

MISE AU POINT

Utilisation des filtres échangeurs de chaleur et d'humidité au cours de la ventilation mécanique des patients de réanimation*

J.D. Ricard, P. Markowicz, D. Dreyfuss**

Service de réanimation médicale, hôpital Louis-Mourier, 178, rue des Renouillers, 92700 Colombes, France

(Reçu le 26 janvier 2000 ; accepté le 17 juillet 2000)

Résumé

Une humidification et un réchauffement adéquats des gaz inspirés sont indispensables au cours de la ventilation mécanique des patients de réanimation. Ce conditionnement peut être effectué soit par un humidificateur chauffant soit par un filtre échangeur de chaleur et d'humidité. L'utilisation d'une méthode plutôt que d'une autre repose sur des considérations à la fois techniques et économiques. Les échangeurs de chaleur et d'humidité sont actuellement de plus en plus utilisés en réanimation du fait de leur simplicité d'emploi. Leurs performances sont, pour nombre d'entre eux, comparables à celles des humidificateurs chauffants. La vaste majorité des patients de réanimation peut être ventilée avec un échangeur de chaleur et d'humidité. S'ils sont généralement utilisés pour une durée de 24 heures, il est possible de ne les changer que toutes les 48 heures, et même seulement toutes les semaines chez certains patients. L'utilisation préférentielle des échangeurs de chaleur et d'humidité (plutôt qu'un humidificateur chauffant) ne semble pas avoir d'influence sur l'incidence des pneumopathies nosocomiales. En revanche, elle diminue considérablement le coût de la ventilation mécanique et le nombre de manipulations septiques, et améliore ainsi la qualité des soins. © 2001 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

échangeur de chaleur et d'humidité / humidificateur chauffant / pneumopathie nosocomiale / ventilation mécanique

Summary – Implementation of heat and moisture exchangers for the mechanical ventilation of the critically ill.

Adequate heating and humidifying of inspired gases is required for long-term mechanical ventilation of intensive care unit (ICU) patients. This process can be achieved by either a heated humidifier or by more recent disposable devices called heat and moisture exchangers (HME). The choice to use one method instead of the other depends on both technical and economic considerations. HMEs are more often used nowadays because they are simple to use and cost-effective. Their performances are for several models comparable to those of a heated humidifier. The vast majority of ICU patients can be ventilated with an HME. They are usually changed after 24 h of use. It has recently been shown that some HMEs can be changed only every 48 h and that at least one HME can be changed only once a week in some

*Les auteurs signalent qu'ils n'ont aucun intérêt économique dans les firmes produisant des matériels cités dans ce travail. Ils ne travaillent pour aucune de ces firmes et n'en ont reçu aucun soutien financier pour les études sur les matériels qu'elles produisent.

**Correspondance et tirés à part.

Adresse e-mail : didier.dreyfuss@lmr.ap-hop-paris.fr (D. Dreyfuss).

patients. Using HMEs instead of heated humidifiers has no clear impact on the rate of nosocomial pneumonia but considerably reduces the cost of mechanical ventilation and the number of septic procedures, thus improving quality of care. © 2001 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

heat and moisture exchanger / heated humidifiers / mechanical ventilation / nosocomial pneumonia

Les voies aériennes supérieures sont capables, même dans des conditions extrêmes, d'humidifier et de réchauffer l'air inspiré de façon à délivrer un gaz à 37 °C et saturé en eau (100 % d'humidité relative). Physiologiquement, la « frontière » où le gaz inspiré n'entraîne pas de déperdition thermique et hydrique se situe entre les quatrième et cinquième divisions bronchiques. Cette frontière, appelée « zone de saturation isothermique », est relativement stable quelles que soient les conditions [1]. Au cours de la ventilation mécanique invasive, les zones de réchauffement et d'humidification des gaz inspirés sont court-circuitées par la sonde d'intubation ou la canule de trachéotomie. En l'absence de compensation, un gaz sec et froid sera délivré à l'épithélium respiratoire, ce qui peut entraîner des lésions épithéliales sévères [1]. Le court-circuit des voies aériennes se déplace vers le bas, la zone de saturation isothermique entraînant déperditions thermique et hydrique pouvant être responsable de lésions anatomiques de l'épithélium respiratoire [1]. On peut observer : une destruction ciliaire, une desquamation des cellules épithéliales, des ulcérations de la muqueuse bronchique avec œdème et ciliostase. D'un point de vue fonctionnel ces lésions vont entraîner une augmentation de la viscosité du mucus, une rétention des sécrétions, une augmentation des résistances aériennes, une diminution de la compliance pulmonaire et des atelectasies [1]. Deux systèmes sont utilisés pour humidifier et réchauffer les gaz inspirés au cours de la ventilation mécanique. Les humidificateurs chauffants (HC) sont employés depuis les débuts de la ventilation mécanique (pour une revue des différents types d'HC cf. Peterson [2]). Les filtres échangeurs de chaleur et d'humidité (ECH) sont utilisés depuis plusieurs années en anesthésie, et plus récemment, au cours de la ventilation mécanique de longue durée en réanimation [3]. Il existe trois principaux types d'ECH :

- les ECH purement hydrophobes possèdent d'excellentes propriétés antimicrobiennes mais délivrent des humidités relativement basses ;
- les ECH hygroscopiques délivrent un niveau d'humidité tout à fait satisfaisant mais ne sont pas des filtres antimicrobiens ;

– les ECH mixtes hygroscopiques et hydrophobes qui combinent les deux propriétés à la fois sont de bons filtres antimicrobiens et délivrent une humidité proche de celles fournies par les HC.

Les avantages et inconvénients des deux systèmes (HC et ECH) ont été déjà très largement comparés [4-12]. Les ECH sont de plus en plus employés en réanimation pour des raisons de simplicité d'utilisation et d'économie [4, 10, 13] même si les HC sont supérieurs aux ECH en termes d'humidité et de chaleur délivrées [7, 9, 14]. En effet, les meilleurs ECH délivrent aux alentours de 30 mgH₂O·L⁻¹ d'humidité absolue, alors que les HC délivrent une humidité absolue plus proche de 33 mgH₂O·L⁻¹. Pour autant, la différence clinique entre 30 et 33 mgH₂O·L⁻¹ n'est pas connue, les obstructions de sondes d'intubation n'ayant été observées qu'avec des ECH délivrant une humidité absolue inférieure à 25 mgH₂O·L⁻¹ [5, 6, 15-17].

Les ECH sont des dispositifs jetables, qu'il convient, selon les recommandations des fabricants, de changer toutes les 24 heures. Ces recommandations ne semblent pas reposer sur des données cliniques clairement établies et plusieurs études récentes montrent que le changement peut intervenir au-delà des 24 premières heures d'utilisation [12, 13, 18-20]. Pour autant, l'utilisation irréfléchie, pour des durées plus importantes, de tous les ECH actuellement disponibles sur le marché et pour tous les patients ne saurait être recommandée. Le but de cet article est de faire le point des données les plus récentes de la littérature sur l'utilisation des filtres ECH au cours de la ventilation mécanique en réanimation, et de répondre aux différentes questions que se pose le clinicien lors de leur emploi.

POUR QUELS PATIENTS ?

La vaste majorité des patients de réanimation peut être ventilée avec des filtres ECH. Cependant, par le mécanisme d'action des ECH, certaines situations pathologiques contre-indiquent leur utilisation. L'hypothermie profonde (< 32 °C) est une contre-indication évidente à l'utilisation des ECH, de même que l'existence d'une fistule bronchopleurale si le débit de la fuite est très

important. Par ailleurs, l'existence d'une intoxication dont la voie d'élimination serait respiratoire (ex. : inhalation d'hydrocarbure) pourrait être une contre-indication à l'utilisation des ECH (rétention éventuelle du toxique dans le filtre). Enfin, du fait de l'augmentation de l'espace mort qu'entraîne la présence des ECH sur le circuit respiratoire, certains patients présentant un syndrome restrictif très important pourraient être ventilés préférentiellement avec un HC. Pour la même raison, certains patients ventilés en hypercapnie permissive très importante pourraient également bénéficier des humidificateurs chauffants [11, 21, 22]. En dehors de ces quelques situations, la grande majorité des patients de réanimation nécessitant la ventilation mécanique peut bénéficier d'un ECH.

Certains auteurs nord-américains ont proposé un algorithme de décision permettant au clinicien de déterminer si un patient peut être ventilé ou non avec un ECH [8, 23]. Cet algorithme est en fait très restrictif et contre-indique l'emploi des ECH aux patients présentant : des antécédents de pathologie pulmonaire (ex. : une bronchopneumopathie chronique obstructive [BPCO]), des sécrétions bronchiques épaisses ou hémorragiques, et/ou une température corporelle inférieure à 32 °C. De ce fait, dans l'expérience des auteurs, seuls 19 % des patients de réanimation médicale sont susceptibles d'être ventilés avec un ECH contre 67 % des patients chirurgicaux [23]. Finalement, ces auteurs recommandent l'utilisation des ECH essentiellement pour la ventilation mécanique postopératoire de courte durée (moins de cinq jours) et pour les patients ne présentant pas d'antécédent de pathologies pulmonaires [24]. Cette vision restrictive de l'emploi des ECH contraste avec l'attitude européenne (essentiellement francophone). En effet, les résultats de plusieurs études montrent au contraire que les ECH peuvent être utilisés chez tous les patients de réanimation [4-6, 10, 11, 13] (sous réserve des contre-indications mentionnées plus haut) y compris les patients atteints de BPCO [6, 10, 13, 20]. Hurni et al. ont étudié 33 patients ventilés pendant plus de cinq jours avec un ECH (changé tous les jours) [11]. Bien que l'indication précise de la ventilation mécanique n'ait pas été clairement indiquée, près de 40 % de ces patients avaient été admis en raison d'une pathologie pulmonaire et aucun effet indésirable (en particulier obstruction de sonde) n'a été signalé. Concernant plus spécifiquement les patients atteints de BPCO, il a été montré que la qualité de l'humidification des gaz inspirés (appréciée par des paramètres cliniques tels que le nombre quotidien d'instillations et

d'aspirations trachéales nécessaires ainsi que le nombre de jours avec atélectasie radiologique) par un ECH changé toutes les 48 heures était identique chez ces patients à ce qu'elle était dans le reste de la population de l'étude (insuffisance respiratoire aiguë, ventilation mécanique postopératoire, causes neurologiques) [20]. Les mesures hygrométriques précises ont permis de montrer que l'humidité absolue mesurée durant les 48 premières heures d'utilisation de l'ECH chez les patients atteints de BPCO n'était pas différente de celle mesurée chez le reste de la population de l'étude (insuffisance respiratoire aiguë, ventilation mécanique postopératoire, causes neurologiques) ($29,9 \pm 1$ contre $30,6 \pm 1,5$ $\text{mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$) [19]. Par ailleurs, il a été montré que leurs propriétés mécaniques (et notamment leur résistance) en permettaient l'utilisation même chez les patients atteints de BPCO. En effet, Conti et al. n'ont pas observé d'augmentation de la pression expiratoire positive (PEEP) intrinsèque chez des patients atteints de BPCO ventilés avec un ECH [25]. Par ailleurs, le sevrage de la ventilation avec un ECH est également possible chez les patients BPCO sans problème particulier (voir plus loin). Il apparaît donc que la très grande majorité des patients de réanimation médicale et chirurgicale peut être ventilée avec un ECH.

POUR QUELLE DURÉE ET AVEC QUELS FILTRES ?

Pour quelle durée ?

Deux questions doivent être posées lorsque l'on aborde le problème de la durée d'utilisation des ECH en réanimation. Tout d'abord, pendant combien de jours peut-on ventiler sans danger un patient avec un ECH ? Et ensuite, quelle est la durée d'utilisation d'un ECH avant son remplacement par un neuf ?

À la première question, la réponse nord-américaine est là aussi très restrictive : la durée maximale pendant laquelle un patient peut être ventilé avec un ECH est de cinq jours [8, 23, 24, 26]. Cette attitude minimaliste est justifiée, selon ces auteurs, par la crainte d'une altération de l'épithélium respiratoire au cours du temps avec dessiccation et augmentation de la viscosité des sécrétions avec majoration du risque d'obstruction de sonde d'intubation [23]. En pratique, les patients pouvant être ventilés avec un ECH le sont donc pendant les cinq premiers jours de ventilation mécanique puis systématiquement placés sous HC. En Europe, et plus particulièrement en France, l'attitude pratique est très différente puisqu'il n'existe pas a priori de limite de

temps à l'utilisation des ECH. Certains patients ont été ventilés pendant plus de 40 jours consécutifs avec un ECH (changé toutes les 48 heures) sans problème particulier [13]. De plus, le bien-fondé de la crainte d'une altération de l'épithélium respiratoire avec le temps sous ECH a été récemment remis en question [11]. Dans cette étude, les auteurs ont comparé l'efficacité d'un ECH à celle d'un HC durant les cinq premiers jours de ventilation à l'aide (entre autres) d'un score cytologique appréciant la viabilité des cellules épithéliales recueillies après instillation de sérum physiologique. Ce score ne différait pas entre les deux groupes (ECH et HC) ni à la 24^e heure ni au cinquième jour [11]. En conclusion, il ne semble pas justifié a priori de limiter l'utilisation des ECH au cours de la ventilation mécanique de longue durée.

En ce qui concerne la durée d'utilisation d'un ECH avant son remplacement par un neuf, ces dernières années ont vu la publication de plusieurs études modifiant considérablement les pratiques jusqu'alors établies. Selon les recommandations des fabricants, la durée d'utilisation des ECH est limitée à 24 heures bien qu'aucune étude clinique objective ne supporte cette attitude. De la même façon que pour le rythme de changement des circuits des respirateurs avec un HC [27-29], plusieurs équipes ont étudié la fréquence de changement des filtres ECH. Une étude clinique a comparé une première période (pendant laquelle les ECH étaient changés toutes les 24 heures) à une seconde période (durant laquelle les filtres étaient remplacés toutes les 48 heures) [13]. L'efficacité clinique des ECH (jugée sur le nombre quotidien d'instillations et d'aspirations trachéales nécessaires et sur les pressions de pic moyennées sur 24 heures) ne différait pas entre les deux périodes. La colonisation bactérienne de la trachée, du pharynx, du raccord en Y du respirateur et les deux faces (côté patient et côté respirateur) du filtre lorsque celui-ci était changé toutes les 24 heures étaient similaires à celle lorsqu'il était changé toutes les 48 heures [13]. Cette étude avait utilisé l'ECH Hygrobac-Dar IITM (Mallinckrodt Medical S.p.A., Mirandola, Italie). Il est important de noter que cette étude n'avait pas comporté de mesure hygrométrique permettant d'apprécier les performances du filtre en termes d'humidité et de chaleur délivrées. Ces résultats ont été confirmés par une étude mesurant régulièrement les paramètres hygrométriques de trois ECH durant 48 heures d'utilisation [20]. Dans cette étude prospective et randomisée, 61 patients ont été ventilés soit avec l'Hygrobac-DarTM (Mallinckrodt Medical S.p.A., Mirandola, Italie), soit

l'Humid-VentTM (Gibeck, Suède) soit le Clear-ThermalTM (Intersurgical, Wokingham, Angleterre). Des mesures psychrométriques ont permis de surveiller les performances des ECH en termes d'humidités absolue et relative délivrées et de température trachéale aux troisième, 24^e et 48^e heures d'utilisation. Les paramètres hygrométriques des filtres Hygrobac-DarTM et Humid-VentTM étaient remarquablement stables durant les 48 heures (*tableau I*). En revanche, dans le groupe de patients ventilés avec le Clear-ThermalTM, cinq filtres ont dû être remplacés à la 24^e heure en raison d'une humidité absolue supérieure à 25 mgH₂O·L⁻¹ (seuil minimal fixé par le protocole de l'étude) et huit filtres délivraient moins de 25 mgH₂O·L⁻¹ au bout de la 48^e heure ce qui n'a jamais été le cas avec les deux autres types de filtres. Deux points de cette étude sont importants à retenir : premièrement, elle montre (avec des mesures hygrométriques) sur un grand nombre de patients, y compris des patients atteints de BPCO, qu'un changement des ECH seulement toutes les 48 heures permet un conditionnement des gaz inspirés adéquat pour la ventilation mécanique de longue durée ; et deuxièmement, que tous les ECH (même hygroscopiques et hydrophobes) ne sont pas à même de fournir un tel conditionnement [20]. Des résultats tout à fait comparables ont été obtenus par une autre équipe (utilisant l'Humid-VentTM) sur un nombre plus restreint de patients ($n = 10$) et de pathologies (près de 50 % de traumatisés crâniens) [18] (*tableau I*). Une équipe nord-américaine s'est intéressée à l'utilisation prolongée d'un ECH [12]. Dans ce travail prospectif comparant un ECH purement hygroscopique (DurationTM, Nellcor Puritan-Bennett) à un HC classique (MR370TM, Fisher & Paykel), les patients étaient soit ventilés d'emblée avec l'HC soit ventilés pendant les sept premiers jours avec l'ECH (sans que celui-ci ne soit changé sauf en cas de nécessité), puis dans tous les cas ventilés avec un HC à partir du huitième jour. Cent soixante-trois patients ont été ventilés avec l'ECH contre 147 avec l'HC. Aucune obstruction de sonde d'intubation n'a été rapportée. Il n'y avait pas de différence entre les deux groupes pour l'ensemble des critères de jugement étudiés. Les auteurs concluaient à la possibilité d'utiliser cet ECH durant la première semaine de ventilation mécanique. Malheureusement, plusieurs biais limitent les conclusions de cette étude. Premièrement, il n'y avait pas d'évaluation précise de la qualité de l'humidification des gaz inspirés, ni par des paramètres cliniques ni par des mesures hygrométriques. Deuxièmement, plusieurs patients

Tableau I. Humidités absolues (HA) obtenues après 24, 48 heures et/ou sept jours d'utilisation de différents échangeurs de chaleur et d'humidité (ECH).

	Nombre d'ECH étudiés	HA (24 h) mgH ₂ O·L ⁻¹	HA (48 h)	HA (j7)	Référence
Hygrobac-Dar ^{a,1}	55	30,6 ± 1,5	30,4 ± 2,0	non étudiée	20
Hygrobac-Dar ^{a,1}	10	30,5 ± 1,0	30,4 ± 1,3	non étudiée	14
Hygrobac-Dar ^{a,1}	40	30,3 ± 1,3	non étudiée	30,8 ± 1,5	19
Hygrobac-Dar ^{a,1}	9	29,3 ± 3,1	non étudiée	non étudiée	9
Humid-Vent ^{b,1}	49	28,7 ± 1,7	28,4 ± 1,4	non étudiée	20
Humid-Vent ^{b,1}	10	29,2 ± 2,3	28,7 ± 1,9	non étudiée	18
Clear-Thermal ^{c,1}	62	26,2 ± 1,1	25,9 ± 1,4	non étudiée	20
PALL BB2215 ^{d,2}	20	21,8 ± 1,5	non étudiée	non étudiée	14
PALL BB50 ^{d,2}	20	22,0 ± 1,6	non étudiée	non étudiée	14
PALL BB50 ^{d,2}	9	24,0 ± 1,8	non étudiée	non étudiée	9
PALL BB100 ^{d,1}	20	25,1 ± 1,6	non étudiée	non étudiée	14

¹ : Échangeur de chaleur et d'humidité (ECH) hydrophobe et hygroscopique ; ² : ECH purement hydrophobe ; ^a : Mallinckrodt Medical S.p.A., Mirandola, Italie ; ^b : Gibeck, Upplands Väsby, Suède ; ^c : Intersurgical, Wokingham, Angleterre ; ^d : PALL Biomédical, St-Germain-en-Laye, France.

ventilés avec un ECH ont été placés sous HC avant le septième jour en raison d'aspirations trachéales jugées trop abondantes. Du fait de l'absence de mesure, on ne sait pas si cette situation était ou non due à un défaut d'humidification du filtre, et si une obstruction de sonde aurait pu survenir ultérieurement en l'absence de remplacement du filtre. De plus, ces patients étaient exclus de l'analyse entraînant un biais [12]. Il paraît donc difficile de conclure à la sécurité et l'efficacité d'emploi de ce filtre pendant sept jours et les limitations de cette étude illustrent bien la nécessité d'apprécier rigoureusement l'efficacité des filtres (en particulier par la réalisation de mesures hygrométriques régulières) lors d'études comparant plusieurs durées d'utilisation. C'est la raison pour laquelle, compte tenu de la remarquable stabilité du filtre Hygrobac-DarTM en terme de performances hygrométriques au cours du temps [14, 20] son utilisation pour une durée d'une semaine a été étudiée en effectuant des mesures hygrométriques. Il a été ainsi montré qu'il était possible de ne changer ce filtre qu'une fois par semaine chez des patients ventilés au long cours en réanimation ne présentant pas de BPCO [19]. Dans cette étude effectuée chez 33 patients (permettant d'étudier 377 jours de ventilation mécanique), les performances du filtre Hygrobac-DarTM étaient remarquablement stables, jugées tant cliniquement qu'hygrométriquement. Il n'y avait en effet aucune différence entre les paramètres cliniques utilisés pour apprécier l'efficacité de l'humidification entre le premier jour et le septième jour. De même, l'humidité absolue mesurée durant les 48 premières heures était identique à celle mesurée à j7 (30,3 ± 1,3 contre 30,8 ± 1,5 mgH₂O·L⁻¹ ; $p = 0,7$) [19]. Trois patients

ont vu leur ECH changé avant le septième jour en raison d'une humidité absolue inférieure ou très voisine du seuil fixé (inférieure à 26 mgH₂O·L⁻¹). Cette situation rare ne s'est rencontrée que chez des patients présentant une BPCO. C'est la raison pour laquelle, par prudence, il était conclu à la nécessité de changer les ECH toutes les 48 heures chez ce type de patient. Dans le service de réanimation médicale de l'hôpital Louis-Mourier, les ECH sont changés toutes les semaines depuis deux ans chez les patients non atteints de BPCO (et toutes les 48 heures chez ceux-ci) sans qu'aucun effet indésirable n'ait été noté (en particulier obstruction de sonde d'intubation).

Avec quels filtres ?

Le risque le plus important inhérent à l'utilisation des ECH est la « sous-humidification » des gaz inspirés, pouvant conduire à l'obstruction de sonde d'intubation. Il est tout d'abord important de noter que ces obstructions de sonde ne sont pas le seul fait des ECH ; en effet celles-ci ont été également rapportées avec l'utilisation des HC [11]. Deuxièmement, si ces obstructions peuvent être parfois catastrophiques entraînant le décès du patient [5], il n'en demeure pas moins qu'elles représentent un événement rare. Dans notre expérience, nous n'avons relevé qu'une seule obstruction de sonde (au cours d'une hémoptysie massive et sans complication pour le patient) au cours de plus de 2 000 jours de ventilation mécanique étudiés chez 268 patients [13, 19, 20]. De fait, la majeure partie des obstructions de sonde rapportées dans la littérature a été observée avec des filtres ECH purement hydrophobes

[5, 6, 15-17], possédant des performances hygrométriques bien inférieures aux ECH mixtes (hygroscopiques et hydrophobes) [7, 9, 14, 30]. Ces obstructions de sonde sont la conséquence d'une humidité délivrée insuffisante avec ce type d'ECH [5, 6, 15, 16]. Elles se produisent après une diminution progressive du diamètre interne de la sonde par des sécrétions séchées le long des parois, cette réduction de diamètre étant plus importante avec les ECH purement hydrophobes [17]. S'il est clair que ces ECH ne sont pas adaptés à la ventilation mécanique de longue durée, il n'existe pas pour autant de consensus concernant l'humidité et la température minimales qu'un ECH doit délivrer. L'International Standards Organization préconise un minimum de $30 \text{ mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$ d'humidité absolue. Cependant, il est intéressant de relever dans la littérature les humidités absolues mesurées chez des patients de réanimation ventilés avec des ECH et de noter que très peu d'ECH délivrent l'humidité absolue requise : $20,6 \text{ mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$ pour le PALL BB2215™ [7] ; $22,9 \text{ mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$ pour l'Intersurgical Filtatherm™ [30] ; $25,8 \text{ mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$ pour le Clear-Thermal™ [20] ; $24 \text{ mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$ pour le PALL BB50™ [9] ; $25,1 \text{ mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$ pour le PALL BB100™ [14] ; dans ces conditions, seuls l'Hygrobac-Dar™ avec $30,5 \text{ mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$ [14] et l'Humid-Vent™ avec $29,3 \text{ mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$ [18] seraient aux normes. S'il semble évident de ne pas préconiser l'emploi d'ECH délivrant moins de $24\text{--}25 \text{ mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$ pour la ventilation de longue durée en réanimation en raison d'un risque trop important d'obstruction de sonde d'intubation, il est plus difficile de statuer sur ceux qui délivrent entre 25 et $28 \text{ mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$. Il paraît néanmoins raisonnable de penser que le clinicien préférera un ECH délivrant une humidité absolue plus proche de $30 \text{ mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$ que de $25 \text{ mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$. Pour aider le clinicien à faire son choix d'ECH, il a été proposé récemment un moyen simple d'apprécier l'efficacité des ECH au lit du malade [14, 31] (voir plus loin).

ÉCHANGEURS DE CHALEUR ET D'HUMIDITÉ ET SEVRAGE

Peu d'études ont évalué le retentissement éventuel de l'utilisation des ECH sur le sevrage de la ventilation mécanique. Il existe en effet quelques effets indésirables théoriques inhérents à l'emploi des ECH qui pourraient influencer le sevrage. Premièrement, la présence d'un ECH sur le circuit inspiratoire génère une augmentation modérée des résistances aériennes. Cette augmentation (de l'ordre de $2,5 \text{ cmH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ [19, 32,

33]) pourrait théoriquement augmenter le travail respiratoire des patients ventilant au travers de ces filtres ; cependant il n'existe pas à notre connaissance de travail évaluant le retentissement clinique de cette résistance. De plus, il est important de noter que la résistance générée par la présence de l'ECH dans le circuit inspiratoire n'est pas supérieure à celle offerte par un HC type « cascade » [34]. Deuxièmement, les ECH possèdent un espace mort propre variant de 10 mL à 90 mL [21] qui va majorer l'espace mort anatomique du système circuit-patient. Cette majoration va entraîner une augmentation modérée de la ventilation minute des patients ventilés en aide inspiratoire [32, 35, 36] et une augmentation du travail respiratoire [32]. Le retentissement sur la ventilation alvéolaire est inconstant et modéré [32, 36]. Les conséquences cliniques de cette augmentation de l'espace mort sur le sevrage, en termes de durée, n'ont pas été étudiées. De plus, l'emploi d'un ECH ne pourrait interférer négativement avec le sevrage que si l'on diminuait de façon trop importante le niveau d'aide inspiratoire. Aussi, l'utilisation adéquate de l'aide inspiratoire (en l'augmentant) [32, 35] et/ou d'épreuves de « pièce en T » (qui élimine complètement le problème de résistance et d'espace mort imposé par le filtre puisque celui-ci est retiré lors de l'épreuve) permet-elle le maintien de l'ECH pendant le sevrage.

ÉCHANGEURS DE CHALEUR ET D'HUMIDITÉ ET PNEUMOPATHIES NOSOCOMIALES

L'effet éventuel de l'utilisation des ECH sur l'incidence des pneumopathies soulève deux questions. Premièrement, l'utilisation de ces filtres influence-t-elle la fréquence de survenue des pneumopathies nosocomiales (par rapport à l'utilisation des HC) ? Deuxièmement, l'utilisation prolongée des ECH (à 48 heures voire à sept jours) ne risque-t-elle pas d'augmenter la fréquence des pneumopathies ? La première question fait l'objet actuellement d'une controverse [37]. En effet, une première étude prospective randomisée comparant la fréquence de survenue de pneumopathie nosocomiale chez des patients ventilés avec le filtre Hygrobac-Dar™ (Mallinckrodt Medical S.p.A., Mirandola, Italie) à celle de patients ventilés avec un HC classique MR 450™ (Fisher & Paykel, Auckland, Nouvelle-Zélande) ne retrouvait aucune différence entre les deux groupes (10% contre 11% , $p = 0,8$) [10]. Les ECH étaient changés toutes les 24 heures et les circuits du respirateur uniquement entre chaque patient. Le diagnostic de pneumopathie nosocomiale était établi à partir des

données bactériologiques obtenues par des prélèvements pulmonaires protégés [10]. Ces résultats diffèrent de ceux obtenus par une étude nord-américaine [38] comparant la fréquence de survenue de pneumopathie nosocomiale de patients ventilés avec un ECH (Pall BB100™, Pall Corporation, East Hills, NY) changé toutes les 24 heures à celle de patients ventilés avec un HC (Marquest Medical Products Inc., Englewood, Colo). Le taux de pneumopathies diagnostiquées avant le troisième jour de ventilation mécanique était identique dans les deux groupes, en revanche, celui de pneumopathies diagnostiquées après j3 était de 6 % dans le groupe ECH contre 16 % dans le groupe HC ($p < 0,05$) [38]. Plusieurs remarques peuvent peut-être expliquer en partie la divergence de résultats. Premièrement, les critères diagnostiques de pneumopathie nosocomiale différaient entre les deux études, l'une utilisant quasi exclusivement les résultats des cultures quantitatives de prélèvements bronchiques distaux protégés perendoscopiques [10], l'autre des critères cliniques associés à cultures des aspirations trachéales [38]. Deuxièmement, le filtre utilisé par Kirton et al. (BB100™ de PALL) possédant de moins bonnes performances hygrométriques que le filtre Hygrobac-Dar™ [14], les sécrétions bronchiques ont pu être plus sèches et par conséquent moins abondantes et donc moins facilement aspirées pour le diagnostic de pneumopathie nosocomiale, sous-estimant le nombre de pneumopathies dans le groupe ventilés avec le filtre. Enfin, ces résultats ont été obtenus sur une population très ciblée de patients (uniquement des patients post-traumatiques) et ne sont donc pas forcément transposables à tous les patients de réanimation.

L'impact éventuel de la durée d'utilisation des ECH sur l'incidence des pneumopathies nosocomiales a été étudié par plusieurs équipes [13, 39]. Il a été montré que le niveau de colonisation des ECH, des voies aériennes supérieures et de la trachée n'était pas modifié par la durée d'utilisation des ECH (24 contre 48 heures) [13]. Parallèlement, l'incidence des pneumopathies nosocomiales n'était pas plus importante chez les patients ventilés avec un ECH changé toutes les 48 heures [13]. Une étude récente [39] a comparé l'incidence des pneumopathies nosocomiales chez 220 patients ventilés, randomisés en trois groupes : filtre hygroscopique changé toutes les 24 heures, filtre hygroscopique changé tous les cinq jours et filtre hydrophobe changé tous les cinq jours. Là encore, l'incidence des pneumopathies nosocomiales était similaire dans les trois groupes [39].

Au total, il est probable que l'emploi des ECH n'influence pas du tout l'incidence des pneumopathies nosocomiales, dans un sens comme dans l'autre [40], et ce parce que les ECH ne modifient pas la colonisation bactérienne du patient [10]. Leur emploi permet en tous cas de diminuer considérablement le nombre de manœuvres septiques (voir plus loin).

SURVEILLANCE DE L'EFFICACITE DES ÉCHANGEURS DE CHALEUR ET D'HUMIDITÉ

Un éditorial récent [26] soulignait la nécessité de disposer d'un moyen simple pour pouvoir apprécier l'efficacité d'un ECH au lit du malade. En effet, parmi la grande diversité des ECH actuellement disponibles, certains ne sont pas adaptés à la ventilation mécanique de longue durée [20]. La méthode la plus utilisée actuellement pour mesurer les performances hygrométriques des ECH est la méthode psychrométrique basée sur la comparaison de température de deux sondes thermiques placées dans le circuit inspiratoire entre l'ECH et la sonde d'intubation [7, 9, 14, 20, 30, 41]. Cette méthode, bien qu'ayant l'avantage de pouvoir évaluer les ECH en temps réel au lit du patient, n'est pas utilisable en routine compte tenu du matériel nécessaire et du temps requis pour effectuer les mesures. Une méthode simple d'évaluation de l'efficacité des ECH en termes d'humidité délivrée est donc souhaitable. Une étude a montré qu'il existait une bonne corrélation entre l'importance de la condensation se trouvant dans le raccord annelé reliant l'ECH à la sonde d'intubation et l'humidité absolue délivrée par l'ECH telle qu'elle était mentionnée par le fabricant [31]. Une autre étude a montré que cette condensation du raccord annelé – observée chez un patient donné – était bien corrélée à l'humidité absolue mesurée en temps réel chez ce même patient, permettant ainsi de « monitorer » l'humidité délivrée par l'ECH [14]. Ainsi, l'absence de toute condensation ou la présence de quelques rares gouttelettes, observée de façon prolongée dans le temps, correspond à une humidité absolue insuffisante (rendant alors préférable le changement du filtre), alors que la présence permanente d'une condensation abondante indique un niveau d'humidité absolue correct [14].

SIMPLIFICATION DES SOINS ET RÉDUCTION DES COÛTS

Toutes les études comparant l'utilisation des ECH et celle des humidificateurs chauffants observent simplifi-

cation des soins et réduction de la charge de travail du personnel infirmier avec l'emploi des ECH [4, 6, 8, 10-12]. En effet, l'utilisation des ECH ne réclame leur changement qu'au maximum toutes les 24 heures et l'utilisation prolongée des ECH (toutes les 48 heures, voire tous les sept jours) diminuera encore plus la charge en soins infirmiers, alors que l'emploi des humidificateurs chauffants nécessite la vidange régulière des pièges à eau, l'adjonction régulière d'eau stérile au système et le remplacement éventuel des circuits en cas de souillures importantes. De plus, les travaux de Craven et son équipe ont bien mis en évidence la contamination bactérienne à haut niveau des condensats [42]. Chaque fois qu'un piège à eau est vidé (en pratique cinq à dix fois par 24 heures), il s'agit d'une manipulation septique. De fait, l'utilisation des ECH diminue considérablement le nombre de manipulations septiques, facteurs de risque de transmission croisée des germes [42, 43].

Parallèlement, l'utilisation des ECH réduit considérablement le coût journalier de la ventilation mécanique [4, 6, 8, 10-13, 19, 20]. Cette économie substantielle est d'autant plus grande que la durée d'utilisation du filtre est prolongée [12, 13, 19, 20]. Cependant, ces économies peuvent être rapidement annulées si deux ou trois filtres sont changés chez un patient durant la même journée en raison de sécrétions très abondantes qui refluent vers le filtre et le souillent rendant son remplacement indispensable. Dans une étude récente ne mentionnant pas de précaution particulière à l'utilisation des ECH [12], plus de 15 % des ECH ont été remplacés prématurément en raison de souillure. Dans une autre étude, ce chiffre n'était que de 10 % pour une durée moyenne de ventilation mécanique plus longue [19]. Dans cette étude, le filtre était positionné verticalement au-dessus de la sonde d'intubation par l'intermédiaire d'un raccord annelé flexible, de façon à limiter au maximum le reflux de sécrétions provenant du patient pouvant atteindre le filtre [19]. Pour autant, cette précaution ne dispense pas de l'aspiration régulière et méthodique des sécrétions trachéales.

CONCLUSIONS

Plus d'une dizaine d'études concernant l'utilisation d'ECH en réanimation ont été publiées ces cinq dernières années. Il convient de retenir, qu'outre les économies considérables qu'engendre l'utilisation des ECH, ceux-ci peuvent être utilisés chez pratiquement

tous les patients de réanimation (sous réserves des contre-indications) y compris chez les patients atteints de BPCO ventilés pendant plusieurs semaines et qu'ils peuvent être changés toutes les 48 heures voire tous les sept jours (BPCO exclues) après s'être assuré de la stabilité de leur performance au cours du temps.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les Docteurs Laurence Mier, Kamel Djedaini et Éric Le Mièrre qui ont initié les travaux de recherche clinique sur les échangeurs de chaleur et d'humidité conduits dans le service. Ils expriment également leur gratitude à l'ensemble du personnel infirmier du service de réanimation médicale de l'hôpital Louis-Mourier de Colombes pour son aide efficace sans laquelle les différentes études présentées ici n'auraient pu être menées à bien.

RÉFÉRENCES

- 1 Branson RD. The effects of inadequate humidity. *Respir Care Clin N Am* 1998 ; 4 : 199-214.
- 2 Peterson BD. Heated humidifiers : structure and function. *Respir Care Clin N Am* 1998 ; 4 : 243-59.
- 3 Wilkes AR. Heat and moisture exchangers : structure and function. *Respir Care Clin N Am* 1998 ; 4 : 261-79.
- 4 Tenaillon A, Cholley G, Boiteau R, Perrin-Gachadoat D, Burdin M. Filtre échangeurs de chaleur et d'humidité versus humidificateurs chauffant en ventilation mécanique. *Réan Soins Intens Méd Urg* 1989 ; 5 : 5-10.
- 5 Martin C, Perrin G, Gevaudan MJ, Saux P, Gouin F. Heat and moisture exchangers and vaporizing humidifiers in the intensive unit. *Chest* 1990 ; 97 : 144-9.
- 6 Misset B, Escudier B, Rivara D, Leclercq B, Nitenberg G. Heat and moisture exchangers vs heated humidifier during mechanical ventilation. *Chest* 1991 ; 100 : 160-3.
- 7 Martin C, Papazian L, Perrin G, Bantz P, Gouin F. Performance evaluation of three vaporizing humidifiers and two heat and moisture exchangers in patients with minute ventilation > 10 L/min. *Chest* 1992 ; 102 : 1347-50.
- 8 Branson RD, Davis K Jr, Campbell RS, Johnson DJ, Porembka DT. Humidification in the Intensive Care Unit : prospective study of a new protocol utilizing heated humidification and a hygroscopic condenser humidifier. *Chest* 1993 ; 104 : 1800-5.
- 9 Martin C, Thomachot L, Quinio B, Viviani X, Albanese J. Comparing two heat and moisture exchangers with one vaporizing humidifier in patients with minute ventilation greater than 10L/min. *Chest* 1995 ; 107 : 1411-5.
- 10 Dreyfuss D, Djedaini K, Gros I, Mier L, Le Bourdellès G, Cohen Y, et al. Mechanical ventilation with heated humidifiers or heat and moisture exchangers : effects on patient colonization and incidence of nosocomial pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med* 1995 ; 151 : 986-92.
- 11 Hurni JM, Feihl F, Lazor R, Leuenberger P, Perret C. Safety of combined heat and moisture exchangers in long-term mechanical ventilation. *Chest* 1997 ; 111 : 686-91.
- 12 Kollef M, Shapiro S, Boyd V, Silver P, Von Hartz B, Trovillion E, et al. A randomized clinical trial comparing an

- extended-use hygroscopic condenser humidifier with heated-water humidification in mechanically ventilated patients. *Chest* 1998 ; 113 : 759-67.
- 13 Djedaïni K, Billiard M, Mier L, Le Bourdelles G, Brun P, Markowicz P, et al. Changing heat and moisture exchangers every 48 hours rather than 24 hours does not affect their efficacy and the incidence of nosocomial pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med* 1995 ; 152 : 1562-9.
 - 14 Ricard JD, Markowicz P, Djedaïni K, Mier L, Coste F, Dreyfuss D. Bedside evaluation of efficient airway humidification during mechanical ventilation of the critically ill. *Chest* 1999 ; 115 : 1646-52.
 - 15 Cohen IL, Weinberg PF, Fein IA, Rowinski GS. Endotracheal tube occlusions associated with the use of heat and moisture exchangers in the intensive care unit. *Crit Care Med* 1988 ; 16 : 277-9.
 - 16 Roustan JP, Kielen J, Aubas P, du Cailar J. Comparison of hydrophobic heat and moisture exchangers with heated humidifiers during prolonged mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 1992 ; 18 : 97-100.
 - 17 Villafane MC, Cinella G, Lofaso F, Isabey D, Harf A, Lemaire F, et al. Gradual reduction of endotracheal tube diameter during mechanical ventilation via different humidification devices. *Anesthesiology* 1996 ; 85 : 1341-9.
 - 18 Thomachot L, Vialat R, Viguier JM, Sidier B, Roulier P, Martin C. Efficacy of heat and moisture exchangers after changing every 48 hours rather than 24 hours. *Crit Care Med* 1998 ; 26 : 477-81.
 - 19 Ricard JD, Le Mièrre E, Markowicz P, Lasry S, Saumon G, Djedaïni K, et al. 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 : 85-90.
 - 20 Markowicz P, Ricard JD, Dreyfuss D, Mier L, Brun P, Coste F, et al. Safety, efficacy and costeffectiveness of mechanical ventilation with humidifying filters changed every 48 hours : a prospective, randomized study. *Crit Care Med* 2000 ; 28 : 665-71.
 - 21 Branson RD, Davis K Jr. Evaluation of 21 passive humidifiers according to the ISO 9360 standard : moisture output, dead space, and flow resistance. *Respir Care* 1996 ; 41 : 736-43.
 - 22 Richecoeur J, Lu Q, Vieira SRR, Pyubasset L, Kalfon P, Coriat P, et al. Expiratory washout versus optimization of mechanical ventilation during permissive hypercapnia in patients with severe acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 1999 ; 160 : 77-85.
 - 23 Branson RD, Davis K Jr, Brown R, Rashkin M. Comparison of three humidification techniques during mechanical ventilation : patient selection, cost, and infection considerations. *Respir Care* 1996 ; 41 : 809-16.
 - 24 Branson RD, Campbell RS. Humidification in the Intensive Care Unit. *Respir Care Clin N Am* 1998 ; 4 : 305-20.
 - 25 Conti G, De Blasi RA, Rocco M, Pelaia P, Antonelli M, Buffi M, et al. Effects of the heat and moisture exchangers on dynamic hyperinflation of mechanically ventilated COPD patients. *Intensive Care Med* 1990 ; 16 : 441-3.
 - 26 Branson RD. Is a nose just a nose ? [editorial]. *Chest* 1997 ; 112 : 581.
 - 27 Dreyfuss D, Djedaïni K, Weber P, Brun P, Lanore J, Rahmani J, et al. Prospective study of nosocomial pneumonia and of patient and circuit colonization during mechanical ventilation with circuit changes every 48 hours versus no change. *Am Rev Respir Dis* 1991 ; 143 : 738-43.
 - 28 Hess D, Burns E, Romagnoli D, Kacmarek R. Weekly ventilator circuit changes. A strategy to reduce costs without affecting pneumonia rates. *Anesthesiol* 1995 ; 82 : 903-11.
 - 29 Kollef MH, Shapiro SD, Fraser VJ, Silver P, Murphy DM, Trovillion E, et al. Mechanical ventilation with or without 7-day circuit changes. A randomized controlled trial. *Ann Intern Med* 1995 ; 123 : 168-74.
 - 30 Jackson C, Webb A. An evaluation of the heat and moisture performance of four ventilator circuit filters. *Intensive Care Med* 1992 ; 18 : 264-8.
 - 31 Beydon L, Tong D, Jackson N, Delprat A, Dreyfuss D. Correlation between some simple clinical parameters and the in vitro humidification characteristics of filter heat and moisture exchangers. *Chest* 1997 ; 112 : 739-44.
 - 32 Pelosi P, Solca M, Ravagnan I, Tubiolo D, Ferrario L, Gattinoni L. Effects of heat and moisture exchangers on minute ventilation, ventilatory drive, and work of breathing during pressure-support ventilation in acute respiratory failure. *Crit Care Med* 1996 ; 24 : 1184-8.
 - 33 Ploysongsang Y, Branson R, Rashkin MC, Hurst JM. Pressure flow characteristics of commonly used heat and moisture exchangers. *Am Rev Respir Dis* 1988 ; 138 : 675-8.
 - 34 Oh TE, Lin ES, Bhatt S. Resistance of humidifiers, and inspiratory work imposed by a ventilator-humidifier circuit. *Br J Anaesth* 1991 ; 66 : 258-63.
 - 35 Iotti GA, Olivei MC, Palo A, Galbusera C, Veronesi R, Comelli A, et al. Unfavorable mechanical effects of heat and moisture exchangers in ventilated patients. *Intensive Care Med* 1997 ; 23 : 399-405.
 - 36 Le Bourdellès G, Mier L, Fiquet B, Djedaïni K, Saumon G, Coste F, et al. 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.
 - 37 Cook D, DeJonghe B, Brochard L, Brun-Buisson C. Influence of airway management on ventilator-associated pneumonia. *JAMA* 1998 ; 279 : 781-7.
 - 38 Kirton OC, DeHaven B, Morgan J, Morejon O, Civetta J. A prospective, randomized comparison of an in-line heat and moisture exchange filter and heated wire humidifiers : rates of ventilator-associated early-onset (community-acquired) or late-onset (hospital-acquired) pneumonia and incidence of endotracheal tube occlusion. *Chest* 1997 ; 112 : 1055-9.
 - 39 Branson RD, Campbell RS, Davis KJ, Johannigman JA, Luchette FA, Porembka DT. Prolonged use of heat and moisture exchangers does not affect device efficiency or frequency rate of nosocomial pneumonia. *Crit Care Med* 2000 ; 28 : 1412-8.
 - 40 Richards G. The role of filtration during humidification. *Respir Care Clin N Am* 1998 ; 4 : 329-39.
 - 41 Sottiaux T, Mignolet G, Damas P, Lamy M. Comparative evaluation of three heat and moisture exchangers during short-term postoperative mechanical ventilation. *Chest* 1993 ; 104 : 220-4.
 - 42 Craven DE, Goularte TA, Make BJ. Contaminated condensate in mechanical ventilator circuits : a risk for nosocomial pneumonia. *Am Rev Respir Dis* 1984 ; 129 : 625-8.
 - 43 Craven D, Connolly M, Lichtenberg D, Primeau P, McCabe W. Contamination of mechanical ventilators with tubing changes every 24 or 48 hours. *N Engl J Med* 1982 ; 306 : 1505-9.