



Disponible en ligne sur  
 ScienceDirect  
www.sciencedirect.com

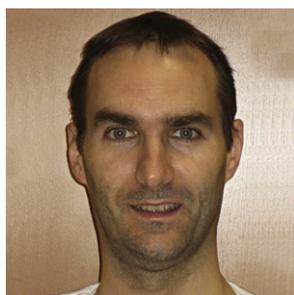
Elsevier Masson France  
  
www.em-consulte.com



## RUBRIQUE PRATIQUE

# Comment humidifier les voies aériennes chez les patients ventilés en réanimation ?

Airways humidification in ICU ventilated patients



**Géraud Chanques\*, Samir Jaber**

*Service d'anesthésie et de réanimation B (SAR B), hôpital Saint-Éloi, CHU de Montpellier, 80, avenue Augustin-Fliche, 34295 Montpellier cedex 5, France*

Disponible sur Internet le 13 mai 2010

### MOTS CLÉS

Humidification ;  
Ventilation  
mécanique ;  
Ventilation non  
invasive ;  
Insuffisance  
respiratoire aiguë ;  
Humidificateur  
chauffant ;  
Échangeur de chaleur  
et d'humidité

**Résumé** L'humidification et le réchauffement des gaz inspirés sont des fonctions physiologiques des voies aériennes supérieures destinées à préserver l'intégrité de la muqueuse en aval, du risque d'obstruction, d'atélectasie et de pneumopathie. Ces fonctions sont court-circuitées chez le patient ventilé sur sonde endotrachéale et potentiellement insuffisantes chez le patient traité par ventilation non invasive, voir lors de l'administration d'oxygène à débit élevé. Les humidificateurs chauffants (HC) sont les dispositifs les plus efficaces. Ils sont aussi les plus coûteux et les plus difficiles à utiliser, comparés aux échangeurs de chaleur et d'humidité (ECH) (appelés aussi « filtres » en raison d'une propriété filtrante antimicrobienne fréquemment associée). Les deux types de dispositifs proposés actuellement sur le marché ont bénéficié de progrès techniques constants et aucune preuve scientifique ne permet aujourd'hui de recommander ou de contre-indiquer formellement l'utilisation de l'un ou l'autre des dispositifs. Notamment, à la différence du passé, il n'existe pas de risque accru de pneumopathie nosocomiale associée à l'utilisation d'un HC. L'utilisation d'un « filtre » est déterminée avant tout par sa fonction échangeur de chaleur et d'humidité. Certains « filtres » sont encore insuffisants en termes d'humidification ou générant un espace mort trop important. Les caractéristiques des « filtres » disponibles sur le marché doivent être connues du praticien avant leur achat et évaluées de manière indépendante. L'utilisation routinière, simple et non coûteuse des « filtres », serait à apprécier au regard de la nécessité d'en changer régulièrement et de leur efficacité insuffisante dans un certain nombre de situations cliniques qui doivent être bien identifiées.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [g-chanques@chu-montpellier.fr](mailto:g-chanques@chu-montpellier.fr) (G. Chanques).

**KEYWORDS**

Humidification;  
 Mechanical ventilation;  
 Non invasive ventilation;  
 Acute respiratory distress;  
 Heated humidifier;  
 Heat and moisture exchanger

**Summary** Humidification and warming of inspired gas are physiological functions of upper airways aiming to preserve the lower airway mucosa. Otherwise, the patient is exposed to the risk of airway obstruction, atelectasis and pneumonia. These functions are bypassed in patients ventilated with an endotracheal tube, and are potentially insufficient in patient treated with non invasive ventilation, and sometimes in non-mechanically ventilated patients treated by receiving oxygen high flow. Heated humidifiers are the most efficient humidification and warming devices but also the most expensive ones and the less easy to use, compared to heat and moisture exchangers (also called "filters" because of their frequent antimicrobial filter property). The two types of devices, that are now available, have been technically improved and there is no evidence to recommend or prohibit at the present time the use of one device or the other. There is especially no risk of nosocomial pneumonia associated with the use of a heated humidifier, contrarily to early devices. Use of a "filter" is determined firstly by its heat and moisture exchange capacity. Humidification function of some available "filters" may be insufficient or add a large dead space. "Filters" performances should be checked by independent assessment and known by physician before their purchase. If the routine use of "filters" has been chosen because of their cost and their simplicity of use, cost-effectiveness should be taken into account that they must be changed regularly and that they are insufficient in several clinical situations, which have to be well-known.

© 2010 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

## Points essentiels

- L'humidificateur chauffant (HC) (« cocotte ») est le dispositif permettant la meilleure humidification des gaz inspirés quelle que soit la situation clinique.
- Il n'y a pas de risque démontré de pneumopathie nosocomiale associé à l'utilisation d'une cocotte avec les dispositifs les plus récents.
- Les échangeurs de chaleur et d'humidité (ECH) (« filtres ») sont utilisés prioritairement pour leur fonction d'humidification et non pour leur fonction filtre antimicrobien.
- Contrairement aux « cocottes », la capacité d'humidification des « filtres » est variable selon les modèles et doit être mesurée de manière indépendante.
- S'il n'existe pas de preuve scientifique formelle sur laquelle s'appuyer pour recommander le choix de l'un ou l'autre des deux dispositifs pour une utilisation routinière, les « filtres » sont plus simples à utiliser et moins coûteux pour une ventilation de courte durée, comparés aux « cocottes ».
- Les situations cliniques, où les « filtres » peuvent être insuffisants, doivent être bien identifiées et justifient la disponibilité d'une ou plusieurs « cocottes » dans les unités de réanimation.
- Une humidification correcte et suffisante des gaz administrés au patient doit être recherchée cliniquement aussi bien pour la ventilation mécanique sur sonde endotrachéale (changement de résistance des voies aériennes, atelectasies) que pour la ventilation non invasive et même pour l'oxygénothérapie à haut débit en dehors de la ventilation mécanique (sécheresse muqueuse, inconfort et douleur).
- Il ne faut jamais utiliser les deux dispositifs d'humidification en même temps chez un même patient.

## Introduction

Les voies aériennes supérieures filtrent, humidifient et réchauffent les gaz inspirés. Il s'agit d'une véritable fonction physiologique permettant de conserver l'intégrité de la muqueuse des voies aériennes inférieures, notamment de l'appareil mucociliaire. La fonction d'humidification et de réchauffement des voies aériennes supérieures est complètement court-circuitée dans le cas de la ventilation mécanique sur sonde d'intubation endotrachéale, chez les patients de réanimation, comme au bloc opératoire. Par ailleurs, même chez les patients non intubés ou non trachéotomisés, qui sont ventilés au moyen d'un ventilateur mécanique lors de la ventilation dite non invasive (VNI), la fonction des voies aériennes peut être court-circuitée si le patient ventile préférentiellement par la bouche, ce qui est fréquemment le cas en situation d'insuffisance respiratoire aiguë (IRA). La fonction physiologique des voies aériennes supérieures peut tout aussi bien être dépassée si la ventilation minute est élevée, car les gaz médicaux utilisés par les ventilateurs de réanimation sont froids et secs ( $<5 \text{ mgH}_2\text{O}/\text{ml}$ ). Il est donc nécessaire que les gaz inspirés par le patient soient humidifiés. Comme la teneur en eau des gaz (humidité absolue) dépend de leur température, les gaz inspirés par le patient ventilé mécaniquement doivent être aussi réchauffés. Il existe deux grands types de dispositifs d'humidification et de réchauffement : les humidificateurs chauffants (HC) (appelés familièrement « cocottes ») et les échangeurs de chaleur et d'humidité (ECH) (appelés communément « filtres » ou « nez artificiels »).

Les objectifs de cet article sont de rappeler les principes de fonctionnement des deux dispositifs de conditionnement (humidification et réchauffement) des gaz médicaux, décrire leurs avantages et inconvénients respectifs et enfin, apporter aux cliniciens les dernières données de la littérature pour les aider à guider leur choix entre les deux

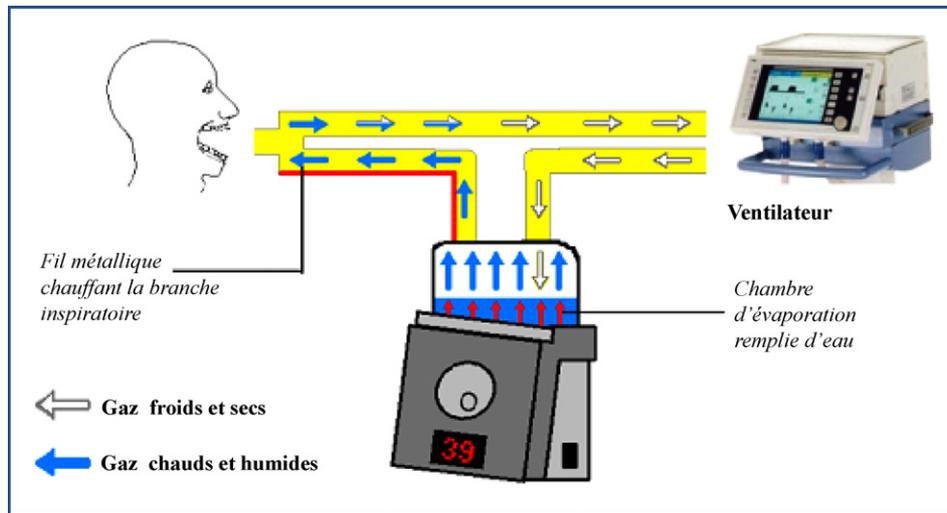


Figure 1. Principe de fonctionnement d'un humidificateur chauffant.

dispositifs en fonction des différentes situations rencontrées en réanimation.

### Quels sont les principes de fonctionnement des deux types d'humidificateurs ?

Les HC ont été les premiers humidificateurs utilisés pour la ventilation mécanique en réanimation. Ils sont nés avec la réanimation elle-même, au cours de la grande épidémie de poliomyélite des années 1950. Les principes de fonctionnement des HC sont schématisés sur la Fig. 1. Ce sont des systèmes d'humidification active. L'humidité délivrée au patient lors de l'inspiration provient de la vapeur d'eau contenue dans une chambre d'humidification, chauffée par une plaque chauffante le plus souvent et située en série sur la branche inspiratoire du circuit ventilatoire, entre le ventilateur et le patient. Les HC modernes ont également :

- une fonction de réchauffement du circuit de ventilation, ce qui évite la condensation d'eau le long du circuit et la déperdition d'humidité par les gaz inspirés ;
- un réglage automatique de la température de chauffe du système utilisant un algorithme basé sur la mesure de la température au niveau de la chambre d'humidification et de la pièce en Y du circuit. Le fonctionnement des HC est donc indépendant de l'humidité expirée par le patient.

À l'inverse, les ECH sont des systèmes d'humidification passive, utilisant l'humidité et la chaleur expirées par le patient. Les ECH sont placés entre la sonde d'intubation et la pièce en Y. Leur volume interne génère donc autant d'espace mort additionnel. Leur fonctionnement est basé sur la récupération, par différentes membranes, de l'humidité et de la chaleur latente contenues dans le gaz expiré par le patient qui lui sont restituées en partie lors de l'inspiration suivante (Fig. 2). Il s'agit donc de « pièges » à chaleur et humidité dont les membranes possèdent fréquemment, en plus, une fonction « filtre » limitant la contamination microbienne du ventilateur vers la sonde d'intubation. Cependant, si ces appareils sont utilisés en réanimation, c'est bien en premier

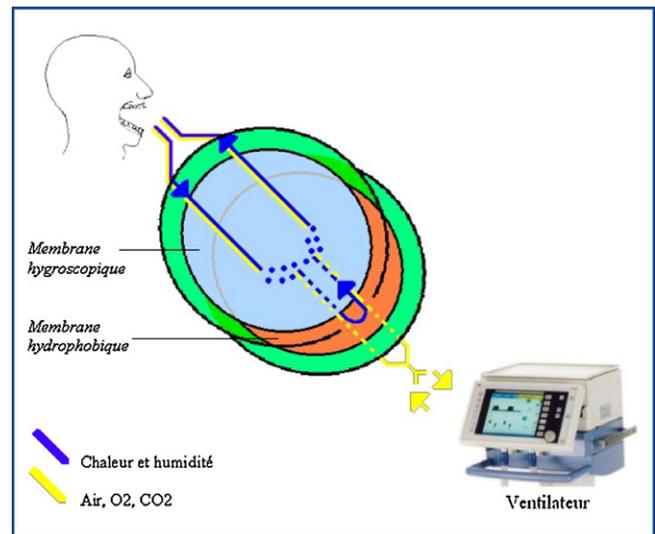


Figure 2. Principe de fonctionnement d'un échangeur de chaleur et d'humidité.

lieu pour leur propriété d'humidification, le terme « filtre antibactérien », utilisé parfois, prêtant à confusion. Enfin, il existe également des filtres humidificateurs dits « actifs » dont les propriétés d'humidification sont mixtes, dépendant en partie de l'humidité expirée par le patient comme les ECH, et en partie d'un apport d'eau externe, indépendant du patient.

### Avantages et inconvénients respectifs

Dans le cas des HC, l'utilisation ancienne de chambres d'humidification où les gaz inspirés passaient à travers et non au-dessus de l'eau chauffée, était responsable de la formation de gouttelettes, vecteurs potentiels de contamination microbienne aéroportée. La formation de ces gouttelettes venait également du fait de la condensation de la vapeur d'eau dans le circuit, avant qu'ils ne soient

**Tableau 1** Principaux avantages et inconvénients associés à l'utilisation des systèmes d'humidification des gaz inspirés en ventilation mécanique.

Caractéristiques	Humidificateur chauffant « cocotte »	Échangeur de chaleur et d'humidité « filtre »
Humidification-réchauffement	+++	+++  Variabilité inter-constructeur le plus souvent suffisant sauf situations particulières
Risque microbien (pneumopathie acquise sous ventilateur)	Non Évoqué seulement si HC ancien ou mal réglé = dépister l'apparition de gouttelettes	Non
Espace mort additionnel	Non	Oui Variable selon modèle
Facilité d'utilisation	+ à +++ Variable selon modèle (réglages ± automatiques) Dispositif électrique, risque de dysfonctionnement Alarme supplémentaire Risque d'oubli de mise en marche	+++ ++ +
Coût matériel fixe	Équivalent à une seringue autopulsée	Non
Coût consommables	+ à +++ Variable selon la durée de ventilation mécanique	++  Changement recommandé toutes les 24 à 72 heures selon constructeur

chauffés. Il était donc nécessaire d'installer des pièges à eau dans le circuit. Ce problème a beaucoup participé au succès des ECH dans les années 1980, dès lors que des membranes hygroscopiques plus performantes en termes d'humidification ont été associées à des membranes hydrophobiques aux propriétés filtrantes antimicrobiennes. Néanmoins, les performances d'humidification des ECH demeurent moindres que celles des HC, exposant au risque d'obstruction de la sonde d'intubation et d'atélectasies dans certaines situations cliniques. Par ailleurs, comme ces appareils sont situés entre la pièce en Y et la sonde d'intubation, ils constituent un espace mort additionnel dont le volume, qui peut atteindre 100 ml pour les ECH les plus anciens, doit être pris en compte si la ventilation alvéolaire est insuffisante (syndrome de détresse respiratoire aiguë [SDRA]) [1], et en cas de sevrage difficile, car il génère un surcroît de travail respiratoire pour le patient [2]. Si chaque dispositif comporte de nombreux avantages et inconvénients respectifs (Tableau 1), c'est la prise en compte des inconvénients principaux pour chacun des deux types de dispositifs, « risque microbien » pour les HC versus « moindre humidification » et « espace mort additionnel » pour les ECH, qui détermine la réflexion sur l'usage à recommander pour le patient ventilé de réanimation.

### Quel dispositif utiliser si le patient est intube ou tracheotomisé ?

Plusieurs études ont été réalisées depuis le début des années 1990 dont les résultats en termes de pronostic associé à l'utilisation de l'un ou de l'autre type d'humidificateur sont contradictoires, tantôt en faveur des ECH, tantôt en faveur des HC. Les recommandations des sociétés savantes sont elles même contradictoires, notamment en ce qui concerne le risque de pneumopathie acquise sous ventilation mécanique (PAVM), associé à l'un ou l'autre type d'humidificateur [3,4]. Des méta-analyses très récentes [5,6] ont « compilé » les résultats des différentes études contrôlées et randomisées dont les toutes dernières [7,8] et n'ont montré aucune différence statistiquement significative entre les deux types de dispositifs, que ce soit pour le risque de PAVM, le risque d'obstruction de la sonde d'intubation, la durée de ventilation mécanique, la durée de séjour et la mortalité en réanimation. Le risque de pneumopathie n'apparaît comme significativement associé à l'utilisation d'un HC que pour les études ayant un score méthodologique et diagnostique des pneumopathies moins élevé [6]. Ces études sont préférentiellement des études anciennes utilisant des HC moins élaborés

**Tableau 2** Situations particulières où l'utilisation d'un humidificateur chauffant doit être préférée à celle d'un échangeur de chaleur et d'humidité.

*Insuffisance de l'ECH*

- Ventilation minute élevée > 15–20 L/min
- Perte d'humidité par le patient
  - Ventilation non invasive si fuites importantes autour du masque
  - Fistule bronchique ou trachéale
- Sécrétions abondantes
- Hémoptysie
- Hypothermie thérapeutique<sup>a</sup>
- Chambre surchauffée > 28 °C<sup>b</sup>
- Ventilation mécanique prolongée > 7 jours<sup>c</sup>
- Réanimation pédiatrique (risque majeur d'une obstruction des voies aériennes)

*Espace mort ajouté par l'utilisation d'un ECH (nul pour un HC)*

- Syndrome de détresse respiratoire aigu (SDRA)
- Hypercapnie réfractaire
- Sevrage ventilatoire difficile
- Réanimation pédiatrique

ECH : échangeur de chaleur et d'humidité ; HC : humidificateur chauffant ; SDRA : syndrome de détresse respiratoire aigu.

<sup>a</sup> À l'opposé, l'utilisation d'un HC au cours de l'hypothermie thérapeutique peut engendrer une humidification excessive.

<sup>b</sup> À l'opposé, l'utilisation d'une climatisation dirigée sur la chambre d'humidification d'un HC peut engendrer des dysfonctionnements et une humidification excessive.

<sup>c</sup> Risque d'obstruction cumulatif dans la durée d'exposition [10].

et une méthode diagnostique des PAVM moins rigoureuse.

En conclusion, si l'on doit choisir entre les deux types de dispositifs d'humidification, la réponse irait davantage en faveur des ECH si l'on tient compte de leur facilité d'utilisation et de leur moindre coût (Tableau 1). Néanmoins, si les ECH ont bénéficié des progrès techniques et sont plus efficaces en termes d'humidification (capacité d'humidification suffisante si supérieure à 30 mg d'eau/L), il existe une grande variabilité selon les modèles et leurs caractéristiques divergent parfois entre le constructeur et des mesures réalisées de manière indépendante. Une évaluation indépendante récente de 48 modèles d'ECH est disponible [9] et devrait être consultée avant de se décider pour un achat. Par ailleurs, les inconvénients associés à l'utilisation d'un ECH apparaissent dans certaines situations particulières [10,11] qui doivent être bien connues (Tableau 2). Ces situations doivent faire privilégier, au moins au cas par cas, l'utilisation d'un HC dont toute unité de réanimation devrait disposer en cas de nécessité. Enfin, en pratique, l'utilisation concomitante au sein d'une même unité de réanimation d'un ECH par défaut pour tout patient, et d'un HC au cas par cas pose d'une part, le problème de la familiarité de l'équipe avec l'HC, et d'autre part, le risque de l'utilisation des deux dispositifs en même temps, ou au contraire d'aucun. Le choix de l'un ou de l'autre dispositif d'humidification doit tenir compte d'un ensemble de paramètres comme les caractéristiques techniques des dispositifs, notamment des ECH, le type de patients fréquemment pris en charge dans l'unité (SDRA, sevrages difficiles, BPCO...) et d'une manière plus large des contraintes de gestion d'une équipe pluridisciplinaire (expertise, turn-over, formation, service biomédical...).

## Quel dispositif utiliser si le patient est en VNI ?

L'humidification des gaz est nécessaire et recommandée aussi bien chez le patient intubé et ventilé qu'en VNI [12]. Néanmoins, elle a été moins étudiée que chez les patients intubés. Une enquête française avait rapporté l'absence d'humidification lors de la VNI dans 18% des réanimations interrogées [13]. La particularité de la VNI est qu'elle constitue une ventilation à fuite et par conséquent, une partie de l'humidité et de la chaleur contenue dans les gaz expirés par le patient peut être perdue, ce qui peut rendre l'utilisation d'un ECH moins efficace. Cela a été mesuré objectivement chez des volontaires sains et sur banc de test dans une étude récente [14]. Par ailleurs, du fait de l'espace mort additionnel généré par l'ECH, son utilisation génère un effort respiratoire supplémentaire par le patient. L'utilisation d'un ECH peut ainsi retentir sur les échanges gazeux, ce qui a été démontré physiologiquement chez des patients traités par VNI pour une IRA [15,16]. Néanmoins, les résultats préliminaires d'une étude multicentrique [17] ayant comparé l'utilisation d'un ECH ou d'un HC sur le devenir de patients souffrant d'IRA en réanimation traités par VNI n'a pas montré de différence significative en faveur de l'un ou de l'autre des dispositifs. Comme chez les patients intubés et ventilés, les différents dispositifs d'humidification doivent être utilisés en VNI en connaissant bien leur fonctionnement et leurs limites respectives (Tableaux 1 et 2). En particulier, en cas d'hypercapnie persistante sous VNI, le réglage d'une pression d'insufflation plus élevée, destinée à majorer le volume courant inspiré pour compenser l'espace mort additionnel généré par l'utilisation d'un ECH, peut majorer les fuites autour du masque. En cas de fuites

importantes sous VNI et/ou chez un patient exprimant une sécheresse muqueuse, l'utilisation d'un HC pourrait améliorer la tolérance et l'efficacité de la technique et devrait être envisagée.

## Faut-il se préoccuper de l'humidification des voies aériennes en dehors de la ventilation mécanique ?

L'attention portée à la préservation des voies aériennes durant la ventilation mécanique peut s'appliquer à l'oxygénothérapie à haut débit. S'il n'est pas recommandé [18] d'humidifier l'oxygène nasal délivré à faible débit (< 5 L/min) en raison de l'absence de bénéfice démontré et d'un risque infectieux nosocomial potentiel lié à une mauvaise utilisation des humidificateurs à bulle ou « barboteurs » (mauvaise décontamination, remplissage avec de l'eau non stérile, remplissage d'un récipient à moitié vide mais non rincé...), il est recommandé d'humidifier l'oxygène délivré à débit plus élevé, par canule nasale ou par masque facial, notamment chez les patients de réanimation qui ventilent souvent préférentiellement par la bouche avec une ventilation minute élevée [18]. Très peu d'étude ont été réalisées chez ce type de patient. Une étude récente [19] effectuée sur banc de test et chez des patients de réanimation traités au moins 48 heures par oxygénothérapie supérieure à 5 L/min par masque facial, montrait que l'humidification délivrée par le barboteur était loin d'être nulle (autour de 15 mg d'eau/L, pour une humidité à la sortie du débitmètre n'excédant pas 4 mg/L), mais que l'utilisation d'un HC délivrait un oxygène mieux humidifié (autour de 30 mg/L) et était associée à une moindre intensité de la sécheresse oropharyngée. La moitié des patients étudiés manifestaient peu ou pas de symptômes d'inconfort sous barboteur [19], mais l'utilisation d'une meilleure humidification par un HC pourrait se justifier chez l'autre moitié des patients. Les symptômes de sécheresse muqueuse (bouche et gorge sèche, difficultés à déglutir, douleur pharyngée) devraient être systématiquement recherchés en réanimation. En dehors de l'inconfort associé à l'utilisation d'une oxygénothérapie à haut débit, les répercussions sur la muqueuse des voies aériennes (risque d'atélectasie, de bronchite et de pneumopathie nosocomiales...) ne sont pas connues.

## Conclusion

Les HC sont les dispositifs d'humidification et de réchauffement les plus efficaces. Ils sont aussi les plus coûteux et les plus difficiles à utiliser, comparés aux ECH (ou « filtres »). Les deux types de dispositifs proposés actuellement sur le marché ont bénéficié de progrès techniques et aucune preuve scientifique ne permet aujourd'hui de recommander ou de contre-indiquer formellement l'utilisation de l'un ou l'autre des dispositifs. Notamment, à la différence du passé, il n'existe pas de risque accru de pneumopathie nosocomiale associée à l'utilisation d'un HC. L'utilisation d'un « filtre » est déterminée avant tout par sa fonction échangeur de chaleur et d'humidité. Certains « filtres » sont encore insuf-

fisants en termes d'humidification ou générant un espace mort trop important. Les caractéristiques des « filtres » disponibles sur le marché doivent être connues du praticien avant leur achat et évaluées de manière indépendante. L'utilisation routinière, car simple et non coûteuse, des « filtres » est à nuancer par la nécessité d'en changer régulièrement et de leur efficacité insuffisante dans un certain nombre de situations cliniques qui doivent être bien identifiées.

En cas de SDRA ou de sevrage difficile, l'utilisation d'un HC doit être privilégiée.

## Conflit d'intérêt

Les auteurs ont déclaré n'avoir aucun conflit d'intérêt.

## Références

- [1] Richard JC, Girault C, Leteurtre S, Leclerc F, le groupe d'experts de la SRLF. Prise en charge ventilatoire du syndrome de détresse respiratoire aiguë de l'adulte et de l'enfant (nouveau-né exclu) – recommandations d'experts de la Société de réanimation de langue française. *Reanimation* 2005;14:2–12.
- [2] Girault C, Breton L, Richard JC, Tamion F, Vandelet P, Aboab J, et al. Mechanical effects of airway humidification devices in difficult to wean patients. *Crit Care Med* 2003;31(5):1306–11.
- [3] Dodek P, Keenan S, Cook D, Heyland D, Jacka M, Hand L, et al. Evidence-based clinical practice guideline for the prevention of ventilator-associated pneumonia. *Ann Intern Med* 2004;141:305–13.
- [4] Guidelines for the management of adults with hospital-acquired, ventilator-associated, and healthcare-associated pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med* 2005;171:388–416.
- [5] Siempos I, Vardakas KZ, Kopterides P, Falagas ME. Impact of passive humidification on clinical outcomes of mechanically ventilated patients: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Care Med* 2007;35(12):2843–51.
- [6] Marret E, Chanques G, Jung B, Cissé M, Mahul M, El Kamel M, et al. Effet du système d'humidification (humidificateur chauffant versus filtre échangeur de chaleur et d'humidité) sur la pneumopathie acquise sous ventilation mécanique : méta-analyse. *An Fr Anesth Reanim* 2009;28(Hors-série 1):R510.
- [7] Lacherade JC, Auburtin M, Cerf C, Van de Louw A, Soufir L, Rebufat Y, et al. Impact of humidification systems on ventilator-associated pneumonia: a randomized multicenter trial. *Am J Respir Crit Care Med* 2005;172(10):1276–82.
- [8] Lorente L, Lecuona M, Jiménez A, Mora ML, Sierra A. Ventilator-associated pneumonia using a heated humidifier or a heat and moisture exchanger: a randomized controlled trial (ISRCTN88724583). *Crit Care* 2006;10(4):R116.
- [9] Lellouche F, Taillé S, Lefrançois F, Deye N, Maggiore SM, Jouvét P, et al. Humidification performance of 48 passive airway humidifiers: comparison with manufacturer data. *Chest* 2009;135(2):276–86.
- [10] Jaber S, Pigeot J, Fodil R, Maggiore S, Harf A, Isabey D, et al. Long-term effects of different humidification systems on endotracheal tube patency: evaluation by the acoustic reflection method. *Anesthesiology* 2004;100(4):782–8.
- [11] Schulze A. Respiratory gas conditioning in infants with an artificial airway. *Semin Neonatol* 2002;7(5):369–77.
- [12] Evans TW. International consensus conference in intensive care medicine: non invasive positive pressure ventilation in acute respiratory failure. *Intensive Care Med* 2001;27:166–78.

- [13] Chanques G, Jaber S, Delay J, Perrigault P, Lefrant J, Eledjam J. Enquête téléphonique sur la pratique postopératoire de la ventilation non invasive et ses modalités d'application. *Ann Fr Anesth Reanim* 2003;22(10):879–85.
- [14] Lellouche F, Maggiore SM, Lyazidi A, Deye N, Taillé S, Brochard L. Water content of delivered gases during non invasive ventilation in healthy subjects. *Intensive Care Med* 2009;35(6):987–95.
- [15] Lellouche F, Maggiore SM, Deye N, Taillé S, Pigeot J, Harf A, et al. Effect of the humidification device on the work of breathing during non invasive ventilation. *Intensive Care Med* 2002;28(11):1582–9.
- [16] Jaber S, Chanques G, Matecki S, Ramonatxo M, Souche B, Perrigault PF, et al. 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(11):1590–4.
- [17] Lellouche F, L'Her E, Abroug F, Deye N, Rabbat A, Jaber S, et al. Impact du système d'humidification sur le taux d'intubation au cours de la VNI : résultats d'une étude randomisée contrôlée multicentrique. *Reanimation* 2006;15(S1):SO 42.
- [18] Kallstrom TJ. American association for respiratory C. AARC clinical practice guideline: oxygen therapy for adults in the acute care facility – 2002 revision and update. *Respir Care* 2002;47(6):717–20.
- [19] Chanques G, Constantin JM, Sauter M, Jung B, Sebbane M, Verzilli D, et al. Discomfort associated with underhumidified high-flow oxygen therapy in critically ill patients. *Intensive Care Med* 2009;35(6):996–1003.