. *JAMA* 2005;293:589-95.
- [14] Antonelli M, Conti G, Rocco M, Bufi M, De Blasi RA, Vivino G, et al. A comparison of non-invasive positive-pressure ventilation and conventional mechanical ventilation in patients with acute respiratory failure. *N Engl J Med* 1998;339:429-35.
- [15] Antonelli M, Contin G, Bufi M, Costa MG, Lappa A, Rocco M, et al. Non-invasive ventilation for treatment of acute respiratory failure in patients undergoing solid organ transplantation. A randomised trial. *JAMA* 2000;283:235-41.
- [16] Ferrer M, Esquinas A, Leon M, Gonzalez G, Alarcon A, Torres A. Non-invasive ventilation in severe hypoxemic respiratory failure: a randomised clinical trial. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;168:1438-44.
- [17] Hilbert G, Gruson D, Vargas F, Valentino R, Gbikpi-Benissan G, Dupon M, et al. Non-invasive ventilation in immunosuppressed patients with pulmonary infiltrates, fever, and acute respiratory failure. *N Engl J Med* 2001;344:481-7.
- [18] Martin TJ, Hovis JD, Costantino JP, Bierman MI, Donahoe MP, Rogers RM, et al. A randomised, prospective evaluation of non-invasive ventilation for acute respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;161:807-13.
- [19] Bellone A, Vettorello M, Monari A, Cortellaro F, Coen D. Non-invasive pressure support ventilation vs continuous positive airway pressure in acute hypercapnic pulmonary oedema. *Intensive Care Med* 2005;31:807-11.
- [20] Park M, Sangean MC, Volpe Mde S, Feltrim MI, Nozawa E, Leite PF, et al. Randomized, prospective trial of oxygen, continuous positive airway pressure, and bilevel positive airway pressure by face mask in acute cardiogenic pulmonary oedema. *Crit Care Med* 2004;32:2407-15.
- [21] Sharp JT, Griffith GT, Bunnell IL, Greene DG. Ventilatory mechanics in pulmonary oedema in man. *J Clin Invest* 1958;37:111-7.
- [22] Perel A, Williamson DC, Modell JH. Effectiveness of CPAP by mask for pulmonary oedema associated with hypercarbia. *Intensive Care Med* 1983;9:17-9.
- [23] Aubier M, Trippebach T, Rousson C. Respiratory muscle fatigue during cardiogenic shock. *J Appl Physiol* 1981;51:499-508.
- [24] Broseghini C, Brandolese R, Poggi R, Polese G, Manzin E, Milic-Emili J, et al. Respiratory mechanics during the first day of mechanical ventilation in patients with pulmonary oedema and chronic airway obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1988;138:355-61.
- [25] Field S, Kelly SM, Macklem PT. The oxygen cost of breathing in patients with cardiorespiratory disease. *Am Rev Respir Dis* 1982;126:9-13.
- [26] Buda AJ, Pinsky MR, Ingels Jr. NB, Daughters 2nd GT, Stinson EB, Alderman EL. Effect of intrathoracic pressure on left ventricular performance. *N Engl J Med* 1979;301:453-9.
- [27] Naughton MT, Rahman MA, Hara K, Floras JS, Bradley TD. Effect of continuous positive airway pressure on intrathoracic and left ventricular transmural pressures in patients with congestive heart failure. *Circulation* 1995;91:1725-31.
- [28] Barach A, Martin J, Eckman M. Positive pressure respiration and its application to the treatment of acute pulmonary oedema. *Ann Intern Med* 1938;12:754-95.
- [29] Poulton E, Oxon D. Left-sided heart failure with pulmonary edema —its treatment with the "pulmonary plus pressure machine". *Lancet* 1936;231:981-3.
- [30] Baratz DM, Westbrook PR, Shah PK, Moshenifar Z. Effect of nasal continuous positive airway pressure on cardiac output and oxygen delivery in patients with congestive heart failure. *Chest* 1992;102:1397-401.
- [31] Bradley T, Holloway R, Mc Laughlin P, Ross B, Walters J, Liu P. Cardiac output response to continuous positive airway pressure in congestive heart failure. *Am Rev Respir Dis* 1992;145:377-82.
- [32] Lenique F, Habis M, Lofaso F, Dubois-Randé JL, Harf A, Brochard L. Ventilatory and hemodynamic effects of continuous positive airway pressure in left heart failure. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;155:500-5.
- [33] Lin M, Yang YF, Chiang HT, Chang MS, Chiang BN, Cheitlin MD. Reappraisal of continuous positive airway pressure therapy in acute cardiogenic pulmonary oedema. Short-term results and long-term follow-up. *Chest* 1995;107:1379-86.

- [34] Räsänen J, Heikkilä J, Downs J, Nikki P, Vaisanen I, Viitanen A. Continuous positive airway pressure by face mask in acute cardiogenic pulmonary oedema. *Am J Cardiol* 1985;55:296-300.
- [35] Räsänen J, Vaisanen I, Heikkilä J, Nikki P. Acute myocardial infarction complicated by left ventricular dysfunction and respiratory failure. *Chest* 1985;87:158-62.
- [36] Emerson H. Artificial respiration in the treatment of oedema of the lungs. *Arch Intern Med* 1909;3:368-71.
- [37] Bendjelid K, Schutz N, Suter PM, Fournier G, Jacques D, Fareh S, et al. Does continuous positive airway pressure by face mask improve patients with acute cardiogenic pulmonary oedema due to left ventricular diastolic dysfunction? *Chest* 2005;127:1053-8.
- [38] Seals DR, Suwarno NO, Dempsey JA. Influence of lung volume on sympathetic nerve discharge in normal humans. *Circ Res* 1990;67:130-41.
- [39] Katz JA, Kraemer RW, Gjerde GE. Inspiratory work and airway pressure with continuous positive airway pressure delivery systems. *Chest* 1985;88:519-26.
- [40] Bellone A, Barbieri A, Ricci C, Iori E, Donateo M, Massobrio M, et al. Acute effects of non-invasive ventilatory support on functional mitral regurgitation in patients with exacerbation of congestive heart failure. *Intensive Care Med* 2002;28:1348-50.
- [41] Appendini L, Patessio A, Zanaboni S, Carone M, Gukov B, Donner CF, et al. Physiologic effects of positive end-expiratory pressure and mask pressure support during exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;149:1069-76.
- [42] Chadda K, Annane D, Hart N, Gajdos P, Raphaël J, Fofaso F. Cardiac and respiratory effects of continuous positive airway pressure and non-invasive ventilation in acute cardiac pulmonary oedema. *Crit Care Med* 2002;30:2457-61.
- [43] Sadovnikoff N, Varon J. CPAP mask management of varicella-induced respiratory failure. *Chest* 1993;103:1894-5.
- [44] L'Her E, Moriconi M, Texier F, Bouquin V, Kaba L, Renault A, et al. Non-invasive continuous positive airway pressure in acute hypoxaemic respiratory failure—experience of an emergency department. *Eur J Emerg Med* 1998;5:313-8.
- [45] Delclaux C, L'Her E, Alberti C, Mancebo J, Abroug F, Conti G, et al. Treatment of acute hypoxemic non-hypercapnic respiratory insufficiency with continuous positive airway pressure delivered by a face mask: A randomised controlled trial. *JAMA* 2000;284:2352-60.
- [46] Viale JP, Annat GJ, Bouffard YM, Delafosse BX, Bertrand OH, Motin JP. Oxygen cost of breathing in post-operative patients: pressure support ventilation vs continuous positive airway pressure. *Chest* 1988;93:506-9.
- [47] L'Her E, Deye N, Lellouche F, Taille S, Demoule A, Fraticelli A, et al. Physiologic effects of non-invasive ventilation during acute lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 2005;172:1112-8.
- [48] Confalonieri M, Potena A, Carbone G, Della Porta R, Tolley EA, Meduri GU. Acute respiratory failure in patients with severe community-acquired pneumonia. A prospective randomised evaluation of non-invasive ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;160:1585-91.