

Aspects pratiques et techniques de la ventilation non invasive

C. Perrin, V. Jullien, F. Lemoigne

Résumé

Introduction La ventilation non invasive désigne communément une ventilation mécanique en pression positive au cours de laquelle la connexion entre le patient et le ventilateur est assurée par un masque ou un embout buccal. Ce procédé d'assistance ventilatoire qui par le passé nécessitait la confection d'interfaces sur mesure pour sa réalisation, a connu ces 15 dernières années de nombreuses améliorations technologiques.

État des connaissances Les interfaces, principalement de type industriel, sont représentées par des masques nasaux ou faciaux et des embouts buccaux. Les caractéristiques techniques de chaque type d'interface, de même que leurs avantages et inconvénients sont décrits. Des ventilateurs à régulation de volume ou à régulation de pression sont disponibles pour la ventilation non invasive à domicile. Très proches des ventilateurs de réanimation dans leur fonctionnement, leur miniaturisation, leur discrétion sonore et leur faible coût caractérisent leur évolution. Les particularités techniques des circuits de ventilation utilisés à domicile sont également rapportées. Enfin, des éléments pratiques pour le choix et l'entretien des matériels sont proposés.

Conclusions Malgré les progrès, la ventilation non invasive reste une technique délicate dont le succès est conditionné par l'expérience et le savoir faire du praticien.

Mots-clés : Ventilation non invasive • Ventilation mécanique • Aspects techniques • Ventilation à domicile • Interfaces.

Service de Pneumologie, Hôpital Pasteur, Centre Hospitalier et Universitaire de Nice, France.

Tirés à part : C. Perrin, Service de Pneumologie, Hôpital Pasteur, 30, avenue de la voie romaine, BP 69, 06002 Nice Cedex 1.
perrin.cp@chu-nice.fr

Réception version princeps à la Revue : 22.12.2003.
Retour aux auteurs pour révision : 01.01.2004.
Réception 1^{ère} version révisée : 01.01.2004.
Acceptation définitive : 06.04.2004.

Rev Mal Respir 2004 ; 21 : 556-66

Practical and technical aspects of noninvasive ventilation

C. Perrin, V. Jullien, F. Lemoigne

Summary

Introduction Noninvasive ventilation refers to the delivery of positive pressure ventilation via a mask or "interface" rather than via an invasive conduit. Until recently, equipment for noninvasive ventilation was frequently custom-made to meet the needs of an individual patient. During the past 15 years, there have been significant advances in the equipment available for noninvasive ventilation.

State of the art Interfaces that have been designed specifically for noninvasive ventilation are now commercially available from several manufacturers. Commonly used interfaces include nasal and full face masks, and mouthpieces. The main characteristics, and potential advantages and disadvantages of each interface are described. Portable volume-limited or pressure-limited ventilators are available for home noninvasive ventilation. As with critical care ventilators, home mechanical ventilators are capable of delivering a variety of modes of ventilation. Furthermore, they are lightweight and economical. Technical aspects of ventilator circuits are also discussed here and some practical considerations about selection and maintenance of materials are proposed.

Conclusions Although major technical advances have been made, optimal delivery of noninvasive ventilation requires knowledge of, and experience with, the application of the equipment used.

Key-words: Noninvasive Ventilation • Mechanical Ventilation • Home Mechanical Ventilation • Technical Aspects • Interfaces.

Introduction

La ventilation non invasive (VNI) est une technique d'assistance ventilatoire qui n'utilise pas d'interface endotrachéale entre patient et ventilateur. Différents types de ventilateurs en pression négative incluant le poumon d'acier, la cuirasse ou le poncho répondent à cette définition [1-4]. En réalisant une dépression péri-thoracique et péri-abdominale intermittente, ces techniques facilitent l'expansion thoracique. Toutefois, la mise en place et le réglage de ces procédés d'assistance ventilatoire sont réputés difficiles [5]. De plus, l'inefficacité de ces méthodes en cas de perturbations importantes de la mécanique ventilatoire et leurs effets indésirables à type d'apnées obstructives au cours du sommeil dans certaines maladies neuromusculaires [6, 7], limitent la ventilation en pression négative à une alternative éventuelle en cas d'échec de la ventilation non invasive en pression positive [8]. Les aspects techniques particuliers de la ventilation en pression négative ne seront pas abordés dans cette mise au point.

En matière de ventilation non invasive en pression positive, bien qu'il ait été démontré que la pression positive continue (PPC) ou *continuous positive airway pressure* (CPAP) des Anglo-Saxons puisse diminuer le travail des muscles respiratoires chez les patients obstructifs [9], elle ne permet pas d'améliorer significativement le volume courant et les échanges gazeux [9]. Ainsi, la PPC ne peut être considérée comme une véritable technique de ventilation mécanique [4].

Pour toutes ces raisons, la VNI désigne communément la ventilation non invasive en pression positive intermittente pratiquée à l'aide d'un ventilateur à régulation de volume ou à régulation de pression et au cours de laquelle la connexion entre le patient et le ventilateur est assurée par un masque ou un embout buccal [10-14]. Bien que le vocable « ventilation non invasive » puisse suggérer « simplicité », la VNI est un procédé d'assistance ventilatoire éminemment délicat dont le succès dépend de connaissances techniques spécifiques et de l'expérience du praticien. Cet article tente de faire le point sur les particularités techniques de la VNI et propose des éléments pratiques pour le choix des matériels et leur entretien.

Les interfaces

Les masques

Comme pour la PPC, les masques utilisés aujourd'hui pour la VNI sont dans la majorité des cas de type industriel et

ABRÉVIATIONS :

CPAP :	Continuous positive airway pressure
PPC :	Pression positive continue
PEP :	Pression positive télé-expiratoire
VDNP :	Ventilateur à double niveau de pression
VNI :	Ventilation non invasive
VRP :	Ventilateur à régulation de pression
VRV :	Ventilateur à régulation de volume

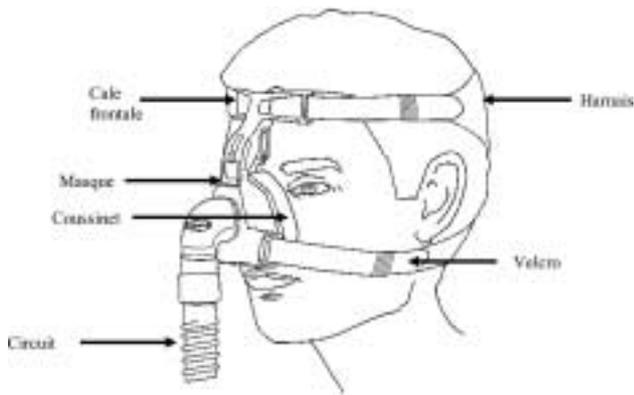


Fig. 1.
Masque nasal industriel avec points d'appui sur le pourtour du nez.

recouvrent soit le nez (masque nasal) soit le nez et la bouche (masque facial) (fig. 1, 2 et 3). Ces masques sont habituellement constitués d'une coque transparente en matière plastique bordée d'un coussinet sur son pourtour afin d'assurer une

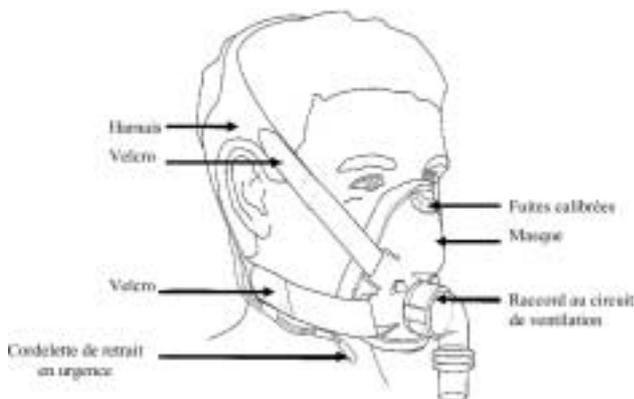


Fig. 2.
Masque facial industriel.

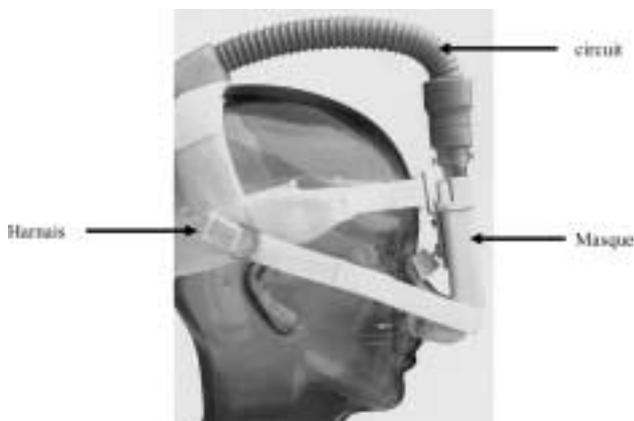


Fig. 3.
Masque nasal industriel avec canules.

étanchéité entre le masque et la peau, et le confort du patient. L'air est insufflé et expiré au travers d'un orifice de 15 ou 22 mm de diamètre situé dans la portion centrale de la coque ou dans sa partie supérieure. Un harnais de fixation est nécessaire pour stabiliser le masque et pour éviter son décollement du visage lors de l'insufflation (fig. 1, 2 et 3). Les harnais de fixation dont le système de fermeture est habituellement de type « velcro », sont classés en fonction de leur taille et du nombre de points de fixation qu'ils ont sur le masque. La majorité d'entre eux comportent 2 branches horizontales qui passent autour de la tête, d'arrière en avant, au dessus et au dessous des oreilles, pour rejoindre leurs points de fixation situés sur les faces latérales du masque. D'autres comportent en plus une sangle verticale solidaire de la branche horizontale supérieure ou inférieure dont le rôle est de maintenir le masque par son pôle supérieur. Un autre type de harnais est représenté par un bonnet à partir duquel émanent les branches de fixation du masque. Les harnais de fixation sont généralement fabriqués en matière souple et sont lavables.

Les masques nasaux

Deux types de masques nasaux industriels sont disponibles. L'un d'eux comporte des embouts qui s'appliquent très intimement au contact des narines, réalisant pratiquement une canulation (fig. 3) (Masque Adam[®], Puritan Bennett, Courtaboeuf, France ; Nasal Seal Headgear[®], Bio MS, Pau, France). Deux ou trois tailles de ce type de masque sont disponibles. L'avantage de cette catégorie de masque est d'éviter tout contact avec l'arête nasale qui est habituellement une zone très vulnérable à la pression. En contrepartie de cet avantage, ces systèmes sont relativement difficiles à maintenir en bonne position du fait de la faible surface de contact avec le visage [15].

Le deuxième type de masque, beaucoup plus fréquemment utilisé, recouvre le nez en prenant généralement appui sur l'arête nasale, la face interne des pommettes et la lèvre supérieure (fig. 1). Produit par de nombreuses sociétés, une grande variété de modèles et de tailles est ainsi proposée. Pour la plupart, ces masques sont fabriqués en chlorure de polyvinyle et leur poids est environ de 30 à 50 grammes. Des complications cutanées au niveau des points d'appui du masque, à type d'érythème ou même parfois d'escarre [16, 17] peuvent amener le patient à interrompre la ventilation non invasive [18]. Ainsi, de nombreuses améliorations dans la fabrication des masques ont été apportées ces dernières années. En particulier, des masques avec coussinets en silicone ou remplis de gel ont été commercialisés (« masque Healthdyne[®] », Healthdyne BIO MS, Pau, France ; masque Bulle[®], Rescare Premium Medical, North Ryde, Australie ; masque Mirage[®], ResMed, Saint-Priest, France ; masque Ultra-Mirage[®], ResMed, Saint-Priest, France ; masque Profile[®], Respironics, Nantes, France ; Masque GoldSeal[®], Respironics, Nantes, France ; masque Mirage Activa[®], ResMed, Saint-Priest, France ; Nasal Masks[®], Hans Rudolph, Kansas City, MO,

États Unis). Des anneaux en plastique peuvent être placés autour du coussinet afin d'éviter son écrasement (masque Profile®, Respironics, Nantes, France). Des cales frontales en mousse ou en silicone, adjoindes ou intégrées au masque, permettent de mieux répartir les zones de pression du masque au niveau du visage et diminuent l'appui trop souvent maximal sur l'arête nasale (*fig. 1*). Depuis peu, un nouveau masque articulé dans le sens vertical et horizontal par rapport au harnais de fixation, permet d'épouser au mieux les contours du visage sous réserve d'une taille adaptée (masque Mirage Vista®, ResMed, Saint-Priest, France). En améliorant l'étanchéité des masques, ces procédés permettent de minimiser le serrage du harnais et d'améliorer le confort du patient. Aussi, des « mini » masques sont disponibles (mini masque Monarch®, Respironics, Nantes, France ; masque Mirage Vista®, ResMed, Siant-Priest, France). Laissant l'arête nasale libre, ces masques limitent les points d'appui cutanés de même que la sensation de claustrophobie que peuvent éprouver certains patients. De plus, ils autorisent le port des lunettes pour la lecture ou pour regarder la télévision pendant la ventilation. Enfin, un type de « mini » masque présente des clips au niveau de son raccord de connexion au circuit de ventilation permettant au patient de garder son masque pour se lever pendant la nuit sans être obligé d'ôter le harnais (masque Mirage Vista®, ResMed, Siant-Priest, France).

La fréquence de changement du masque est complètement dépendante de la façon dont il est entretenu et aussi de son modèle. En effet, afin de réduire les coûts certains fabricants proposent d'utiliser une doublure sous forme d'une fine membrane en silicone pour recouvrir le coussinet en contact avec la peau (Masque Nasal Silicone Réutilisable®, Respironics, Nantes, France). Cette membrane est à changer régulièrement pour assurer le maintien de l'étanchéité sans devoir changer la totalité de l'interface. D'autres proposent de conserver la coque rigide du masque et de ne remplacer que le coussinet en silicone au contact de la peau (Masque Bulle®, Rescare Premium Medical, North Ryde, Australie ; Masque Mirage®, ResMed, Saint-Priest, France ; Masque Ultra-Mirage®, ResMed, Saint-Priest, France).

Malgré la grande variété de masques nasaux industriels, des fuites d'air autour du masque ou des problèmes de lésions cutanées peuvent persister. Ainsi, des masques nasaux sur mesure peuvent être confectionnés. Le plus souvent, ce type de masque utilise une pâte de silicone directement appliquée sur le visage du patient, autorisant ainsi un véritable moulage [12, 19]. Le masque est recouvert d'une coque en plastique thermoformable qui permet la fixation des attaches de maintien autour de la tête. L'insufflation d'air est assurée par 2 tubes de silicone armé traversant la coque de plastique et le masque, orientés dans l'axe des narines. D'autres types de masques moulés en acrylique nécessitant la réalisation d'un négatif en plâtre et l'intervention d'un prothésiste maxillo-facial ont été proposés [20, 21]. Bien que les masques sur mesure offrent

certains avantages : diminution des fuites, meilleure tolérance cutanée, faible espace mort [22], ils nécessitent du temps pour les réaliser et surtout un personnel très entraîné pour satisfaire leur objectif.

Les fuites d'air par la bouche sont fréquentes au cours de la VNI par masque nasal. Hormis la sécheresse buccale qu'elles occasionnent, il a été montré qu'elles peuvent provoquer de nombreux micro-éveils et ainsi altérer la qualité du sommeil [23]. Pour les contrôler, l'utilisation d'une mentonnière ou d'un collier cervical limitant la chute du maxillaire inférieur au cours du sommeil est en général proposée. Bien que ces méthodes soient souvent contributives, les fuites buccales peuvent être irréductibles dans un petit nombre de cas et amener le praticien à choisir un autre type d'interface.

Les masques faciaux

Bien loin des masques faciaux en plastique dur opaque avec rebord en caoutchouc utilisés lors d'une induction anesthésique ou pour ventiler un patient au « ballon » en situation d'arrêt circulatoire, des masques faciaux industriels spécifiquement conçus pour la VNI sont actuellement disponibles (*Full Face Mask*®, Respironics, Nantes, France ; Masque Facial Mirage®, ResMed, Saint-Priest, France ; Masque Naso-Buccal®, Rüsche, Le Faget, France). En prenant appui sur l'arête nasale, les pommettes et recouvrant la lèvre inférieure ou le menton, le masque facial permet de limiter les fuites d'air par la bouche rencontrées au cours de la ventilation nasale (*fig. 2*). Il est maintenu en place par un système de harnais autour de la tête. Beaucoup plus léger que le masque facial d'anesthésie-réanimation et fabriqué en matière plastique transparente, la sensation de claustrophobie ressentie par certains patients est ainsi réduite. Sur son pourtour, un coussinet en silicone améliore le confort du sujet. Largement utilisé pour la VNI en réanimation [4, 14], ce type de masque est aussi utilisable pour la ventilation à domicile [13, 24]. En fonction des fabricants, 3 à 6 tailles de masque sont disponibles. Parmi les inconvénients, des fuites d'air sur le pourtour du masque sont fréquentes surtout si le patient est édenté. Ainsi, la rigueur dans le choix de la taille du masque et l'utilisation de cales frontales sont importantes pour optimiser l'étanchéité de l'interface. De plus, et contrairement à la ventilation nasale, le masque facial empêche le patient de parler et de s'alimenter pendant la ventilation. Enfin, des complications, certes rares, mais redoutables peuvent survenir au cours de la VNI par masque facial, en particulier lorsqu'il s'agit de handicapés moteurs avec atteinte des membres supérieurs. Elles associent risque d'inhalation de liquide gastrique [25] et risque d'asphyxie en cas de panne du ventilateur. Il est donc conseillé de ne pas débiter la ventilation par masque facial en période post-prandiale avant 2 ou 3 heures. Pour parer à ces risques, les masques faciaux comportent généralement un système de sécurité pour dégrafer très rapidement le harnais de fixation et retirer l'interface en cas de problème (*fig. 2*). Enfin, il est recommandé d'incorporer sur le circuit et à proximité du mas-

que, une valve de sécurité pour permettre au patient de respirer même en cas de panne du ventilateur. Certains masques intègrent d'emblée ce type de valve (*Full Face Mask*[®], Respironics, Nantes, France). Pour les patients n'ayant plus l'usage de leurs membres supérieurs, un masque facial solidaire d'une pièce dentaire endo-buccale en acrylique (faite sur mesure) peut être proposé [26]. En l'absence de système d'attache externe, le patient peut ainsi expulser le masque avec la langue en cas de problème.

La supériorité du masque nasal ou facial reste controversée dans la littérature. Dans un travail portant sur 26 patients atteints d'insuffisance respiratoire chronique en état stable et ventilés pendant 30 minutes, Navalesi et coll. [24] ont montré que le masque nasal était mieux toléré que le masque facial. Toutefois, ce dernier permettait d'insuffler de plus grands volumes et autorisait une diminution de l'hypercapnie significativement supérieure. Dans un autre travail réalisé en unité de soins intensifs et concernant des patients atteints d'insuffisance respiratoire aiguë, le masque facial était mieux toléré que le masque nasal alors que l'amélioration des gaz du sang était similaire dans les 2 groupes [14]. Les différences de gravité des patients, de durée de ventilation et de matériel utilisé pourraient expliquer en partie ces résultats divergents.

En général, le masque nasal représente l'interface de première intention au cours de la VNI à domicile et le masque facial, une alternative en cas d'échec.

Les embouts buccaux ou pièces buccales

Ces interfaces ont été utilisées avec succès pour la VNI de patients atteints de maladie neuromusculaire [27-29]. Il s'agit d'un embout en matière plastique mis à la bouche et qui peut être maintenu de différentes façons : par la main, en le serrant entre les dents, à l'aide d'un moulage dentaire débordant sur les gencives, par un harnais de fixation placé autour de la tête ou par un bras métallique orientable solidaire du fauteuil roulant. Ces interfaces sont généralement bien tolérées car n'entravent pas la parole et autorisent un supplément de ventilation pendant la journée que le patient adapte à ses besoins. Les fuites d'air par le nez sont facilement contrôlées par l'utilisation d'un pince nez ou de morceaux de coton placés dans les narines [30]. L'hypersalivation qui est fréquente au début tend à diminuer avec l'habitude et la sécheresse buccale peut être facilement contrôlée par l'adjonction d'une humidification. Toutefois, la survenue de problèmes orthodontiques après plusieurs années d'utilisation a été rapportée [30]. Enfin, la faiblesse extrême des muscles faciaux et péri-buccaux est une limite à la ventilation mécanique par embout buccal.

Ventilateurs et modes ventilatoires

Des ventilateurs portables spécifiquement conçus pour la ventilation à domicile sont disponibles. En fonction des fabricants et de leur performance, leur poids peut varier de 2,5 à

12 kg environ. Conformément aux ventilateurs utilisés en réanimation pour le traitement de l'insuffisance respiratoire aiguë, il s'agit de ventilateurs à régulation de volume (VRV) (Eole 3[®], Saime, Savigny-le-Temple, France ; Home 2[®], Airox, Pau, France) ou à régulation de pression (VRP) (O'NYX Plus[®], Nellcor Puritan Bennett, Courtaboeuf, France ; Helia[®], Saime, Savigny-le-Temple, France) [31-35]. Ces 2 types d'appareils étant respectivement définis par le choix entre la consigne de volume insufflé ou de pression inspiratoire que l'on prédétermine. Depuis le début des années 2000, des ventilateurs portables de type mixte sont commercialisés (PV 403[®], Breas, Compiègne, France ; Ultra-VS[®], Saime, Savigny-le-Temple, France ; Legendair[®], Airox, Pau, France). Il s'agit de ventilateurs capables de réaliser une ventilation en volume ou en pression.

Les ventilateurs de domicile sont alimentés par une source d'énergie électrique qui permet le fonctionnement d'un soufflet ou d'une turbine. De l'air ambiant est ainsi puisé dans la pièce et propulsé dans les voies aériennes du sujet selon un trajet obligatoire représenté par le circuit de ventilation. Un système électronique permet les réglages du ventilateur et le contrôle du bon fonctionnement de la machine en adéquation avec les paramètres prédéterminés. Enfin, certains ventilateurs comportent une batterie interne permettant au ventilateur une autonomie de 3,5 à 6 heures et sont munis d'alarmes.

En ventilation en volume, le clinicien règle un volume courant. La durée de l'insufflation (T_i) est réglée soit directement soit indirectement par le biais du réglage du rapport durée de l'insufflation/durée de l'expiration (I/E) ou du rapport durée de l'insufflation/durée totale du cycle (T_i/T_{tot}). Ces ventilateurs peuvent fonctionner soit en mode « contrôlé » (fréquence respiratoire fixe) soit en mode « assisté-contrôlé » : fréquence respiratoire asservie à la fréquence des efforts inspiratoires du patient (déclenchements). Ce dernier mode nécessite de régler un seuil de déclenchement. Ce seuil correspond à la valeur de dépression intrathoracique (déclenchement en pression) ou de débit inspiratoire (déclenchement en débit) généré en début d'inspiration par le patient que le ventilateur reconnaît comme signal d'insufflation [36].

Les VRP peuvent fonctionner soit en mode « assisté-contrôlé » soit en mode « spontané ». En mode « assisté-contrôlé » la durée de la phase inspiratoire est fixe et réglée soit directement (T_i) soit indirectement par le biais de la fréquence respiratoire de consigne et du rapport I/E ou T_i/T_{tot} . En mode « spontané », la durée de l'insufflation est variable. Le passage de l'insufflation à l'expiration est basé sur une variation du débit d'insufflation. Dans ce cas on prédétermine une diminution (en %) du débit d'insufflation par rapport au débit maximal à partir de laquelle le ventilateur cesse d'insuffler. Certains VRP proposent même le réglage de 2 niveaux de temps inspiratoire (en secondes), un minimum et un maximum, appelés respectivement « *IPAP min* » et « *IPAP max* ». Dans ce cas, la durée d'insufflation du patient ne peut pas être

Tableau I.

Sigles utilisés pour le réglage des ventilateurs et leur signification.

Pression positive inspiratoire : P, IPAP
Volume courant : Vt
Pression positive télé-expiratoire : PEP, EPAP, PEEP
Seuil de déclenchement : SD, trigger
Durée inspiratoire : Ti, %IPAP, %Ti/Ttot, I/E, IPAP min, IPAP max, % fin I
Fréquence respiratoire : fR, F mini
Temps de montée en pression (VRP) : TMPI, pente
Débit constant ou décélérant (VRV) : pente
Ventilation spontanée : AI, AI-VS, PA, PSV, S
Ventilation assistée-contrôlée : VAC, VPAC, ST
Ventilation contrôlée : VC, T

P : pression ; IPAP : *inspiratory positive airway pressure* ; Vt : volume courant ; PEP : pression expiratoire positive ; EPAP : *expiratory positive airway pressure* ; PEEP : *positive end-expiratory pressure* ; SD : seuil de déclenchement ; Ti : temps inspiratoire ; %IPAP : % *inspiratory positive airway pressure* ; %Ti/Ttot : % temps inspiratoire/temps total du cycle ventilatoire ; I/E : inspiration/expiration ; %fin I : durée d'insufflation basée sur une variation de débit ; fR : fréquence respiratoire ; F mini : fréquence respiratoire sentinelle ; VRP : ventilateur à régulation de pression ; TMPI : temps de montée en pression ; VRV : ventilateur à régulation de volume ; AI : aide inspiratoire ; AI-VS : ventilation spontanée avec aide inspiratoire ; PA : pression assistée ; PSV : *pressure support ventilation* ; S : *spontaneous* ; VAC : ventilation assistée-contrôlée ; VPAC : ventilation en pression assistée-contrôlée ; ST : *spontaneous-timed* ; VC : ventilation contrôlée ; T : *timed*.

inférieure à celle déterminée par le temps inspiratoire minimum et ne peut pas être prolongée au-delà de celle fixée par le temps inspiratoire maximum. Le réglage du seuil de déclenchement se fait sur un signal de pression (« trigger » en pression) ou de débit (« trigger » en débit). Le réglage d'une pression positive télé-expiratoire (PEP) a pour but de lever l'obstruction pharyngée en cas d'apnées obstructives du sommeil [37] ou de faciliter le déclenchement du ventilateur en cas de pression positive expiratoire intrinsèque [9], notamment au cours des broncho-pneumopathies chroniques obstructives. Au cours de la ventilation mécanique en mode « spontané », le patient contrôle le début et la fin de l'insufflation. En effet, en raison d'un « % Fin I » prédéterminé et intégré au logiciel du ventilateur, ce sont les caractéristiques physiques broncho-pulmonaires du sujet qui déterminent l'arrêt de l'insufflation. Bien que l'utilisation de ce mode ventilatoire n'autorise pas en théorie le réglage de la fréquence respiratoire ni celui de la durée d'insufflation, bon nombre de ventilateurs proposant un mode dit « spontané » permettent malgré tout d'intervenir sur ces paramètres. Les principaux sigles utilisés par les fabricants pour désigner différents paramètres de réglage et leur signification sont présentés dans le *tableau I*.

Alors que l'avantage du VRV est le respect absolu de la consigne de volume courant prédéterminé quelles que soient les caractéristiques mécaniques de l'appareil respiratoire, le volume d'air insufflé par un VRP est le résultat de l'interaction entre la pression prédéterminée sur le ventilateur et les proprié-

tés physiques du poumon. Ainsi, en cas d'augmentation des résistances bronchiques ou de chute de la compliance thoraco-pulmonaire, le volume courant insufflé par ce type de ventilateur est susceptible de diminuer [38]. Bien qu'aucune différence d'efficacité n'ait été démontrée entre VRV et VRP au cours de la ventilation d'insuffisants respiratoires chroniques en état stable et en situation d'éveil [31, 32, 35], la comparaison de ces 2 catégories d'appareils utilisés la nuit pendant 6 mois a révélé qu'un tiers des patients présentait une majoration de l'hypercapnie après 1 mois de traitement avec VRP [34]. Ainsi, certains VRP proposent, en mode « spontané » ou « assisté-contrôlé » de prédéterminer un volume courant insufflé de sécurité qui peut être respecté en autorisant un surcroît (défini) de pression positive inspiratoire. Alors que le VRV délivre l'assistance ventilatoire sans tenir compte des demandes du patient et qu'en cas de fuites le volume courant disponible pour l'insufflation pulmonaire est diminué d'autant, il est admis que le VRP améliore le confort du patient [39-41] et peut compenser les fuites survenant sur le circuit de ventilation ou au niveau de l'interface [42].

Depuis une dizaine d'années, une variété de VRP appelés « ventilateurs à double niveau de pression (VDNP) » sont fabriqués pour la VNI à domicile (*Quantum PSV*[®], BIO MS, Pau, France ; *VPAP ST II*[®], ResMed, Saint-Priest, France ; *VPAP ST III*[®], ResMed, Saint-Priest, France ; *Harmony*[®], Respironics, Nantes, France ; *BIPAP Synchrony*[®], Respironics, Nantes, France ; *Smartair*[®], Airox, Pau, France). Ces appareils utilisent un circuit de ventilation monobranche avec fuite intentionnelle (cf infra), sont de petite taille et ont l'avantage d'être facilement transportable, silencieux et meilleur marché. Bien qu'ils autorisent les modes de ventilation « spontané » et « assisté-contrôlé », ces ventilateurs ne permettent pas d'accéder au réglage du seuil de déclenchement (prédéterminé très sensible dans le logiciel du ventilateur) et en général ne comportent pas de batterie interne ni d'alarme.

Les alarmes sont plus ou moins sophistiquées en fonction des ventilateurs. Elles sont généralement sonores et le dysfonctionnement est habituellement signalé sur l'écran d'affichage de l'appareil. La majorité des ventilateurs comportent des alarmes d'alimentation et de fonctionnement. L'alarme d'alimentation signale une perte d'énergie électrique. C'est le cas par exemple lorsque le cordon d'alimentation est enlevé par inadvertance de la prise murale ou s'est désolidarisé du ventilateur. Les alarmes de fonctionnement sont déclenchées par un fonctionnement anormal de l'appareil lorsque les paramètres pression, volume ou fréquence respiratoire prédéterminés chutent en deçà d'une plage prévue. Dans le cas d'un VRV, la pression dans les voies aériennes résulte de l'interaction entre le volume insufflé et les caractéristiques physiques du poumon (résistance et compliance). Ainsi, des alarmes de pression « haute » et de pression « basse » permettent de détecter respectivement un obstacle ou une fuite sur le circuit de ventilation. Certains VRV utilisant un circuit de ventilation double branche

(cf. *infra*) comportent en plus une alarme permettant de signaler un volume courant expiré insuffisant, par exemple en cas de fuites. En matière de VRP, le volume insufflé étant la conséquence de l'interaction entre la pression qui est prédéterminée et les propriétés mécaniques du poumon, des alarmes de « haut » volume et de « bas » volume autorisent respectivement le dépistage d'une fuite ou d'un obstacle sur le circuit. D'autres VRP proposent également une alarme qui peut retentir lorsque la pression prédéterminée ne peut être atteinte, témoin de fuite non intentionnelle. Quelques ventilateurs sont munis d'alarmes portant sur les circuits de contrôle de l'appareil et préviennent l'opérateur de réglages incompatibles, comme par exemple un rapport I/E inversé. Enfin, d'autres ventilateurs peuvent comporter des alarmes signalant une fraction inspirée d'oxygène trop haute ou trop basse.

Les circuits de ventilation et systèmes d'humidification

Le circuit de ventilation permet de raccorder l'interface du patient au ventilateur et a pour fonction de diriger les gaz qui sont insufflés par la machine et expirés par le patient. Les ventilateurs de réanimation comportent une valve expiratoire intégrée permettant l'évacuation des gaz expirés qui sont ramenés au ventilateur. Ces appareils utilisent donc un circuit de ventilation double branche constitué de 2 tuyaux de 1,50 m de long environ, réalisant chacun une partie inspiratoire et une partie expiratoire distinctes. Dans ce système, le gaz insufflé par le ventilateur empreinte un trajet différent de celui utilisé par le gaz expiré qui est ramené à la machine. De plus, un système de valve anti-retour empêche les gaz expirés d'emprunter la partie inspiratoire du circuit. Enfin, un à deux pièges à eau sont intercalés sur la partie expiratoire pour protéger le ventilateur d'un surcroît d'humidité. Pour la ventilation à domicile, certains ventilateurs comportent également une valve expiratoire intégrée qui autorise l'utilisation d'un circuit double branche et un monitoring du volume expiré. D'autres ventilateurs ne permettent pas le retour des gaz expirés à la machine et leur évacuation au travers de l'appareil. Ces ventilateurs utilisent un circuit monobranche. Deux types de circuit monobranche sont disponibles. Bien que tous deux correspondent à un tuyau unique de 1,50 à 2 mètres de long, l'un d'eux comporte une valve expiratoire externe ou auto-pilotée et l'autre nécessite un système de fuite intentionnelle pour l'expiration. La valve expiratoire externe fabriquée en matière plastique est insérée sur le circuit monobranche à proximité de l'interface. Il s'agit d'un boîtier de petite taille dont l'orifice interne, permettant l'échappement des gaz expirés, est obturé au cours de l'insufflation par le jeu d'une membrane en caoutchouc (fig. 4). Un tuyau de faible diamètre raccordant le pôle supérieur de la valve expiratoire au circuit d'insufflation interne du ventilateur commande l'action de cette membrane d'où le nom de valve auto-pilotée. Ainsi, au cours de l'insufflation d'un VRV ou

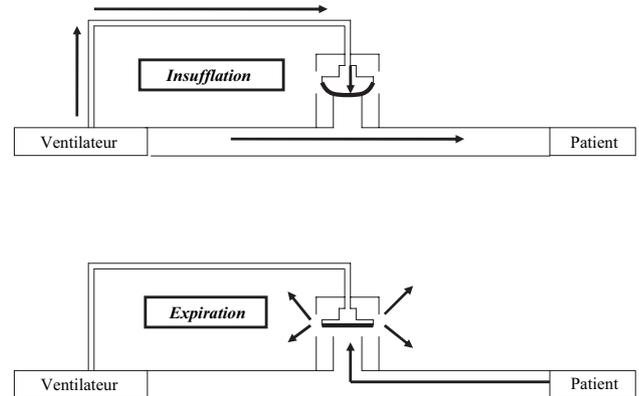


Fig. 4. Illustration schématique d'un circuit de ventilation monobranche avec valve expiratoire auto-pilotée. Au cours de l'insufflation, la membrane est plaquée contre l'orifice interne de la valve et la totalité des gaz est insufflée au patient. Au temps expiratoire, l'arrêt de l'insufflation permet à la membrane de regagner sa position de repos et de libérer l'orifice interne de la valve. Ainsi, la totalité des gaz expirés est évacuée au niveau de la valve expiratoire.

d'un VRP, le volume ou la pression respectivement prédéterminé est transmis de façon synchrone au patient et à la valve expiratoire. Sous l'effet du volume ou de la pression, la membrane est plaquée contre l'orifice interne de la valve et la totalité des gaz est insufflée au patient. Au temps expiratoire, l'arrêt de l'insufflation permet à la membrane de regagner sa position de repos et de libérer l'orifice interne de la valve. Du fait, de la valve anti-retour située dans la partie inspiratoire du ventilateur, la totalité des gaz expirés est évacuée au niveau de la valve expiratoire. Les VDNP ne permettent pas le branchement du tuyau de commande de la valve expiratoire externe. Bien que ces appareils utilisent un circuit de ventilation monobranche, ils nécessitent la présence d'une fuite intentionnelle pour l'expiration [33, 43, 44]. Deux systèmes de fuite intentionnelle sont disponibles. Soit, l'utilisation d'un raccord fenêtré (Whisper-Swivel®) placé entre le circuit monobranche et l'interface du patient (fig. 5), soit l'utilisation de masques (nasal ou facial) dits « à fuite » (fig. 2). Qu'il s'agisse du raccord



Fig. 5. Illustration schématique d'un circuit de ventilation monobranche avec fuite intentionnelle (raccord fenêtré, Whisper Swivel®). Cette fuite qui permet l'expiration du patient occasionne une déperdition de gaz au cours de l'insufflation. Ainsi, une accélération de la turbine du ventilateur permet d'atteindre la pression positive inspiratoire prédéterminée.

fenêtré ou du « masque à fuite », les orifices proposés sont calibrés. C'est-à-dire que la déperdition de gaz qu'ils occasionnent au cours de l'insufflation s'accompagne d'une accélération de la turbine pour la compenser et ne pas compromettre l'efficacité de l'assistance ventilatoire. Au cours de l'expiration, ces orifices permettent l'évacuation des gaz. De plus, le maintien d'une PEP, dont le réglage est obligatoire avec le VDNP, aide à chasser les gaz expirés au travers de ces orifices [33, 44]. Si le VDNP ne peut admettre qu'un circuit de ventilation monobranche avec fuite intentionnelle, il existe des ventilateurs qui autorisent indifféremment l'utilisation d'un circuit double branche ou monobranche avec valve expiratoire autopilotée. Bien que le circuit de ventilation double branche permette le monitoring du volume courant expiré, le moindre coût et la meilleure ergonomie des circuits monobranches expliquent leur utilisation préférentielle au cours de la VNI à domicile.

La VNI utilise les voies aériennes supérieures pour le réchauffement et l'humidification des gaz insufflés, toutefois près de 50 % des patients ventilés au long cours se plaignent de sécheresse nasale et/ou buccale [4, 12]. La mise en place d'un humidificateur ou d'un filtre échangeur de chaleur et d'humidité sur le circuit de ventilation permet de palier à cette complication. Deux types d'humidificateur sont disponibles. L'humidificateur à froid ou chambre d'humidification est un récipient en matière plastique rempli d'eau déminéralisée intercalé sur la partie inspiratoire du circuit de ventilation à proximité de la machine et qui repose sur un support amarré à la tablette du ventilateur. Les gaz insufflés viennent « lécher » la surface et s'humidifient ainsi. Dans le cas de l'humidificateur chauffant, une chambre d'humidification similaire repose sur une plaque électrique avec thermostat amarrée à la tablette du ventilateur. Des boutons de réglage permettent de fixer la température et le niveau d'humidité souhaités. L'eau en s'évaporant humidifie l'air insufflé. La mise en place d'un piège à eau en aval de l'humidificateur est alors nécessaire pour récupérer l'eau produite par la condensation sur les parois du circuit afin de ne pas gêner le patient et de protéger le ventilateur d'un surcroît d'humidité. Certains systèmes incorporant un fil chauffant dans le circuit de ventilation permettent de maintenir l'air à température constante et ainsi de limiter ce phénomène de condensation. Le deuxième procédé pour éviter la sécheresse naso-buccale consiste à intercaler un filtre échangeur de chaleur d'humidité entre le circuit de ventilation et l'interface. Il s'agit d'un tampon qui se charge de la vapeur d'eau contenue dans l'air expiré par le patient. Ainsi, en traversant le filtre au cours de l'insufflation suivante, les gaz s'humidifient. Malgré la simplicité technique et le faible coût du filtre échangeur de chaleur et d'humidité [45], il a été montré qu'il pouvait augmenter l'espace mort du circuit de ventilation [46, 47], représenter une résistance significative pour le ventilateur [48, 49] et enfin, majorer le travail respiratoire du patient au

cours de la ventilation non invasive comparativement à l'humidificateur chauffant [50].

L'administration d'oxygène

En cas de nécessité, un supplément d'oxygène peut être apporté au cours de la VNI à domicile. En fonction des fabricants, la source d'oxygène (extracteur, cuve d'oxygène liquide ou obus) peut être raccordée directement au ventilateur permettant un mélange air-oxygène à l'intérieur de l'appareil, ou raccordée sur le circuit de ventilation à proximité de la machine ou au masque. Certains ventilateurs comportent une prise d'apport d'oxygène amovible qu'il convient de retirer en cas de non utilisation afin d'éviter une fuite d'air au moment de l'insufflation. En cas d'apport d'oxygène à fort débit, quelques ventilateurs permettent le monitoring de la fraction inspirée d'oxygène.

Le choix des matériels en pratique

En raison de son caractère portable et silencieux, le VDNP, en mode « spontané » (*Spontaneous* (S)) ou « assisté-contrôlé » (*Spontaneous-Timed* (ST)) [51], est souvent proposé en première intention pour la VNI à domicile au cours de l'insufflation respiratoire chronique [52]. Un VRV muni d'alarmes et de batterie interne est habituellement utilisé lorsqu'une pression positive inspiratoire élevée s'avère nécessaire pour prendre en charge efficacement le travail respiratoire des patients [53, 54] ou en cas de faible autonomie ventilatoire du sujet. Toutefois, d'autres VRP présentant les mêmes avantages techniques et autorisant un circuit double branche pour le contrôle du volume courant expiré peuvent réaliser une alternative confortable pour les patients.

Le choix de l'interface est un temps capital dans la mise en place de la VNI à long terme. En effet, et parce que le sommeil retentit défavorablement sur la ventilation [55], la VNI est habituellement pratiquée pendant la nuit. Ainsi, l'interface doit réunir confort et efficacité pour une tolérance optimale, clé de voûte d'une observance de qualité et du succès de la technique. Avant de procéder au choix de l'interface, l'opérateur doit s'assurer de l'absence de plaie au niveau du visage, de la perméabilité nasale du patient, de la bonne santé de la dentition du sujet (naturelle ou artificielle), de la capacité de préhension mandibulaire du patient et du degré de handicap moteur éventuellement associé. Le type de circuit de ventilation utilisé pouvant nécessiter une interface avec fuite intentionnelle doit être aussi envisagé. Un masque nasal industriel le plus léger possible avec coussinet en silicone ou rempli de « gel » et présentant un faible espace mort est proposé en première intention. L'utilisation de gabarits est conseillée pour évaluer au mieux la taille et la forme du masque les plus adaptées. Enfin, l'utilisation systématique de cales frontales permet

Tableau II.

Adaptation des réglages initiaux du ventilateur en 4 questions.

Recevez-vous trop ou pas assez d'air ?

Trop : diminuer la pression positive inspiratoire ou le volume courant

Pas assez : augmenter la pression positive inspiratoire ou le volume courant

Est-ce que votre effort inspiratoire pour déclencher le ventilateur est aisément satisfait ?

Trop : diminuer la sensibilité du seuil de déclenchement ou la PEP

Pas assez : augmenter la sensibilité du seuil de déclenchement ou la PEP

Avez-vous suffisamment de temps pour expirer ?

Trop : augmenter la durée d'insufflation

Pas assez : diminuer la durée d'insufflation

Comment est la cadence du ventilateur ? (après avoir optimisé le déclenchement de l'insufflation)

Trop rapide : diminuer la fréquence respiratoire

Trop lente : augmenter la fréquence respiratoire

PEP : pression positive télé-expiratoire.

d'améliorer l'étanchéité du masque et ainsi de minimiser le serrage du harnais pour optimiser le confort du patient. Quand une période de ventilation complémentaire s'avère nécessaire pendant la journée, celle-ci peut être réalisée pendant la sieste avec le même masque. En cas de dépendance ventilatoire plus importante pendant la journée, l'embout buccal peut être préféré pour des raisons de discrétion. Au cours de la période d'initiation de la ventilation qui s'effectue généralement en milieu hospitalier, des adaptations pour combattre des fuites trop importantes qui compromettent l'efficacité de l'assistance ventilatoire, voire des changements d'interface pour s'adapter aux problèmes de confort ou de sécurité, peuvent s'avérer nécessaires (*cf. supra*). Par la suite, l'alternance d'au moins 2 types de masques avec points d'appui cutanés différents est souvent nécessaire pour la VNI à domicile.

Bien qu'il n'existe pas de consensus pour les réglages initiaux des ventilateurs, un volume courant de 10 à 15 ml/kg ou une pression positive inspiratoire de 10 à 20 cmH₂O est généralement prédéterminé. Pour les autres paramètres, un seuil de déclenchement réglé au plus sensible, une fréquence respiratoire à 10-16 cycles/minute, un rapport I/E à 1/2 et une PEP à 3-4 cmH₂O sont fréquemment utilisés. Ces réglages initiaux sont généralement adaptés en fonction des besoins du patient. La procédure pour l'adaptation de ces réglages et les principales étapes pour la mise en place de la VNI sont présentées dans les *tableaux II et III*.

Gestion des fuites non intentionnelles

Elles représentent une cause d'échec fréquente de la VNI [56]. Elles peuvent être évidentes lorsque le sujet ventilé par masque nasal ouvre la bouche ou que le patient utilisant un

Tableau III.

Mise en place de la ventilation non invasive.

Sélection des matériels (ventilateur, interface, circuit de ventilation)

Montage du circuit de ventilation

Réglages initiaux du ventilateur

Appliquer l'interface sur le visage du patient

Mise en route du ventilateur et raccordement de l'interface (tenue par le patient) au circuit

Fixation du harnais

Rassurer le patient

Contrôle des fuites et de l'adaptation du patient au ventilateur

embout buccal ne porte pas de pince nez. Elles peuvent être importantes, et dans ce cas simplement audibles si le ventilateur ne comporte pas d'alarmes, ou être signalées par des alarmes de haut volume en cas de VRP, ou par des alarmes de basse pression d'insufflation en cas de VRV. Enfin, elles sont souvent silencieuses et nécessitent d'être systématiquement recherchées par le praticien en les repérant à la main autour de l'interface et le long du circuit. Aussi, le patient doit dans ce cas être sollicité, car il est souvent d'une aide précieuse en localisant une minime fuite d'air dans les yeux ou à un point précis autour du masque.

Dans la majorité des cas, elles trouvent leur origine au niveau de l'interface. Les causes sont multiples, taille inadéquate, absence de cale frontale facilitant les fuites au niveau de la portion inférieure de l'interface, usure du coussinet, écrasement du coussinet par serrage abusif du harnais, sujet édenté, ouverture de bouche lors de la ventilation nasale, fuites nasales en cas de ventilation par embout buccal, utilisation d'un masque à fuite intentionnelle avec un ventilateur nécessitant une valve expiratoire, point de compression cutané limitant le serrage du harnais. Parfois, une perforation du circuit de ventilation, des pièges à eau mal vissés ou encore une valve expiratoire auto-pilotée défectueuse peuvent être responsables des fuites non intentionnelles.

Bien que l'aggravation des échanges gazeux sous VNI représente la complication majeure des fuites non intentionnelles, elles peuvent à minima être responsables d'asynchronisme patient-machine. À titre d'exemples, un défaut d'étanchéité au niveau de l'interface ou au niveau du circuit de ventilation peut rendre difficile le déclenchement du ventilateur par le patient, ou encore prolonger anormalement l'insufflation du VRP si la durée d'insufflation est basée sur une variation du débit [57, 58].

En cas de fuites non intentionnelles siégeant au niveau de l'interface, une révision de la taille du masque, l'adjonction de cales frontales ou l'utilisation d'anneaux en plastique autour du coussinet pour *in fine* optimiser l'inclinaison du masque et le serrage du harnais sont souvent contributifs. En cas d'ouverture de bouche au cours de la ventilation nasale, l'utilisation d'une mentonnière ou d'un collier cervical est une alternative

intéressante avant l'emploi d'un masque facial. L'utilisation d'un pince nez pour la ventilation nocturne par embout buccal doit être systématiquement contrôlée. Il en est de même du vissage des pièges à eau sur le circuit de ventilation. Enfin, en cas de perforation du circuit de ventilation ou de valve autopilotée défectueuse, leur remplacement s'impose.

Entretien des matériels

Comme pour toute prise en charge médicale instrumentale, le matériel de VNI doit être entretenu régulièrement au domicile du patient. Un nettoyage quotidien de l'interface à l'eau froide et au savon de Marseille est préconisé pour éliminer le sébum. Les masques doivent être remplacés lorsqu'ils ne sont plus étanches ou lorsqu'ils deviennent inconfortables. Une désinfection de surface du ventilateur à l'eau de Javel diluée est habituellement proposée. Un nettoyage à l'eau savonneuse du filtre anti-poussières (en mousse) qui protège le ventilateur est généralement pratiqué une fois par semaine. Le séchage attentif de cette pièce avant sa réutilisation est nécessaire pour son efficacité et la bonne marche du ventilateur. L'utilisation de filtres anti-bactérien pour la VNI à domicile n'est pas systématiquement recommandée par les fabricants. À l'exception des VDNP, qui ne le permettent pas, une désinfection interne des ventilateurs est généralement proposée une fois par an. La fabrication des circuits de ventilation en PVC autorise leur usage unique. Leur remplacement tous les 2 mois peut être conseillé. En revanche, l'eau contenue dans l'humidificateur doit être renouvelée tous les jours.

Conclusion

En quinze années, les interfaces et les ventilateurs conçus pour la VNI à domicile ont beaucoup évolué. Malgré ces progrès, le succès de cette technique dépend encore de l'expertise du praticien dans le choix des matériels et le réglage du ventilateur qui doivent être spécifiquement adaptés aux besoins du patient. Dans ce domaine, le soin porté à l'obtention d'une interface étanche et confortable semble être déterminante pour l'efficacité de la VNI. Il n'existe pas de recette unique ou de solution idéale et chaque nouveau cas représente une remise en question. Cependant, une connaissance précise des progrès matériels en cours est indispensable pour tenter d'optimiser régulièrement cette technique délicate.

Références

- Collier CR, Affeldt JE : Ventilatory efficacy of the cuirass respirator in totally paralyzed chronic poliomyelitis patients. *J Appl Physiol* 1954 ; 6 : 532-8.
- Celli B, Lee H, Criner G, Bermudez M, Rassulo J, Gilmartin M, Miller G, Make B : Controlled trial of external negative pressure ventilation in patients with severe chronic airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1989 ; 140 : 1251-6.
- Shapiro SH, Ernst P, Gray-Donald K, Martin JG, Wood-Dauphinee S, Beaupré A, Spitzer WO, Macklem PT : Effect of negative pressure ventilation in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Lancet* 1992 ; 340 : 1425-9.
- Mehta S, Hill NS : Noninvasive ventilation : *Am J Respir Crit Care Med* 2001 ; 163 : 540-77.
- Schiavina M, Fabiani A : Intermittent negative pressure ventilation in neuromuscular diseases. *Eur Respir Rev* 1993 ; 3 : 292-9.
- Bach JR, Penek J : Obstructive sleep apnea complicating negative pressure ventilatory support in patients with chronic paralytic/restrictive ventilatory dysfunction. *Chest* 1991 ; 99 : 1386-93.
- Hill NS, Redline S, Carskadon MA, Curran FJ, Millman RP : Sleep-disordered breathing in patients with Duchenne muscular dystrophy using negative pressure ventilators. *Chest* 1992 ; 102 : 1656-62.
- Bach JR : Continuous noninvasive ventilation for patients with neuromuscular disease and spinal cord injury. *Semin Respir Crit Care Med* 2002 ; 23 : 283-92.
- Appendini L, Patessio A, Zanaboni S, Carone M, Gukov B, Donner CF, Rossi A : 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.
- Carroll N, Branthwaite MA : Intermittent positive pressure ventilation by nasal mask : technique and applications. *Intensive Care Med* 1988 ; 14 : 115-7.
- Branthwaite MA : Non-invasive and domiciliary ventilation : positive pressure techniques. *Thorax* 1991 ; 46 : 208-12.
- Léger P : Noninvasive positive pressure ventilation at home. *Respir Care* 1994 ; 39 : 501-10.
- Criner GJ, Travaline JM, Brennan KJ, Kreimer DT : Efficacy of a new full face mask for noninvasive positive pressure ventilation. *Chest* 1994 ; 106 : 1109-15.
- Kwok H, McCormack J, Cece R, Houtchens J, Hill NS : Controlled trial of oronasal versus nasal mask ventilation in the treatment of acute respiratory failure. *Crit Care Med* 2003 ; 31 : 468-73.
- Cornette A, Mougél D : Ventilatory assistance via the nasal route : masks and fittings. *Eur Respir Rev* 1993 ; 12 : 250-3.
- Meecham Jones DJ, Braid GM, Wedzicha JA : Nasal masks for domiciliary positive pressure ventilation : patient usage and complications. *Thorax* 1994 ; 49 : 811-2.
- Hill NS : Complications of noninvasive positive pressure ventilation. *Respir Care* 1997 ; 42 : 432-42.
- Strumpf DA, Millman RP, Carlisle CC, Grattan LM, Ryan SM, Erickson AD, Hill NS : Nocturnal positive-pressure ventilation via nasal mask in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1991 ; 144 : 1234-9.
- Léger P, Bedicam JM, Cornette A, Reybet-Degat O, Langevin B, Polu JM, Jeannin L, Robert D : Nasal intermittent positive pressure ventilation. Long-term follow-up in patients with severe chronic respiratory insufficiency. *Chest* 1994 ; 105 : 100-5.
- McDermott I, Bach JR, Parker C, Sortor S : Custom-fabricated interfaces for intermittent positive pressure ventilation via nasal mask for patients with neuromuscular weakness or restrictive lung or chest wall disease. *Respir Care* 1989 ; 34 : 73-9.
- Bach JR, Saporito LR : Indications and criteria for decannulation and transition from invasive to noninvasive long-term ventilatory support. *Respir Care* 1994 ; 39 : 515-31.

- 22 Tsuboi T, Ohi M, Kita H, Otsuka N, Hirata H, Noguchi T, Chin K, Mishima N, Kuno K : The efficacy of a custom-fabricated nasal mask on gas exchange during nasal intermittent positive pressure ventilation. *Eur Respir J* 1999 ; 13 : 152-6.
- 23 Meyer TJ, Pressman MR, Benditt J, McCool FD, Millman RP, Natarajan R, Hill NS : Air leaking through the mouth during nocturnal nasal ventilation : effect on sleep quality. *Sleep* 1997 ; 20 : 561-9.
- 24 Navalesi P, Fanfulla F, Frigerio P, Gregoretti C, Nava S : Physiologic evaluation of noninvasive mechanical ventilation delivered by three types of masks in patients with chronic hypercapnic respiratory failure. *Crit Care Med* 2000 ; 28 : 1785-90.
- 25 Meduri GU, Abou-Shala N, Fox RC, Jones CB, Leeper KV, Wunderink RG : Noninvasive face mask mechanical ventilation in patients with acute hypercapnic respiratory failure. *Chest* 1991 ; 100 : 445-54.
- 26 Bach JR, McDermott IG : Strapless oral-nasal interface for positive-pressure ventilation. *Arch Phys Med Rehabil* 1990 ; 71 : 910-3.
- 27 Bach JR, Alba AS, Saporito LR : Intermittent positive pressure ventilation via the mouth as an alternative to tracheostomy for 257 ventilator users. *Chest* 1993 ; 103 : 174-82.
- 28 Bach JR : Update and perspectives on noninvasive respiratory muscle aids. Part 1 : the inspiratory aids. *Chest* 1994 ; 105 : 1230-40.
- 29 Bach JR : The prevention of ventilatory failure due to inadequate pump function. *Respir Care* 1997 ; 42 : 403-13.
- 30 Bach JR, Sortor SM, Saporito LR : Interfaces for noninvasive intermittent positive pressure ventilatory support in North America. *Eur Respir Rev* 1993 ; 12 : 254-60.
- 31 Meecham Jones DJ, Wedzicha JA : Comparison of pressure and volume preset nasal ventilator systems in stable chronic respiratory failure. *Eur Respir J* 1993 ; 6 : 1060-4.
- 32 Elliott MW, Aquilina R, Green M, Moxham J, Simonds AK : A comparison of different modes of noninvasive ventilatory support : effects on ventilation and inspiratory muscle effort. *Anaesthesia* 1994 ; 49 : 279-83.
- 33 Lofaso F, Brochard L, Hang T, Lorino H, Harf A, Isabey D : Home versus intensive care pressure support devices. Experimental and clinical comparison. *Am J Respir Crit Care Med* 1996 ; 153 : 1591-9.
- 34 Schönhofer B, Sonneborn M, Haidl P, Böhrer H, Köhler D : Comparison of two different modes for noninvasive mechanical ventilation in chronic respiratory failure : volume versus pressure controlled device. *Eur Respir J* 1997 ; 10 : 184-91.
- 35 Perrin C, Wolter P, Berthier F, Tamisier R, Jullien V, Lemoigne F, Blaive B : Étude comparative de respirateurs à régulation de volume et à régulation de pression au cours de la ventilation nasale diurne en situation d'éveil dans l'insuffisance respiratoire chronique. *Rev Mal Respir* 2001 ; 18 : 41-8.
- 36 Nava S, Ambrosino N, Bruschi C, Confalonieri M, Rampulla C : Physiological effects of flow and pressure triggering during non-invasive mechanical ventilation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 1997 ; 52 : 249-54.
- 37 Sullivan CE, Issa FG, Berthon-Jones M, Eves L : Reversal of obstructive sleep apnoea by continuous positive airway pressure applied through the nares. *Lancet* 1981 ; 1 : 862-5.
- 38 Cohen IL, Bilen Z, Krishnamurthy S : The effects of ventilator working pressure during pressure support ventilation. *Chest* 1993 ; 103 : 588-92.
- 39 McIntyre NR : Respiratory function during pressure support ventilation. *Chest* 1986 ; 5 : 677-83.
- 40 McIntyre NR, Leatherman NE : Ventilatory muscle loads and the frequency-tidal volume pattern during inspiratory pressure-assisted (pressure supported) ventilation. *Am Rev Respir Dis* 1990 ; 141 : 327-31.
- 41 Girault C, Richard JC, Chevron V, Tamion F, Pasquis P, Leroy J, Bonmarchand G : Comparative physiologic effects of noninvasive assist-control and pressure support ventilation in acute hypercapnic respiratory failure. *Chest* 1997 ; 111 : 1639-48.
- 42 Mehta S, McCool FD, Hill NS : Leak compensation in positive pressure ventilators : a lung model study. *Eur Respir J* 2001 ; 17 : 259-67.
- 43 Ferguson GT, Gilmartin M : CO₂ rebreathing during BiPAP ventilatory assistance. *Am J Respir Crit Care Med* 1995 ; 151 : 1126-35.
- 44 Hill NS, Carlisle C, Kramer N : Effect of a nonbreathing exhalation valve on long-term nasal ventilation using a bilevel device. *Chest* 2002 ; 122 : 84-91.
- 45 Ricard JD, Le Mièrre E, Markowicz P, Lasry S, Saumon G, Djedaïni K, Coste F, Dreyfuss D : Efficiency and safety of mechanical ventilation with a heat and moisture exchanger changed only once a week. *Am J Respir Crit Care Med* 2000 ; 161 : 104-9.
- 46 Le Bourdelles G, Le Mièrre E, Fiquet B, Djedaïni K, Saumon G, Coste F, Dreyfuss D : Comparison of the effects of heat and moisture exchangers and heated humidifiers on ventilation and gas exchange during weaning trials from mechanical ventilation. *Chest* 1996 ; 110 : 1294-8.
- 47 Jaber S, Chanques G, Matecki S, Ramonatxo M, Souche B, Perrigault PF, Eledjam JJ : Comparison of the effects of heat and moisture exchangers and heated humidifiers on ventilation and gas exchange during non-invasive ventilation. *Intensive Care Med* 2002 ; 28 : 1590-4.
- 48 Constantine A, Manthous MD, Gregory A, Schmidt MD : Resistive pressure of a condenser humidifier in mechanically ventilated patients. *Crit Care Med* 1994 ; 22 : 1792-5.
- 49 Chiaranda M, Verona L, Pinamonti O, Dominioni L, Minoja G, Conti G : Use of heat and moisture exchanging (HME) filters in mechanically ventilated ICU patients : influence on airway flow resistance. *Intensive Care Med* 1993 ; 19 : 462-6.
- 50 Lellouche F, Maggiore SM, Deye N, Taillé S, Pigeot J, Harf A, Brochard L : Effect of the humidification device on the work of breathing during noninvasive ventilation. *Intensive Care Med* 2002 ; 28 : 1582-9.
- 51 Restrick LJ, Fox NC, Braid G, Ward EM, Paul EA, Wedzicha JA : Comparison of nasal pressure support ventilation with nasal intermittent positive pressure ventilation in patients with nocturnal hypoventilation. *Eur Respir J* 1993 ; 6 : 364-70.
- 52 Hill NS, Hess D : Initiation of noninvasive positive pressure ventilation. In : Hill NS. *Noninvasive positive pressure ventilation : principles and applications*. Futura Publishing Company, New York 2001 : 27-64.
- 53 Meyer TJ, Hill NS : Noninvasive positive pressure ventilation to treat respiratory failure. *Ann Intern Med* 1994 ; 120 : 760-70.
- 54 Consensus Conference : Clinical indications for noninvasive positive pressure ventilation in chronic respiratory failure due to restrictive lung disease, COPD, and nocturnal hypoventilation — A consensus conference report. *Chest* 1999 ; 116 : 521-34.
- 55 McNicholas WT : Impact of sleep in respiratory failure. *Eur Respir J* 1997 ; 10 : 920-33.
- 56 Carlucci A, Richard JC, Wysocki M, Lepage E, Brochard L, the SRLF : Collaborative Group on Mechanical Ventilation. Noninvasive versus conventional mechanical ventilation. An epidemiologic survey. *Am J Respir Crit Care Med* 2001 ; 163 : 874-80.
- 57 Black JW, Grover BS : A hazard of pressure support ventilation. *Chest* 1993 ; 93 : 333-5.
- 58 Calderini E, Confalonieri M, Puccio PG, Francavilla N, Stella L, Gregoretti C : Patient-ventilator asynchrony during noninvasive ventilation : the role of expiratory trigger. *Intensive Care Med* 1999 ; 25 : 662-7.