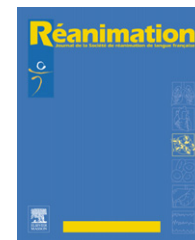




Disponible en ligne sur www.sciencedirect.com



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



MISE AU POINT

Quel ventilateur choisir pour la ventilation non invasive au cours de l'insuffisance respiratoire aiguë ?

Which ventilator for noninvasive ventilation during acute respiratory failure?

L. Vignaux*, D. Tassaux, P. Jolliet

Service des soins intensifs, hôpital cantonal universitaire, 24, rue Micheli-du-Crest, 1211 Genève 14, Suisse

Disponible sur Internet le 26 novembre 2007

MOTS CLÉS

Ventilation non invasive ;
Ventilation mécanique ;
Ventilateurs ;
Insuffisance respiratoire aiguë

Résumé La ventilation non invasive (VNI) est actuellement le traitement de première intention des insuffisances respiratoires aiguës, notamment hypercapniques (IRA). La VNI réduit le recours à une ventilation invasive et donc permet de diminuer les complications qui lui sont associées. Cette technique présente cependant un taux d'échec de 40 %. Ceux-ci sont en partie liés à la tolérance de la technique qui dans un certain nombre de cas est liée aux performances du ventilateur. Le choix de celui-ci, de par ses caractéristiques mécaniques, sa convivialité ou la possibilité de compenser l'effet des fuites, pourrait donc être un élément essentiel de la réussite de la VNI. Les ventilateurs à disposition sont de trois types : les ventilateurs de type « domicile », les ventilateurs lourds de « réanimation » et les ventilateurs dits « intermédiaires ». Les caractéristiques techniques et les performances des trois groupes de ventilateurs sont inégales entre les groupes et à l'intérieur de chaque groupe. La supériorité d'un type de ventilateur sur un autre n'a jamais été démontrée et il n'existe donc pas de recommandations publiées à ce sujet. Néanmoins, compte tenu des différences de performances globales, il semble logique d'utiliser des ventilateurs de type domicile et intermédiaire pour les décompensations modérées. Alors que pour les situations de détresse respiratoire avec une demande inspiratoire élevée un ventilateur de réanimation semble plus adapté notamment en raison de réglage possible de FiO_2 élevées. Le choix d'un ventilateur doit aussi tenir compte du type et des habitudes du service et de son coût.

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

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : laurence.vignaux@hcuge.ch (L. Vignaux).

KEYWORDS

Noninvasive ventilation;
Mechanical ventilation;
Ventilators;
Acute respiratory failure

Summary Noninvasive ventilation (NIV) has become a standard of care in acute respiratory failure (ARF). It allows a decrease in the use of invasive mechanical ventilation and of its complications, as well as a reduction in mortality. However, NIV fails to avoid intubation in approximately 40% of patients due to various causes. The choice of ventilator, taking into consideration its mechanical characteristics, user-friendliness, and its ability to compensate for leaks, is an important determinant of the success of NIV. Three types of ventilator are available for NIV: domiciliary, ICU and intermediate. Technical aspects and performance between groups and inside each group vary widely, making the final choice difficult. There is to date no proof of one ventilator's superiority over another in patients with ARF. Based on the available evidence, one can recommend that for moderate ARF, NIV can be performed with domiciliary and intermediary ventilators. For more severe cases with a high inspiratory demand, more powerful ventilators of the ICU type are needed, which provide the additional benefit of an adjustable FiO_2 . Moreover, the final choice of ventilator will also be determined by each ICU's routine and budget.

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

Introduction

La ventilation non invasive (VNI) est devenue le traitement de première intention des insuffisances respiratoires aiguës hypercapnique (IRA) [1], dans le cadre de la décompensation d'une insuffisance respiratoire chronique, d'un œdème pulmonaire cardiogénique ou encore d'une pneumopathie infectieuse, surtout chez l'immunodéprimé. La VNI améliore les échanges gazeux, réduit le recours à une ventilation mécanique invasive tout en gardant intact les mécanismes de défense des voies aériennes et en préservant la parole et la déglutition. Tous ces avantages permettent une diminution importante de la morbidité liée à la ventilation mécanique [2].

Utilisée initialement dans les services de réanimation dans les années 1990, son utilisation c'est rapidement étendue aux services d'urgence hospitaliers et préhospitaliers [3,4], ainsi qu'en pneumologie [5] et en cardiologie [6]. En réanimation, elle est utilisée en première intention dans plus de 20% des IRA [7].

Malgré son efficacité, cette technique présente un taux d'échec proche de 40% [7]. Les échecs sont multifactoriels ; outre ceux liés à la cause et la gravité de la l'insuffisance respiratoire, ils sont souvent consécutifs à une mauvaise tolérance. Cette dernière peut être la conséquence d'une désynchronisation patient-machine, laquelle dépend en partie des fuites quasi systématiques en VNI [8]. En ce sens, le choix du ventilateur, de par ces performances mécaniques et sa gestion du problème des fuites, pourrait être un élément essentiel dans la réussite de cette technique.

Le but de cette mise au point est de décrire les facteurs d'échec de la VNI pouvant être améliorés par un certain nombre de solutions techniques, afin de faciliter le choix du ventilateur le mieux adapté à telle ou telle circonstance.

Après un rappel des aspects spécifiques de la VNI susceptibles de conditionner le choix d'un ventilateur, nous décrivons les différentes solutions techniques actuellement disponibles et proposons des critères de choix du ventilateur adapté aux différentes circonstances.

Aspects spécifiques de la VNI conditionnant le choix du ventilateur

Les critères de choix d'un ventilateur pour la VNI sont nombreux et complexes. L'offre commerciale est très abondante. Les tests disponibles ne concernent bien souvent que les performances pneumatiques des ventilateurs et rares sont les éléments qui permettent de juger des autres critères probablement aussi importants tels que l'ergonomie pour le patient, la convivialité pour le personnel soignant ou encore les coûts réels d'utilisation.

Synchronisation en VNI

Une synchronisation entre le patient et le ventilateur permet d'améliorer le confort du patient et de réduire son travail respiratoire [9], facteurs essentiels de la réussite de la VNI [8,10–12]. S'il n'existe pas à ce jour de données publiées quant aux conséquences des asynchronies en VNI, celles-ci sont très probablement un facteur de prolongation de la ventilation mécanique [13]. Idéalement, la pressurisation des voies aériennes devrait être parfaitement synchronisée au profil de l'effort inspiratoire du patient. Celui-ci peut être décrit par son intensité et sa durée (temps inspiratoire neural [tin]) alors que le cycle du ventilateur est défini par quatre phases élémentaires (Fig. 1) :

- le déclenchement du cycle respiratoire ;
- la phase de pressurisation proprement dite ;
- le passage de la phase inspiratoire à l'expiration (appelé cyclage) ; et
- l'expiration [9].

Les asynchronies sont définies comme un décalage entre les deux profils ventilatoires (patient et machine). Celles-ci peuvent survenir au cours des quatre phases décrites ci-dessus.

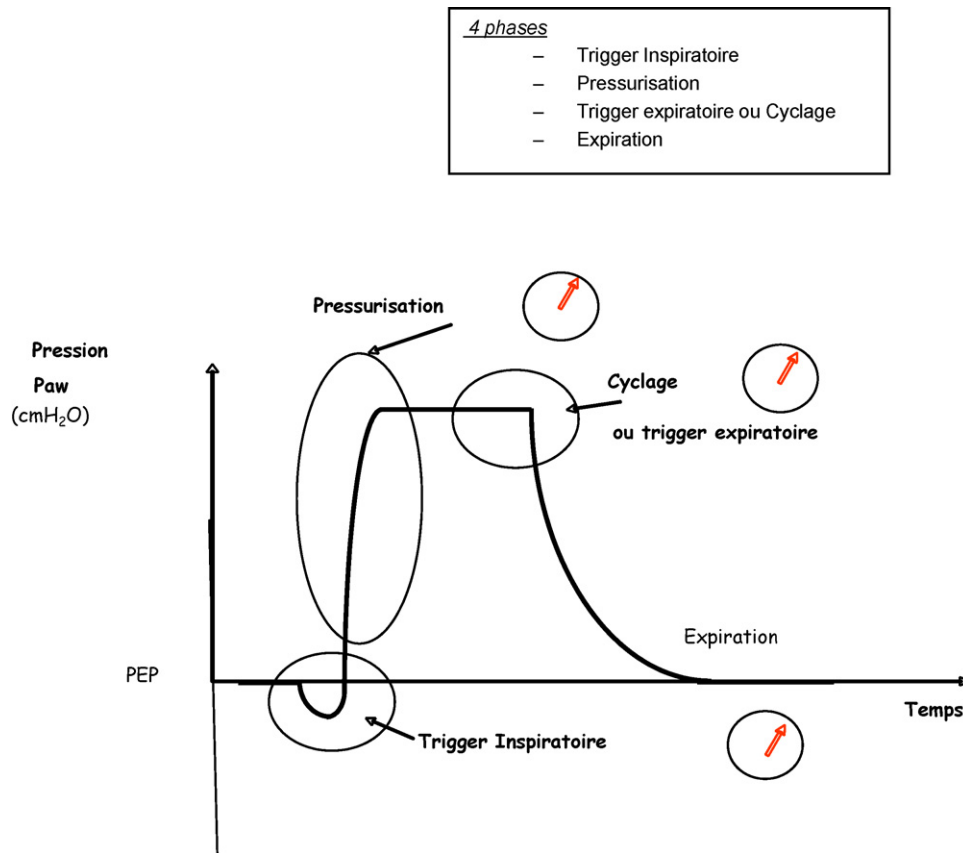


Figure 1 Synchronisation en aide inspiratoire (AI).

Déclenchement du cycle

Le trigger inspiratoire doit être suffisamment sensible afin de faciliter le déclenchement sans être à l'origine d'autodéclenchements [13]. Les fuites favorisent ces derniers, car elles sont à l'origine d'un débit mimant l'effort inspiratoire du patient. Par ailleurs, celles-ci peuvent augmenter le délai de trigger (Td), temps écoulé entre le début de l'effort inspiratoire et le déclenchement du ventilateur [14]. Le Td devrait être inférieur à 100 ms. En effet, au-delà de ce délai, le décalage devient perceptible par le patient ce qui peut être source d'inconfort [15].

Phase de pressurisation

Durant la phase de pressurisation, le débit inspiratoire doit être suffisant pour satisfaire la demande du patient. Les performances de la valve inspiratoire conditionnent cette adéquation qui dépend également, outre du niveau de pression inspiratoire, de la pente de pressurisation et de l'intensité de l'effort inspiratoire. Lors d'une insuffisance respiratoire aiguë avec une importante demande inspiratoire, la puissance pneumatique est un élément déterminant. Enfin, les fuites, par la perte de pressurisation qu'elles entraînent viennent dégrader les performances du ventilateur [14].

Cyclage

Habituellement, le cyclage a lieu lorsque le débit inspiratoire décroît et atteint une fraction du débit inspiratoire

de pointe. Ce rapport est appelé «trigger expiratoire» ou consigne de cyclage [16]. Il devrait idéalement permettre d'interrompre la pressurisation à la fin de l'effort inspiratoire du patient. Cette synchronisation est essentiellement déterminée par la mécanique respiratoire [17]. Notamment, le risque est grand d'observer un cyclage tardif chez le patient obstructif [18]. En VNI, les fuites retardent la décroissance du débit conduisant à un cyclage tardif [19]. Le retard de cyclage peut être source d'efforts inefficaces souvent liés à l'aggravation d'une hyperinflation dynamique chez le patient obstructif [18].

Expiration

Un risque de réinhalation de CO₂, et donc d'hypercapnie existe avec les ventilateurs qui sont équipés d'un circuit monobranche. Il peut en résulter un travail respiratoire supplémentaire lié à l'augmentation de la demande ventilatoire. La résistance éventuelle du circuit expiratoire, lié ou non à la présence d'une valve expiratoire, modifie le profit ventilatoire du patient, peut aggraver une hyperinflation dynamique et provoquer la mise en jeu des muscles expiratoires source d'inconfort. Enfin, en cas de fuite importante, la dépressurisation du circuit peut entraîner un mauvais maintien du niveau de PEP si le ventilateur manque de puissance pneumatique, ce qui est susceptible d'aggraver le problème des efforts inefficaces en cas d'hyperinflation dynamique associée.

Monitoring

La présence quasi obligatoire de fuites entraîne une mauvaise estimation, d'une part, du volume courant inspiré pouvant interférer avec le titrage du niveau d'assistance inspiratoire et, d'autre part, de la fréquence respiratoire. De plus, une mauvaise synchronisation patient-ventilateur peut passer complètement inaperçue en l'absence d'un examen clinique attentif. Pour les mêmes raisons de nombreuses alarmes peuvent être mises en défaut, avec par exemple une surestimation de la ventilation minute et la signalisation inutile des fuites.

Autres aspects

Habituellement, en cas d'IRA hypercapnique, l'hypoxémie est facilement corrigée avec de faibles FiO₂. En revanche, les IRA hypoxémiques peuvent nécessiter de hautes FiO₂ qui ne peuvent pas être toujours atteintes par les ventilateurs de type domicile. Il existe un manque flagrant de convivialité des ventilateurs de domicile et de réanimation [20,21]. Cela peut conduire à des erreurs même pour une tâche simple comme l'allumage du ventilateur et nécessite un niveau élevé de formation et d'expérience [10]. De plus, compte tenu de la diversité des lieux d'utilisation, il existe de nombreux problèmes logistiques liés à l'encombrement, au poids des ventilateurs et à leur approvisionnement en gaz médicaux. Enfin, un ventilateur de réanimation coûte approximativement entre 30 000 et 50 000 euros, un ventilateur de domicile entre 5000 et 8000 euros. La troisième catégorie a un prix intermédiaire d'environ 15 000 euros. Il

faut être très attentif au coût réel de la technique dans son ensemble et en particulier il convient de tenir compte du prix de revient des consommables. Là, bien des surprises peuvent être au rendez-vous.

Aspects techniques

Les ventilateurs sont de trois types : les ventilateurs à turbine ou ventilateurs de type « domicile », les ventilateurs lourds de réanimation et des ventilateurs « intermédiaires » dévolus à la VNI intrahospitalière. Ces derniers sont des ventilateurs hybrides basés sur une plateforme de type « domicile » mais équipés d'un monitoring de type « réanimation ». La supériorité d'un type de ventilateur sur un autre n'est pas démontrée lors du traitement de l'insuffisance respiratoire aiguë si bien qu'il est impossible de faire des recommandations sur cet unique critère.

Lors de l'IRA, la VS-AI-PEP, ou pression assistée et le volume assisté contrôlé (VAC), ou ventilation en volume assisté contrôlé sont les modes les plus fréquemment employés. Lors de la VNI, la VAC est aussi efficace que la VS-AI-PEP, mais elle est moins bien tolérée [10,22]. Le mode VS-AI-PEP est utilisé dans plus de 80 % des cas [7]. Il permet une meilleure synchronisation patient-ventilateur. Chez les patients hypercapniques très somnolents, la ventilation en volume contrôlé peut être utile, ce qui rend sa présence souhaitable. En cas de cyclage tardif lié à des fuites importantes, la pression contrôlée permet la maîtrise du temps inspiratoire en cas d'absence de réglage de ce paramètre en aide inspiratoire (AI) (ti_{max}). Enfin, de nombreux ventilateurs disposent d'un mode « mixte » (mode en pression

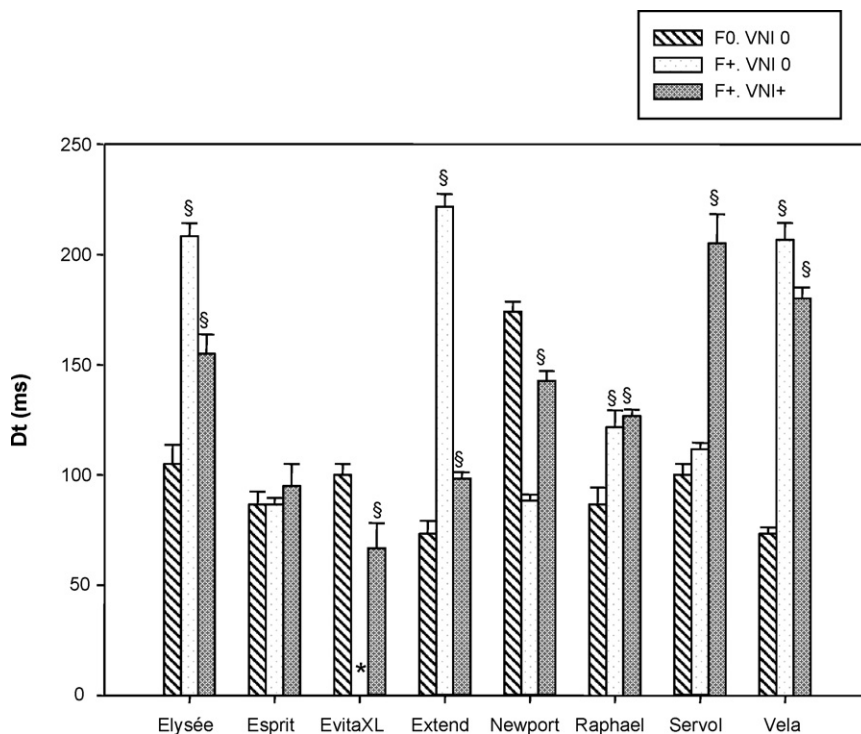


Figure 2 Délai de trigger (moyenne ± écarts-types) pour huit ventilateurs de réanimation testés dans trois conditions. Dt : délai de trigger (ms) ; FO : sans fuites ; F+ : avec fuites ; VNI 0 : mode VNI inactif ; VNI+ : mode VNI activé. § : p < 0,05 vs. FO, VNI 0 ; ♣ : p < 0,05 vs. F+, VNI 0 (Anova) ; * : mesure impossible en raison d'autodéclenchements.

assistée avec un volume garanti) dont l'utilité reste encore à évaluer.

La plupart des ventilateurs de domicile et des intermédiaires ne disposent que de modes barométriques alors que les ventilateurs de réanimation sont tous équipés en plus des modes volumétriques.

Synchronisation

Trigger inspiratoire

Le trigger en débit semble avoir une meilleure sensibilité que le trigger en pression mais le bénéfice clinique est marginal [23]. Afin de diminuer le risque d'autodéclenchement, la solution la plus simple consiste à régler le trigger moins sensible au risque d'augmenter le travail respiratoire et le délai de déclenchement. Les ventilateurs modernes font une approximation de la fuite instantanée qui est soustraite au débit mesuré de manière à décaler le seuil de trigger. Sur dix ventilateurs de type domicile, 50% d'entre eux présentent un Td inférieur à 100 ms, les autres varient entre 100 et 200 ms [24]. En cas de fuites le Td augmente peu [25]. Concernant les ventilateurs de réanimation, les trigger délais (Td) se situent entre 50 et 100 ms [26] mais peuvent augmenter en présence de fuites [14]. En effet, c'est le cas de cinq machines sur huit testées, et seulement trois les corrigent en mode VNI (Fig. 2). En revanche, les autodé-

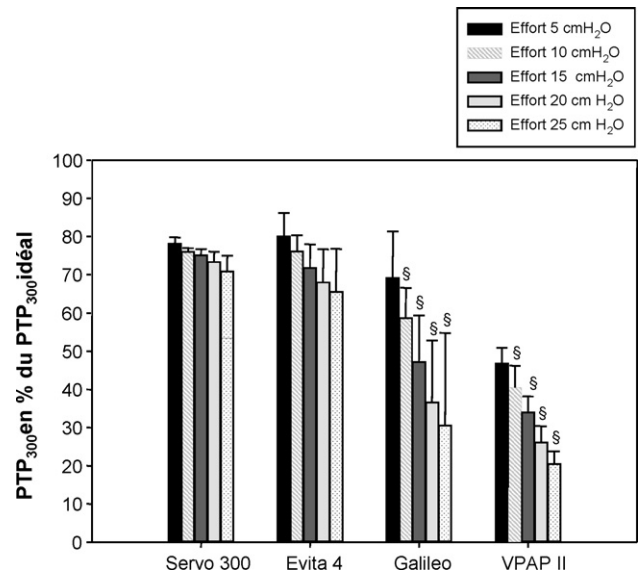


Figure 3 Produits temps–pression (moyennes \pm écarts-types) à 300 ms pour différents efforts inspiratoires de ventilateurs de réanimation et de domicile. La pressurisation à 300 ms ou PTP₃₀₀ est l'aire sous la courbe de pression à 300 ms ; elle est exprimée en fonction d'un PTP₃₀₀ « idéal » défini par une pressurisation d'emblée maximale sans délai de trigger. § : $p < 0,05$ vs. Evita 4 et Servo 300.

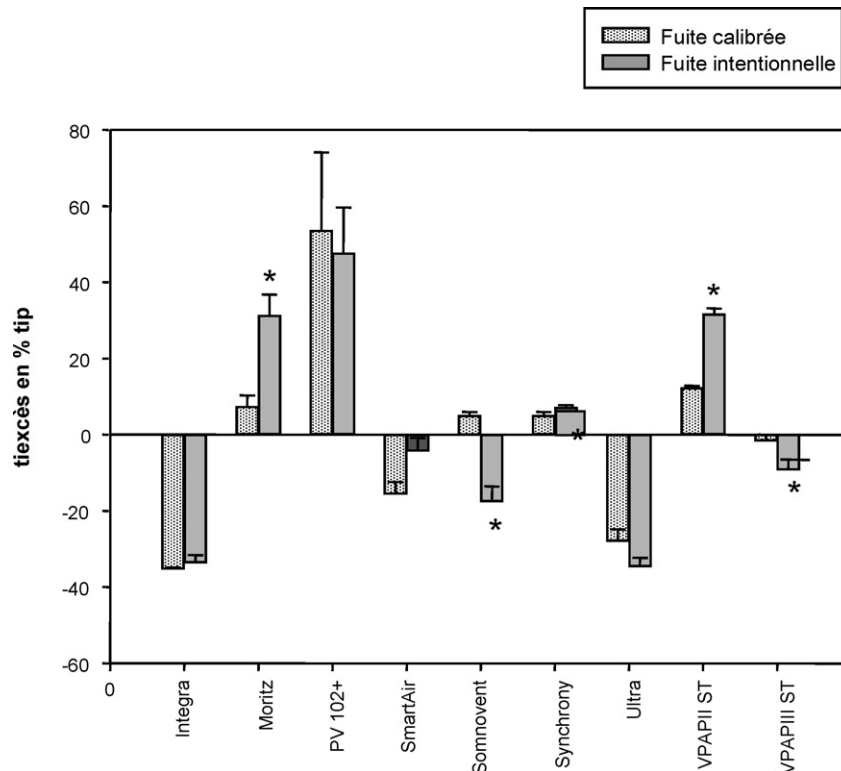


Figure 4 Performances des ventilateurs de domicile sur le cyclage en cas de mécanique obstructive, en présence et en absence de fuites. Le $t_{i\text{excès}}$ est la différence entre le $t_{i\text{patient}}$ (t_{ip}) et le $t_{i\text{ventilateur}}$ (t_{iv}), exprimée en pourcentage du t_{ip} : $t_{i\text{excès}} = (t_{iv} - t_{ip})/t_{ip} \times 100$ (moyennes \pm écarts-types). Une valeur positive représente un retard de cyclage, une valeur négative un cyclage prématuré.

Fuite calibrée : fuite liée à la conception du ventilateur (fixée par le constructeur) ; fuite intentionnelle : fuite provoquée simulant une fuite sur l'interface.

: $p < 0,05$ vs. fuite calibrée.

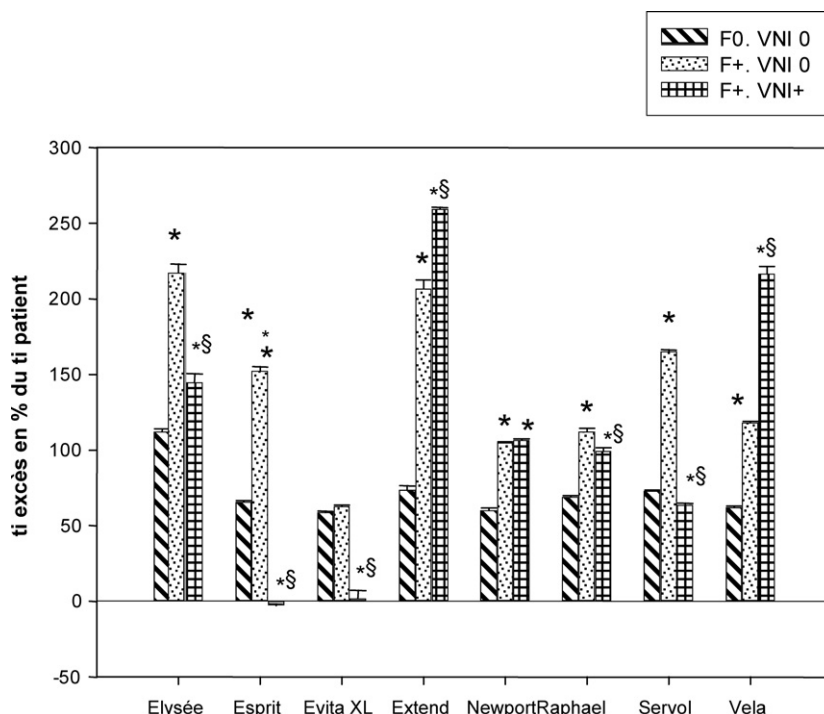


Figure 5 Performances des modes VNI des ventilateurs de réanimation sur le cyclage en cas de mécanique obstructive. Le t_i en excès ($t_{i_{excès}}$) est la différence entre le t_i patient (t_{ip}) et le t_i du ventilateur (t_{iv}), exprimée en pourcentage du t_{ip} : $t_{i_{excès}} = (t_{iv} - t_{ip})/t_{ip} \times 100$ (moyennes \pm écarts-types). Une valeur positive représente un retard de cyclage, une valeur négative un cyclage prématuré.

FO : sans fuites ; F+ : avec fuites ; VNI 0 : mode VNI inactif ; VNI+ : mode VNI activé.

: $p < 0,05$ vs. FO.VNI 0 ; § : $p < 0,05$ vs. F+.VNI 0 (Anova).

clenchements sont jugulés dans tous les cas. À noter qu'un algorithme, basé sur l'analyse de la courbe de débit, implémenté sur un ventilateur de domicile et sur un intermédiaire permet de diminuer le travail inspiratoire nécessaire au déclenchement et donc le nombre d'effort inefficaces mais engendre plus d'autodéclenchements [25].

Pressurisation

La qualité de la pressurisation, très dépendante de l'intensité de l'effort inspiratoire, varie considérablement entre les ventilateurs de domicile [24]. La pressurisation mesurée 300 ms après le début de l'effort inspiratoire montre que seule une machine atteint 50% de la valeur de pressurisation idéale. Les ventilateurs de réanimation ont une bonne capacité de pressurisation, mais elle est dégradée par les fuites, pour cinq ventilateurs sur huit testés [14]. Deux corrigent la situation en mode VNI.

Sur banc d'essai un ventilateur de domicile présente des performances proches des ventilateurs de réanimation [27]. Cependant, si la pressurisation est peu influencée par les fuites [28], celle-ci devient insuffisante lorsque l'effort inspiratoire est important (Fig. 3). Le réglage de la pente, accessible sur tous les ventilateurs, permet une réduction du travail ventilatoire sans augmenter les fuites [29]. En revanche, une aide inspiratoire trop élevée aggrave les fuites et l'hyperinflation dynamique [13,30]. Afin d'éviter ce risque des développements technologiques visant à automatiser le niveau d'AI sont en cours aussi bien le

domaine de la ventilation à domicile que dans celui de la réanimation [13,30].

Cyclage

Sur la plupart des ventilateurs la consigne de cyclage est réglable mais sa valeur idéale est difficile à déterminer. En l'absence d'un réglage automatique du trigger expiratoire, disponible seulement sur quelques ventilateurs, le réglage du $t_{i_{max}}$ apporte un moyen simple et efficace de limiter le cyclage tardif lié aux fuites. En présence de fuites, les ventilateurs de domicile et intermédiaires présentent des performances très variables alors qu'ils sont conçus pour la VNI [24] (Fig. 4). La situation est la même concernant les ventilateurs de réanimation possédant un mode VNI censé compenser les effets des fuites sur le cyclage [14]. En effet, seuls 50% d'entre eux corrigent tout ou partie du temps inspiratoire en excès (Fig. 5). Un algorithme de cyclage automatique (Autotrack®), basé sur l'analyse de la courbe de débit, est disponible sur les trois types de ventilateurs. Sur le ventilateur de réanimation testé, il corrige parfaitement les défauts de cyclage consécutifs aux fuites mais aussi ceux liés à la mécanique respiratoire [14].

Expiration

Pour éviter la réinhalation de CO_2 sur les ventilateurs dédiés à la VNI, la pressurisation du circuit est garantie en permanence par un niveau de PEP minimal obligatoire. Cela permet le maintien de la fuite à la phase expiratoire et, par

conséquent, l'élimination du CO₂. Il existe des valves expiratoires additionnelles qui éliminent totalement le risque de réinhalation mais au prix d'un travail respiratoire augmenté [31,32] en raison de leur résistance plus ou moins élevée [31]. Concernant les ventilateurs de réanimation, la résistance de la valve expiratoire est très faible [33].

Monitoring

La plupart des ventilateurs disposent d'une mesure de la fréquence respiratoire et des volumes courants inspirés (VTI) et expirés (VTE) permettant le calcul de la fuite (VTI – VTE) [10]. En l'absence de capteurs de débit, le VTE est calculé. C'est le cas, par exemple des ventilateurs de type domicile. L'alarme de VTE est probablement la plus utile, car elle permet la titration du niveau d'AI tout en tenant compte de l'importance de la fuite [10]. L'examen des courbes de débit et de pression des voies aériennes permet une détection des asynchronies et l'adaptation des différents paramètres de l'AI (PEP, pente, consigne de cyclage) [34,35]. Ces courbes ne sont disponibles que sur les ventilateurs de réanimation ou intermédiaires. À noter qu'un ventilateur de domicile propose un algorithme de détection automatique des asynchronies (efforts inefficaces et double déclenchements), avec une sensibilité de 95 % et une spécificité de 95 % en VNI [36].

Autres aspects

La FiO₂ n'est pas directement réglable sur les ventilateurs de domicile. Sur certains d'entre eux, l'oxygène est branché en amont de la turbine et non sur le circuit, ce qui a pour avantage de ne pas interférer avec les performances du trigger inspiratoire. En l'absence de monitoring spécifique, la FiO₂ réellement délivrée n'est pas connue avec précision contrairement aux ventilateurs de réanimation et intermédiaires. Jusqu'à ce jour, peu d'efforts spécifiques ont été fait concernant l'interaction homme/machine, homme au sens de l'opérateur, comme en témoigne le manque de convivialité des ventilateurs toutes catégories confondues [20,21]. Cet aspect mériterait des études approfondies notamment dans le cadre de leur utilisation dans l'IRA, situation très dynamique et donc propice à l'erreur humaine.

Enfin, les ventilateurs de réanimation sont chers, encombrants, lourds, bruyants et nécessitent un réseau de gaz médicaux. À l'autre extrême, les ventilateurs de domicile sont meilleur marché, compacts, légers, silencieux et ne nécessitent aucune installation particulière. Les ventilateurs hybrides ont un coût intermédiaire, mais nécessitent l'utilisation de consommables relativement coûteux.

Conclusion

Lors de la VNI pour IRA le choix du ventilateur devrait tenir compte des nombreuses contraintes que nous venons de décrire. Celles-ci sont liées au type de décompensation du patient et à la structure de soins au sens large (équipe soignante comprise) [37]. S'il n'est pas possible de recommander « le » ventilateur pour « la » situation donnée on peut tout de même dégager un certain nombre de règles générales.

La prise en charge des grandes IRA non hypercapniques nécessite de bonnes capacités de pressurisation, des FiO₂ élevées, un monitoring complet, des alarmes fiables et facilement interprétables. En faisant abstraction du manque de convivialité, c'est le champ des ventilateurs lourds de réanimation d'autant plus que ces patients risquent d'être intubés à tous moment.

Les décompensations hypercapniques des insuffisances respiratoires chroniques en général nécessitent une puissance mécanique moins importante mais une détection et un traitement sophistiqué des asynchronies liées ou non aux fuites. Jusqu'à récemment, avant le développement des modes VNI sur les ventilateurs de réanimation, les ventilateurs spécifiquement dédiés à la VNI semblaient les mieux adaptés.

Toutefois, les décompensations hypercapniques des insuffisances respiratoires chroniques lorsqu'elles sont sévères nécessitent, en plus de la compensation des fuites, une bonne capacité de pressurisation et la possibilité d'utiliser des modes volumétriques.

En dehors des services de réanimation et d'urgence, les contraintes logistiques sont souvent au premier plan justifiant l'utilisation des ventilateurs de type domicile.

Au sein d'un service de réanimation, la polyvalence des ventilateurs lourds actuels justifie cet investissement. L'uniformisation du parc facilite la formation des utilisateurs. Les ventilateurs de domicile permettent d'anticiper sur un équipement à domicile chez des patients stabilisés mais nécessitant encore une surveillance intensive.

Enfin, l'existence d'une fonctionnalité particulière sur un ventilateur n'implique pas toujours que celle-ci respecte son cahier des charges. Cette observation nécessite la poursuite des tests en laboratoire orientés par des questions cliniquement pertinentes.

Références

- [1] Hill NS, Brennan J, Garpestad E, Nava S. Noninvasive ventilation in acute respiratory failure. *Crit Care Med* 2007;35:2402–7.
- [2] Antonelli M, Conti G, Rocco M, Bufi M, De Blasi RA, Vivino G, et al. A comparison of noninvasive positive-pressure ventilation and conventional mechanical ventilation in patients with acute respiratory failure. *N Engl J Med* 1998;339:429–35.
- [3] L'Her E. Noninvasive ventilation outside the intensive care unit: a new standard of care? *Crit Care Med* 2005;33:1642–3.
- [4] Templier F, Dolveck F, Baer M, Chauvin M, Fletcher D. 'Boussignac' continuous positive airway pressure system: practical use in a prehospital medical care unit. *Eur J Emerg Med* 2003;10:87–93.
- [5] Plant PK, Owen JL, Elliot MW. Early use of non-invasive ventilation for acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease on general respiratory wards: a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 2000;355:1931–5.
- [6] Bouquin V, L'Her E, Moriconi M, Jobic Y, Maheu B, Guillo P, et al. Spontaneous ventilation in positive expiratory pressure in cardiogenic pulmonary edema. Prospective study. *Arch Mal Coeur Vaiss* 1998;91:1243–8.
- [7] Demoule A, Girou E, Richard JC, Taille S, Brochard L. Increased use of noninvasive ventilation in French intensive care units. *Intensive Care Med* 2006;32:1747–55.
- [8] Carlucci A, Richard JC, Wysocki M, Lepage E, Brochard L. Noninvasive versus conventional mechanical ventilation.

- An epidemiologic survey. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;163:874–80.
- [9] Tobin MJ, Jubran A, Laghi F. Patient-ventilator interaction. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;163:1059–63.
- [10] SRLF S, et SPLF. Avec la participation de la SFMU, du SAMU de France, du GRUP, et de l'ADARPEF. 3^e Conférence de Consensus commune. Ventilation Non invasive au cours de l'insuffisance respiratoire aiguë (nouveau-né exclu). www.SRLF.org 2006.
- [11] Brochard L, Isabey D, Piquet J, Amaro P, Mancebo J, Messadi AA, et al. Reversal of acute exacerbations of chronic obstructive lung disease by inspiratory assistance with a face mask. *N Engl J Med* 1990;323:1523–30.
- [12] Antonelli M, Conti G, Moro ML, Esquinas A, Gonzalez-Diaz G, Confalonieri M, et al. Predictors of failure of noninvasive positive pressure ventilation in patients with acute hypoxemic respiratory failure: a multi-center study. *Intensive Care Med* 2001;27:1718–28.
- [13] Thille AW, Rodriguez P, Cabello B, Lellouche F, Brochard L. Patient-ventilator asynchrony during assisted mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 2006;32:1515–22.
- [14] Vignaux L, Tassaux D, Jolliet P. Performance of noninvasive ventilation modes on ICU ventilators during pressure support: a bench model study. *Intensive Care Med* 2007;33:1444–51.
- [15] Whitelaw WA, Derenne JP, Milic-Emili J. Occlusion pressure as a measure of respiratory center output in conscious man. *Respir Physiol* 1975;23:181–99.
- [16] Brochard L. Inspiratory pressure support. *Eur J Anaesthesiol* 1994;11:29–36.
- [17] Tassaux D, Michotte J, Gainnier M, Gratadour P, Fonseca S, Jolliet P. Expiratory trigger setting in Pressure Support Ventilation: from mathematical model to bedside. *Crit Care Med* 2004;32:1844–50.
- [18] Tassaux D, Gainnier M, Battisti A, Jolliet P. Impact of expiratory trigger setting on delayed cycling and inspiratory muscle workload. *Am J Respir Crit Care Med* 2005;172:1283–9.
- [19] 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.
- [20] Gonzalez-Bermejo J, Laplanche V, Hussein FE, Duguet A, Derenne JP, Similowski T. Evaluation of the user-friendliness of 11 home mechanical ventilators. *Eur Respir J* 2006;27:1236–43.
- [21] Taillé SLF, Fartoukh M, Brochard L. Évaluation de la simplicité de 9 ventilateurs de réanimation. *Reanimation* 2003;12:239s.
- [22] Girault C, Richard JC, Chevron V, Tamion F, Pasquis P, Leroy J, et al. Comparative physiologic effects of noninvasive assist-control and pressure support ventilation in acute hypercapnic respiratory failure. *Chest* 1997;111:1639–48.
- [23] Hill LL, Pearl RG. Flow triggering, pressure triggering, and autotriggering during mechanical ventilation. *Crit Care Med* 2000;28:579–81.
- [24] Battisti A, Tassaux D, Janssens JP, Michotte JB, Jaber S, Jolliet P. Performance characteristics of 10 home mechanical ventilators in pressure-support mode: a comparative bench study. *Chest* 2005;127:1784–92.
- [25] Stell IM, Paul G, Lee KC, Ponte J, Moxham J. Noninvasive ventilator triggering in chronic obstructive pulmonary disease. A test lung comparison. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;164:2092–7.
- [26] Richard JC, Carlucci A, Breton L, Langlais N, Jaber S, Maggiore S, et al. Bench testing of pressure support ventilation with three different generations of ventilators. *Intensive Care Med* 2002;28:1049–57.
- [27] Tassaux D, Strasser S, Fonseca S, Dalmas E, Jolliet P. Comparative bench study of triggering, pressurization, and cycling between the home ventilator VPAP II and three ICU ventilators. *Intensive Care Med* 2002;28:1254–61.
- [28] Mehta S, McCool FD, Hill NS. Leak compensation in positive pressure ventilators: a lung model study. *Eur Respir J* 2001;17:259–67.
- [29] Prinianakis G, Delmastro M, Carlucci A, Ceriana P, Nava S. Effect of varying the pressurization rate during noninvasive pressure support ventilation. *Eur Respir J* 2004;23:314–20.
- [30] Schettino GP, Tucci MR, Sousa R, Valente Barbas CS, Passos Amato MB, Carvalho CR. Mask mechanics and leak dynamics during noninvasive pressure support ventilation: a bench study. *Intensive Care Med* 2001;27:1887–91.
- [31] 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.
- [32] Ferguson GT, Gilmartin M. CO₂ rebreathing during BiPAP ventilatory assistance. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;151:1126–35.
- [33] Patel RG, Petrini MF. Respiratory muscle performance, pulmonary mechanics, and gas exchange between the BiPAP S/T-D system and the Servo Ventilator 900C with bilevel positive airway pressure ventilation following gradual pressure support weaning. *Chest* 1998;114:1390–6.
- [34] Giannouli E, Webster K, Roberts D, Younes M. Response of ventilator-dependent patients to different levels of pressure support and proportional assist. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:1716–25.
- [35] Georgopoulos D, Prinianakis G, Kondili E. Bedside waveforms interpretation as a tool to identify patient-ventilator asynchronies. *Intensive Care Med* 2006;32:34–47.
- [36] Mulqueeny Q, Ceriana P, Carlucci A, Fanfulla F, Delmastro M, Nava S. Automatic detection of ineffective triggering and double triggering during mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 2007.
- [37] Lellouche F. Ventilateurs, modes ventilatoires au cours de la ventilation non invasive. In: Conférence de consensus commune de la SRLF, de la SFAR et de la SPLF. 2006. p. 29–42.