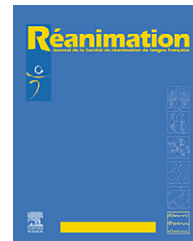


available at www.sciencedirect.comjournal homepage: <http://france.elsevier.com/direct/REAURG/>

MISE AU POINT

Interactions patient-ventilateur

Patient-ventilator interactions

A.-W. Thille*, L. Brochard

Service de réanimation médicale, faculté de médecine de Créteil, hôpital Henri-Mondor, université Paris-XII, APHP, Inserm U651, 51, avenue du Mal-de-Lattre-de-Tassigny, 94000 Créteil, France

Disponible sur internet le 18 janvier 2007

MOTS CLÉS

Ventilation mécanique assistée ;
Ventilation spontanée en aide inspiratoire ;
Interactions patient-ventilateur ;
Asynchronie patient-ventilateur ;
Effort inefficace

Résumé Lors de la ventilation assistée, des asynchronies patient-ventilateur peuvent survenir liées à une désynchronisation entre le temps inspiratoire du patient et le temps d'insufflation du ventilateur. Les ventilateurs de nouvelle génération avec des écrans de surveillance permettent de détecter cliniquement les principales asynchronies, grâce à l'examen attentif des courbes de débit et de pression des voies aériennes. L'effort inefficace est l'asynchronie la plus fréquemment détectée. C'est un effort généré par le patient, mais non détecté par le ventilateur. D'autres asynchronies sont facilement détectables, telles que les doubles déclenchements qui correspondent à deux cycles ventilateurs délivrés au cours d'un seul et même effort patient ou les autodéclenchements délivrés en plus des efforts du patient. Des asynchronies plus discrètes, telles que les inspirations prolongées ou liées à un débit d'insufflation insuffisant peuvent être suspectées. L'optimisation des paramètres ventilatoires peut réduire la survenue des efforts inefficaces : la réduction de l'aide inspiratoire ou du temps inspiratoire facilite le déclenchement adéquat du ventilateur. Les asynchronies semblent fréquentes en pratique clinique, et une étude montre qu'au moins un quart des patients intubés en réanimation présentent des asynchronies avec une fréquence élevée (> 10 %) au cours de la ventilation assistée telle que l'aide inspiratoire ou la ventilation assistée contrôlée. Les patients qui présentent ces asynchronies fréquentes nécessitent une durée de ventilation prolongée, favorisée par une gravité supérieure, mais aussi possiblement par des réglages ventilatoires inadéquats. De futures études devront déterminer si l'optimisation des paramètres ventilatoires peut réduire la durée de ventilation mécanique en améliorant la synchronisation patient-ventilateur.

© 2007 Publié par Elsevier Masson SAS pour la Société de réanimation de langue française.

KEYWORDS

Assisted mechanical ventilation;
Pressure-support ventilation;

Abstract During assisted ventilation like inspiratory pressure support or assist-control ventilation, patient-ventilator asynchrony may occur when the patient's inspiration fails to coincide exactly with the ventilator's insufflation. The new generation of ventilators with large screens facilitate the detection of gross asynchronies by careful examination of flow and airway-pressure tracings. The main asynchrony is ineffective triggering, defined as failure of a

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : arnaud.thille@orange.fr (A.-W. Thille).

Patient-ventilator interaction;
Patient-ventilator asynchrony;
Ineffective triggering

patient's inspiratory effort to trigger a ventilator breath. Ineffective triggering is caused by dynamic hyperinflation at the time of a triggering attempt. Other major asynchronies include double triggering, in which two consecutive ventilator cycles are triggered by a single patient effort; and autotriggering, in which the ventilator is triggered by signals that do not come from the patient. More discreet asynchronies such as prolonged insufflation during pressure-support ventilation or inadequate flow rate during assist-control ventilation can also be suspected from the flow and airway-pressure traces. Simple delays in triggering or cycling are extremely common but difficult to detect. At least one study suggests that nearly one-fourth of intubated patients exhibit frequent asynchronies (> 10%) during assisted ventilation. A frequent occurrence of asynchrony is associated with a longer duration of mechanical ventilation. This may reflect not only greater disease severity, but also inappropriate ventilator settings. Optimizing the ventilator settings, most notably by reducing ventilatory support or insufflation time, can minimize ineffective triggering. Whether optimizing ventilation shortens the duration of mechanical ventilation by reducing the occurrence of asynchrony is still an open question.

© 2007 Publié par Elsevier Masson SAS pour la Société de réanimation de langue française.

Introduction

La ventilation mécanique assistée, qui permet de synchroniser les cycles du ventilateur aux efforts du patient, est largement utilisée en réanimation. Une synchronisation adéquate entre le patient et le ventilateur permet d'améliorer le confort du patient et de réduire son travail respiratoire [1]. Les asynchronies patient-ventilateur, définies comme un décalage entre l'inspiration du patient et l'insufflation du ventilateur sont fréquemment observées en pratique clinique. La détection des asynchronies nécessite au mieux des mesures physiologiques (mesure de la pression œsophagienne ou électromyogramme du diaphragme) [2,3]. Cependant, des asynchronies majeures peuvent être facilement détectées par le clinicien, à partir des signaux de débit et de pression des voies aériennes observés sur les écrans du ventilateur [4]. Récemment, Thille et al. ont évalué l'incidence des asynchronies patient-ventilateur chez les patients intubés [5]. Les auteurs ont trouvé que les asynchronies étaient fréquentes et qu'elles s'associaient à une durée de ventilation prolongée. L'identification des facteurs favorisant ces asynchronies pourrait aider à optimiser les réglages du ventilateur et améliorer l'harmonie patient-ventilateur.

Incidence et conséquences des asynchronies

Malgré l'amélioration des performances des ventilateurs de réanimation [6], la synchronisation parfaite entre le patient et le ventilateur n'existe pas [1]. Des asynchronies majeures telles que des efforts inefficaces, des doubles déclenchements ou des autodéclenchements peuvent être facilement détectées par le clinicien, mais la fréquence de ces asynchronies n'est pas connue. Une seule étude a évalué la fréquence des efforts inefficaces chez des patients admis dans une unité de sevrage ventilatoire [7]. Les auteurs ont retrouvé que plus de 10 % des patients présentaient de telles asynchronies. Récemment, Thille et al. ont évalué l'incidence des asynchronies au cours de la ventilation mécanique assistée [5]. Tous les patients intubés plus de 24 heures ont été évalués dès qu'ils déclenchaient le ventilateur : 82 % étaient

en ventilation spontanée avec aide inspiratoire (VSAI) et 18 % en ventilation assistée contrôlée (VAC). Les auteurs retrouvaient que près d'un quart des patients (15 sur 62 patients) présentaient des asynchronies fréquentes, comptant pour plus que 10 % des efforts inspiratoires. Les efforts inefficaces et les doubles déclenchements représentaient les deux asynchronies les plus fréquentes (85 et 13 %, respectivement). Les patients qui présentaient des asynchronies fréquentes nécessitaient une durée de ventilation mécanique plus longue et la réalisation d'une trachéotomie pour sevrage était plus fréquente [5]. Chao et al. ont aussi retrouvé que le succès du sevrage ventilatoire était moins fréquent parmi ces patients [7]. Ces résultats pourraient indiquer soit une atteinte respiratoire plus sévère favorisant les asynchronies, soit des réglages ventilatoires inadéquats. L'optimisation des paramètres ventilatoires permet d'améliorer la qualité du sommeil, notamment en réduisant la fréquence des asynchronies [8]. De nouvelles études devront déterminer s'il est possible de réduire la durée de ventilation en améliorant la synchronisation patient-ventilateur.

Quelles sont les principales asynchronies et comment les dépister ?

La méthode de référence pour déterminer de façon précise le début et la fin de l'inspiration repose sur des explorations physiologiques invasives, telles que la mesure de la pression œsophagienne ou l'électromyogramme du diaphragme. Giannouli et al. ont montré que l'utilisation d'une méthode non invasive basée sur l'analyse du débit et de la pression des voies aériennes permettait de détecter les asynchronies [9].

Efforts inefficaces

L'effort inefficace est un effort généré par le patient, mais non détecté par le ventilateur. L'effort est insuffisant pour surmonter la charge liée à la pression expiratoire positive (PEP) intrinsèque ou auto-PEP. Plusieurs études ont montré que les efforts inefficaces survenaient préférentiellement

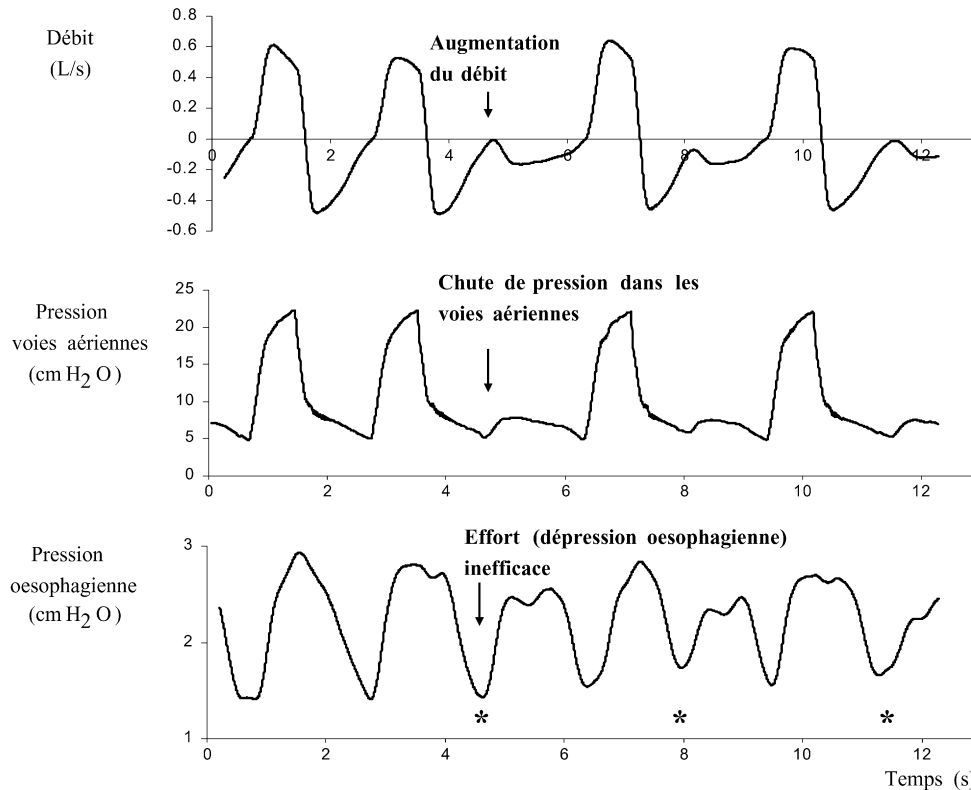


Figure 1 Signal de débit et de pression des voies aériennes montrant un effort inefficace. On observe une chute de pression qui coïncide avec une augmentation du débit pendant la phase expiratoire (flèche). Les efforts du patient ne sont pas détectés par le ventilateur qui ne délivre pas cycle (étoiles).

chez des patients ayant une bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), mais ils peuvent aussi survenir en dehors de cette maladie [5,10,11]. L'effort inefficace peut être détecté sur l'écran du ventilateur par une dépression simultanée à une augmentation du débit (Fig. 1). Ces efforts inefficaces peuvent survenir avec tous les modes ventilatoires. La fréquence augmente quand le niveau d'assistance ventilatoire augmente, du fait d'un plus grand volume courant (qui favorise la PEP intrinsèque) et d'une inhibition de la commande ventilatoire centrale (qui diminue l'intensité de l'effort) [12].

Doubles déclenchements

Les doubles déclenchements surviennent quand la demande ventilatoire du patient est importante et que le temps d'insufflation (T_i) du ventilateur est trop court [13]. On visualise deux cycles inspiratoires successifs séparés par un temps expiratoire inexistant ou très court (Fig. 2). L'effort du patient n'est pas terminé à la fin du premier cycle donc il déclenche un deuxième cycle ventilateur. Thille et al. ont retrouvé que les doubles déclenchements étaient associés au mode VAC, probablement parce que le temps d'insufflation est plus court qu'en VSAI [5].

Autodéclenchements

Les autodéclenchements sont des cycles délivrés par le ventilateur en l'absence d'effort, déclenchés par les

oscillations cardiaques ou une fuite dans le circuit. Imataka et al. ont décrit ce phénomène déclenché par les battements hyperdynamiques du cœur après chirurgie cardiaque [14]. Comme ils surviennent sans effort du patient, ils peuvent provoquer un inconfort et une résistance du patient face au ventilateur. On peut alors observer selon le mode, soit une augmentation brutale de la pression des voies aériennes en VAC, soit un cycle court et une distorsion du signal de débit en VSAI. Chez le patient paralysé ou qui ne déclenche pas le ventilateur, la fréquence ventilatoire devient supérieure à celle réglée sur le ventilateur provoquant une hyperventilation et une alcalose respiratoire.

Autres asynchronies

En VSAI, on peut observer des inspirations prolongées qui correspondent à la poursuite de l'insufflation alors que le patient veut expirer. Ce phénomène peut être détecté par une augmentation de pression en fin d'insufflation [4]. Ces inspirations prolongées peuvent induire de l'auto-PEP, notamment chez les patients BPCO.

Le débit d'insufflation est un réglage fondamental en VAC, qui influence le confort et la synchronisation patient-ventilateur. Un débit insuffisant augmente de façon significative le travail respiratoire, surtout chez les patients qui ont une demande ventilatoire élevée [15,16]. Ce phénomène peut

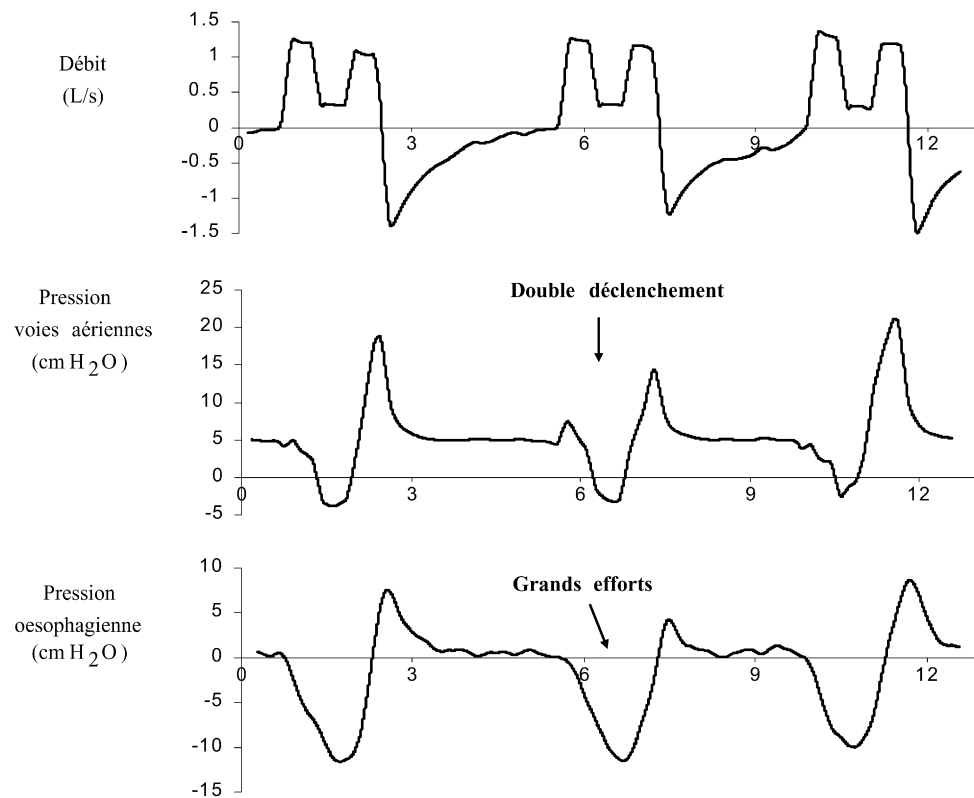


Figure 2 Signal de débit et de pression des voies aériennes montrant des doubles déclenchements, définis par deux cycles ventilateurs consécutifs, séparés par un temps expiratoire très court, voire inexistant, et déclenchés par un seul effort (flèche). Le temps inspiratoire du patient est plus long que le temps inspiratoire du ventilateur: le patient déclenche un deuxième cycle, car il n'a pas fini son effort.

être dépisté grâce au signal de pression des voies aériennes qui montre une dépression au début du cycle (Fig. 3).

Améliorer la synchronisation en aide inspiratoire

Trigger Inspiratoire

Aslanian et al. ont trouvé une réduction du travail respiratoire avec un trigger en débit [17]. De plus, Thille et al. observaient plus d'efforts inefficaces quand le trigger inspiratoire était moins sensible [5]. Le réglage optimal du trigger serait un trigger en débit réglé à sa valeur minimale (la plus sensible) afin de favoriser tous les cycles, mais sans induire des autodéclenchements.

Réglage de la PEP

L'application d'une PEP externe peut favoriser le déclenchement et réduire l'incidence des efforts inefficaces chez les patients qui ont des niveaux de PEP intrinsèque élevés [7, 18]. Cependant, le niveau de PEP optimal est difficile à déterminer. La PEP externe doit rester inférieure à la PEP intrinsèque du patient pour éviter le risque d'hyperinflation, mais cette PEP intrinsèque est variable d'un cycle à l'autre et sa mesure nécessite une mesure de pression œsophagienne [2, 12]. On peut faire une approximation de la PEP intrinsèque lors d'une occlusion téléexpiratoire, mais cette manœuvre n'est pas interprétable si le patient fait des efforts pendant

l'occlusion. Alors qu'une titration précise de la PEP externe permet de réduire la fréquence des efforts inefficaces [18], une PEP réglée à 5 cmH₂O n'est pas toujours efficace [11]. Bien que cette valeur corresponde à la PEP moyenne appliquée aux patients BPCO en pratique clinique [19], elle pourrait être trop élevée pour bon nombre de patients.

Réglage du niveau d'aide inspiratoire

Chao et al. montraient que la méthode la plus efficace pour réduire les efforts inefficaces était la réduction du niveau d'aide inspiratoire, alors que la PEP externe réduisait, mais n'éliminait pas ces efforts inefficaces [7]. Deux études physiologiques ont montré que la réduction du niveau d'aide pouvait minimiser les efforts inefficaces, en réduisant le volume courant et le temps d'insufflation, ce qui permettait d'allonger le temps expiratoire et de limiter l'auto-PEP [12, 18]. Les efforts inefficaces sont favorisés par une assistance ventilatoire excessive [5, 12]. Un niveau d'aide inspiratoire plus faible peut réduire la fréquence des efforts inefficaces sans augmenter le travail respiratoire. En effet, l'énergie liée aux efforts inefficaces représente 10 à 50 % du travail respiratoire total [12, 18]. Cependant, une diminution importante du niveau d'aide augmente le travail du diaphragme et induit des signes de mauvaise tolérance clinique, qui conduisent vers l'acidose respiratoire [18]. En cas d'assistance ventilatoire excessive, la réduction du niveau d'aide peut minimiser, voire éliminer les efforts inefficaces sans modifier la ventilation alvéolaire avec

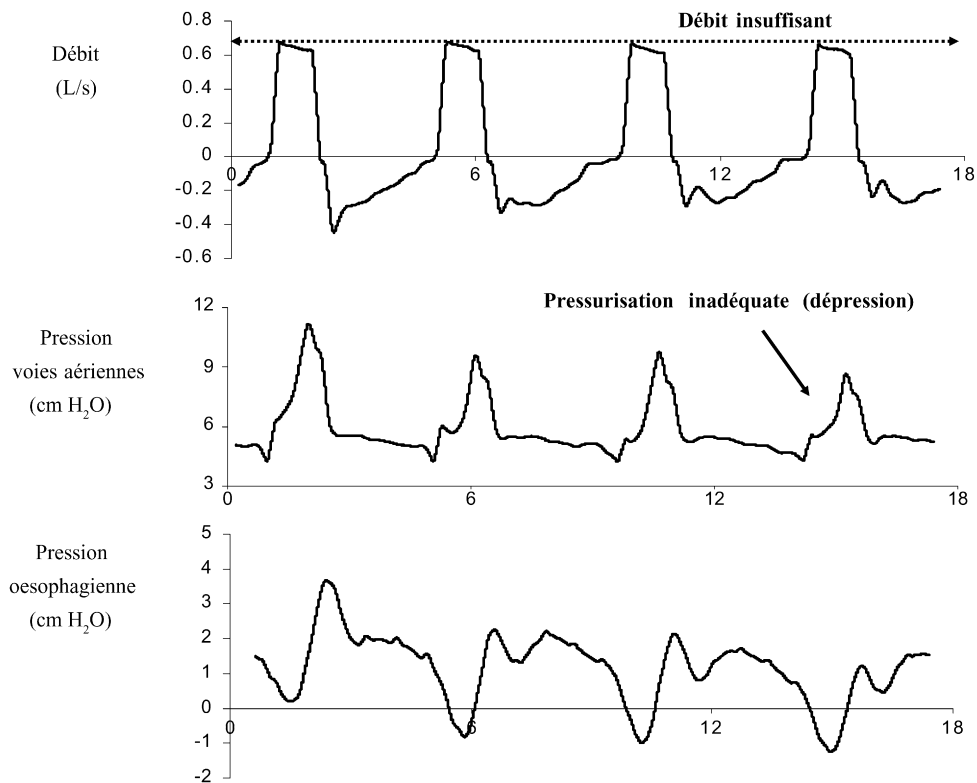


Figure 3 Signal de débit et de pression des voies aériennes montrant une distorsion du signal de pression des voies aériennes caractérisé par un aspect concave. Le débit inspiratoire réglé sur le ventilateur est insuffisant ce qui provoque une pressurisation inadéquate, notamment quand le patient génère des efforts importants avec des dépressions importantes.

une PCO_2 qui reste stable [20]. Le volume courant diminue et la fréquence respiratoire du ventilateur augmente. Cependant, la vraie fréquence respiratoire du patient reste stable (entre 25 et 30/minutes) et les efforts inefficaces sont simplement démasqués [20]. Les efforts inefficaces pourraient être le témoin d'une assistance ventilatoire excessive et permettre une titration optimale du niveau d'aide en réduisant progressivement la pression délivrée.

Temps inspiratoire

En VSAI, le temps inspiratoire n'est pas réglable et dépend de la demande ventilatoire du patient. Le temps d'insufflation du ventilateur tend à être plus long que le vrai temps inspiratoire neural du patient [3]. L'expiration survient quand le débit d'inspiration diminue en dessous d'une valeur seuil (généralement réglée à 25 % du débit d'inspiration maximal). Tassaux et al. ont récemment évalué l'impact de la réduction du temps inspiratoire sur les asynchronies et le travail respiratoire des patients BPCO [21]. Cette étude montrait que l'augmentation du trigger expiratoire jusqu'à 70 % du débit de pointe améliorait la synchronisation patient-ventilateur et réduisait les efforts inefficaces sans modifier le travail respiratoire, ni la ventilation minute. La réduction du volume courant et la limitation des inspirations prolongées permettaient une réduction de la PEP intrinsèque et de l'effort nécessaire pour déclencher le ventilateur.

L'ajustement du trigger expiratoire disponible sur les ventilateurs de nouvelle génération est un outil supplémentaire pour mieux synchroniser le ventilateur. Alors que l'augmenta-

tion du trigger expiratoire permet de réduire les efforts inefficaces chez les patients BPCO, la réduction du trigger expiratoire peut améliorer la synchronisation des patients qui sont en phase de sevrage, mais qui ont une demande ventilatoire élevée (comme au cours du syndrome de détresse respiratoire aigu). En effet, Chiumello et al. observaient une augmentation du volume courant et une diminution de la fréquence respiratoire quand le trigger était diminué de 40 à 5 % [22]. Tokioka retrouvait même une réduction du travail respiratoire avec une diminution du trigger de 45 à 1 % [13].

Améliorer la synchronisation en ventilation non invasive

Le problème spécifique de la ventilation non invasive (VNI) est lié à la présence de fuites autour du masque, qui provoque un inconfort et des asynchronies. En effet, deux asynchronies sont directement liées aux fuites : les inspirations prolongées liées aux fuites inspiratoires [23] et les autodéclenchements liés aux fuites expiratoires.

Inspirations prolongées

L'aide inspiratoire est le mode le plus utilisé en VNI [24]. En cas de fuites importantes, le ventilateur continue son insufflation, car le débit reste supérieur à la valeur du trigger expiratoire qui met fin à l'inspiration (en général 25 %). Dans cette situation, le patient essaie d'expirer et lutte contre le ventilateur qui poursuit l'inspiration et qui n'ouvre pas sa valve

Tableau 1 Optimisation des paramètres ventilatoires pour éliminer les efforts inefficaces en aide inspiratoire

Paramètres ventilatoires	Ajustement optimal
Trigger inspiratoire	Valeur minimale du trigger inspiratoire (la plus sensible) sans autodéclenchements.
Pression expiratoire positive	Application d'une faible PEP externe sans dépasser la PEP intrinsèque du patient.
Niveau d'aide inspiratoire	Diminution progressive du niveau d'aide inspiratoire, sans signes de mauvaise tolérance clinique.
Temps inspiratoire	Diminution progressive du temps inspiratoire, en augmentant le trigger expiratoire ou en réduisant le temps inspiratoire maximal, sans signes de mauvaise tolérance clinique.

expiratoire. L'objectif vise à réduire les fuites et à limiter le temps inspiratoire. La première étape est de vérifier la position du masque afin de réduire les fuites. La deuxième étape est de limiter la pression délivrée (PEP et pression d'aide), ce qui peut diminuer les fuites et donc diminuer la fréquence des inspirations prolongées, sans modifier la ventilation alvéolaire [25]. En cas de persistance des fuites, la troisième étape consiste à limiter le temps d'insufflation en augmentant le trigger expiratoire à plus de 50 % ou en imposant un temps inspiratoire maximal d'environ une seconde [23]. Enfin, la pression contrôlée peut être une autre alternative qui permet de régler le temps d'insufflation. La plupart des ventilateurs de dernière génération permettent l'ajustement du trigger expiratoire ou du temps inspiratoire maximal.

Autodéclenchements

Les fuites expiratoires peuvent générer une chute de pression en dessous de la valeur de PEP externe, simulant un effort du patient, et favorisant le déclenchement d'un cycle machine. L'objectif est d'éliminer ces autodéclenchements en augmentant le trigger inspiratoire (moins sensible) sans favoriser des efforts inefficaces.

Mode non invasif

Les ventilateurs de nouvelle génération proposent maintenant des modes ventilatoires dédiés à la VNI. L'objectif repose sur la détection des fuites afin d'adapter de façon automatique le trigger inspiratoire (pour éviter les autodéclenchements) et le temps d'inspiration (pour éviter les inspirations prolongées) [26]. Ces nouvelles performances pourraient améliorer la synchronisation patient-ventilateur et peut être aussi la tolérance donc la réussite de la VNI.

Améliorer la synchronisation en ventilation assistée contrôlée

Assistance ventilatoire excessive

Alors que les efforts inefficaces sont généralement décrits en VSAI, nous avons constaté qu'ils survenaient aussi bien en VSAI qu'en VAC [5]. Chez les patients qui présentent des efforts inefficaces en VAC, les paramètres ventilatoires doivent être ajustés de la même façon qu'en VSAI : trigger inspiratoire le plus sensible, faible niveau de PEP, réduction du volume courant et du temps d'insufflation. (Tableau 1).

Assistance ventilatoire insuffisante

Pour un volume courant donné, le temps d'insufflation dépend du débit ajusté, qui représente le principal réglage en VAC. Ward et al. observaient une réduction de l'effort inspiratoire quand on augmentait le débit de 25 à 65 l/min [15]. Un débit insuffisant provoque une pressurisation inadéquate, notamment chez les patients qui font des grands efforts. L'association d'un petit volume courant et d'un haut débit raccourcit le temps inspiratoire qui peut devenir plus court que le temps inspiratoire neural du patient, et provoquer des doubles déclenchements. Thille et al. observaient plus de doubles déclenchements en VAC qu'en VSAI, du fait d'un temps d'insufflation plus court [5]. De plus, les doubles déclenchements étaient associés à une hypoxémie plus profonde et à des pressions dans les voies aériennes plus élevées, suggérant une atteinte respiratoire plus sévère. Dans ce cas, il n'existe pas de solution idéale permettant d'allonger le temps d'insufflation pour éliminer ces doubles déclenchements. En effet, un débit plus faible augmenterait le travail respiratoire et induirait un inconfort [15,27], un plus grand volume courant favoriserait les lésions pulmonaires induites par la ventilation [28], et l'addition d'une pause télé-inspiratoire pourrait ne pas être bien tolérée chez un patient qui déclenche tous les cycles du ventilateur. Dans ce cas, il paraît préférable d'approfondir la sédation et d'attendre la guérison de la maladie pulmonaire.

Conclusion

Les asynchronies patient-ventilateur sont fréquentes au cours de la ventilation mécanique invasive, mais peuvent être facilement détectées sur les écrans des ventilateurs. Les efforts inefficaces sont les principales asynchronies observées en ventilation assistée et surviennent lorsque l'assistance ventilatoire excessive, quel que soit le mode ventilatoire. Les patients qui présentent des asynchronies fréquentes ont une durée de ventilation prolongée soit parce que l'atteinte respiratoire est plus sévère, soit secondaire à des réglages ventilatoires inappropriés. L'optimisation des paramètres ventilatoires, et notamment la réduction du niveau d'aide, permet de réduire, voire d'éliminer complètement la survenue des efforts inefficaces. Les fuites sont un problème spécifique à la VNI. Les fuites inspiratoires sont à l'origine d'inspirations prolongées qui peuvent être limitées par la réduction de la pression ou du temps d'insufflation. En VAC, le réglage du débit d'insufflation est le principal déterminant de la synchronisation et du confort du patient. Une valeur minimale de 60 l/min devrait être recommandée.

Références

- [1] Tobin MJ, Jubran A, Laghi F. Patient-ventilator interaction. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;163:1059-63.
- [2] Parthasarathy S, Jubran A, Tobin MJ. Cycling of inspiratory and expiratory muscle groups with the ventilator in airflow limitation. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;158:1471-8.
- [3] Beck J, Gottfried SB, Navalesi P, Skrobik Y, Comtois N, Rossini M, et al. Electrical activity of the diaphragm during pressure support ventilation in acute respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;164:419-24.
- [4] Georgopoulos D, Prinianakis G, Kondili E. Bedside waveforms interpretation as a tool to identify patient-ventilator asynchronies. *Intensive Care Med* 2006;32:34-47.
- [5] Thille AW, Rodriguez P, Cabello B, Lellouche F, Brochard L. Patient-ventilator asynchrony during assisted mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 2006;32:1515-22.
- [6] 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.
- [7] Chao DC, Scheinhorn DJ, Stearn-Hassenpflug M. Patient-ventilator trigger asynchrony in prolonged mechanical ventilation. *Chest* 1997;112:1592-9.
- [8] Fanfulla F, Delmastro M, Berardinelli A, Lupo ND, Nava S. Effects of different ventilator settings on sleep and inspiratory effort in patients with neuromuscular disease. *Am J Respir Crit Care Med* 2005;172:619-24.
- [9] 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.
- [10] Nava S, Bruschi C, Fracchia C, Braschi A, Rubini F. Patient-ventilator interaction and inspiratory effort during pressure support ventilation in patients with different pathologies. *Eur Respir J* 1997;10:177-83.
- [11] Vitacca M, Bianchi L, Zanotti E, Vianello A, Barbano L, Porta R, et al. Assessment of physiologic variables and subjective comfort under different levels of pressure support ventilation. *Chest* 2004;126:851-9.
- [12] Leung P, Jubran A, Tobin MJ. Comparison of assisted ventilator modes on triggering, patient effort, and dyspnea. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;155:1940-8.
- [13] Tokioka H, Tanaka T, Ishizu T, Fukushima T, Iwaki T, Nakamura Y, et al. The effect of breath termination criterion on breathing patterns and the work of breathing during pressure support ventilation. *Anesth Analg* 2001;92:161-5.
- [14] Imanaka H, Nishimura M, Takeuchi M, Kimball WR, Yahagi N, Kumon K. Autotriggering caused by cardiogenic oscillation during flow-triggered mechanical ventilation. *Crit Care Med* 2000;28:402-7.
- [15] Ward ME, Corbeil C, Gibbons W, Newman S, Macklem PT. Optimization of respiratory muscle relaxation during mechanical ventilation. *Anesthesiology* 1988;69:29-35.
- [16] Cinnella G, Conti G, Lofaso F, Lorino H, Harf A, Lemaire F, et al. Effects of assisted ventilation on the work of breathing: volume-controlled versus pressure-controlled ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;153:1025-33.
- [17] Aslanian P, El Atrous S, Isabey D, Valente E, Corsi D, Harf A, et al. Effects of flow triggering on breathing effort during partial ventilatory support. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;157:135-43.
- [18] Nava S, Bruschi C, Rubini F, Palo A, Iotti G, Braschi A. Respiratory response and inspiratory effort during pressure support ventilation in COPD patients. *Intensive Care Med* 1995;21:871-9.
- [19] Esteban A, Anzueto A, Frutos F, Alia I, Brochard L, Stewart TE, et al. Characteristics and outcomes in adult patients receiving mechanical ventilation: a 28-day international study. *JAMA* 2002;287:345-55.
- [20] Thille AW, Cabello B, Rodriguez P, Galia F, Brochard L. Optimisation of ventilatory settings and prevalence of patient-ventilator asynchrony. *Am J Respir Crit Care Med* 2006;173:A145.
- [21] 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.
- [22] Chiumello D, Pelosi P, Taccone P, Slutsky A, Gattinoni L. Effect of different inspiratory rise time and cycling off criteria during pressure support ventilation in patients recovering from acute lung injury. *Crit Care Med* 2003;31:2604-10.
- [23] Calderini E, Confalonieri M, Puccio PG, Francavilla N, Stella L, Gregoret C. Patient-ventilator asynchrony during non-invasive ventilation: the role of expiratory trigger. *Intensive Care Med* 1999;25:662-7.
- [24] Carlucci A, Richard JC, Wysocki M, Lepage E, Brochard L. Non-invasive versus conventional mechanical ventilation. An epidemiological survey. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;163:874-80.
- [25] Pertusini E, Lellouche F, Catani F, Heili S, Taillé S, Rodriguez P, et al. Patient-ventilator asynchronies during NIV: Does level of pressure matter? *Intensive Care Med* 2004;30:565.
- [26] Rodriguez P, Lyazizi A, Thille A, Polito A, Galia F, Cabello B, et al. Bench evaluation of specific NIV settings on ICU ventilators. *Intensive Care Med* 2005;31:S206.
- [27] Manning HL, Molinary EJ, Leiter JC. Effect of inspiratory flow rate on respiratory sensation and pattern of breathing. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;151:751-7.
- [28] Gajic O, Frutos-Vivar F, Esteban A, Hubmayr RD, Anzueto A. Ventilator settings as a risk factor for acute respiratory distress syndrome in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med* 2005;31:922-6.