

□ 特集：HMEF □

人工鼻・Heat and Moisture Exchanger Filter (HMEF) の適切な交換頻度について

高 橋 伸 二*

ABSTRACT

Optimal Changing Heat and Moisture Exchange Filter (HMEF) in the ICU

Shinji TAKAHASHI

*Department of Anesthesiology, Graduate School of Comprehensive Human Sciences,
University of Tsukuba, Tsukuba, 305-8575*

Humidification of inspiratory gasses is essential during mechanical ventilation with tracheal intubation or tracheostomy. Conventional heated humidifier systems (HHS) have disadvantages that include their high maintenance costs and increased work loads for patient care providers. HMEF is now widely used in ICU to maintain airway humidification and prevent breathing apparatus contamination as an alternative to HHS. However, frequent exchanges of HMEF reduce the cost advantage. Therefore, we should have the information about appropriate exchange frequency of HMEF. Generally hygroscopic HMEF elevates airway resistance as periods of use become long. And the prolonged use of HMEF increases the risk of bacterial infection. Therefore, the manufactures recommend that the disposable HMEFs be changed every 24-48 hours, although this is not supported by evidenced data. Recent studies suggested that longer period of use is possible from the view points of bacterial, airway resistance and hygrometric measurement. We also conclude that mechanical ventilation can be safely conducted in non-productive patients (non-COPD patients) using an HMEF changed only once a week under careful observations.

1. はじめに

人工鼻 (HMEF) は、人工呼吸管理中の吸入ガスの加温加湿目的に広く使用されている。HMEF の有効性に関しては、数多くの研究がある。今回、HMEF の交換時期に関して、その問題点を踏まえつつ最近の研究を紹介する。

2. 人工鼻 (HMEF) の役割

人工呼吸療法中の患者は、加温加湿する機能を

もつ鼻・口腔・咽頭をバイパスしてガスが送り込まれるので、下気道を保護するために、吸気ガスを加温、加湿する必要がある¹⁾。加温加湿槽と電熱線を持つ加温加湿器は加温加湿効果が高く、現在でも臨床の場で広く用いられている。しかし、人工呼吸器回路内に結露した水分が感染源になること、電気的な危険性があること、維持費が高いこと、看護スタッフにかかる負担が大きいことなどが問題視されている²⁾。一方、積極的な加温加湿ではないが、HMEF は、臨床使用上十分な加温加湿機能を持つとされている³⁾。また、HMEF の役割は、吸入ガスの加温、気道の保湿、熱の喪失

*筑波大学大学院人間総合科学研究科麻酔科学

を防止することばかりではない。感染症学的見地からは、気道への異物の侵入を防止し、外部への感染源の伝播を防ぐという役割がある⁴⁾。そして、従来の電熱線や加湿槽をもつ加温加湿器と比較して、より低コストで、かつ看護スタッフの業務への負担が少ないという利点も挙げられている⁵⁾⁶⁾。

3. 正しい人工鼻（HMEF）の使用法

American Association for Respiratory Care (AARC) では加温加湿器使用時の吸入ガスの基準を、温度は $33 \pm 2^\circ\text{C}$ 、最低絶対湿度 30mg/l としている⁷⁾。吸入ガスの加湿が HMEF のみで十分かどうかにはまだ議論の余地がある⁸⁾。しかし、多くの HMEF で、気管チューブ内に結露するように相対湿度、絶対湿度を高めることができる。使用にあたっては、気道内に結露した水滴が HMEF に垂れ込んで貯まらないように高い位置に設置する（図 1）。また、加温加湿を補助するブラスター装置を付加しない場合は呼吸回路の末端に置き、HMEF の装着による死腔の増加に注意することが必要である。さらに、フィッシャーパイクル型の加温加湿器などの積極的加温加湿器具と使用すると過度に水分を吸収して HMEF の閉塞をきたす危険性があるので同時に使用してはいけない。気管支拡張薬などをネブライザーする場合は、目詰まりの可能性があるので注意深く患者の状態を観察する。ネブライザーを使用する場合、HMEF を 24 時間以上使用してはならない。

また、HMEF は万能ではなく、HMEF の抵抗、死腔が無視できない場合、気道分泌物が HMEF にまで到達する場合、肺・気道から大量のガスリークがある場合、HMEF での加湿が不十分である場合では加温加湿器を用いるべきである⁹⁾。

4. 人工鼻（HMEF）の交換時期 （欠点と問題点）

気道に HMEF を付けた場合の問題点は、人工呼吸器の死腔の増加、気道抵抗の増加がある。

HMEF は、基本的に使用時間が長くなると気道抵抗が増加する。HMEF が水分を吸収したり、喀痰などが付着したりすることがその原因であ

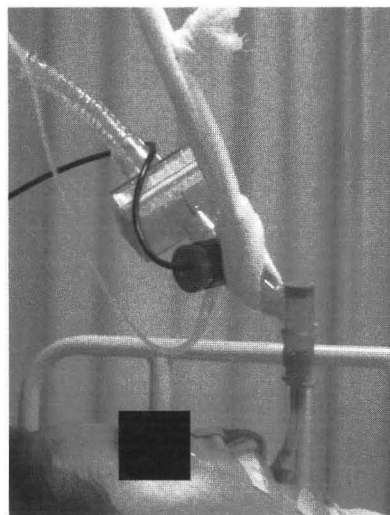


図 1 適切な人工鼻（HMEF）の位置
図はブラスターを併用したもの。
HMEF は高い位置にして、回路に結露した水分が不必要に HMEF に付着するのを防ぐ。

る。したがって抵抗の増加は、材質に影響を受ける。材質は水との親和性から、親水性のもの、親水性・疎水性を組み合わせたもの、疎水性のもの、の 3 つに分けられる。一般に綿、セルロースなどの吸湿性の高い素材を用いたものは、加湿効果が高いが、患者呼気により加湿され結露した水分を吸収する結果「tampon effect」を起こして気道抵抗が増加しやすい。一方、疎水性の高い網状のポリウレタンに親水性の加工を示したものやセラミック膜では、吸湿しないので長期に用いても抵抗が増加しない。しかし、加湿効果がやや劣ると考えられている^{10)~12)}。また、親水性・疎水性を組み合わせた HMEF では、製品によって加湿性能、使用による抵抗の上昇、死腔の大きさなどはさまざま、われわれは各々の製品の正しい知識を得ておかなければならない¹³⁾¹⁴⁾。

図 2 は、われわれが加温加湿器を使った肺モデルで HMEF の使用期間と気道抵抗上昇の関係を観察したものである。HMEF には、疎水性の高い HMEF である PALL 社製 Ultipor 100[®] と親水性素材と疎水性素材とを組み合わせた HMEF である MEDISISE 社製ハイグロベントー S[®] を用い

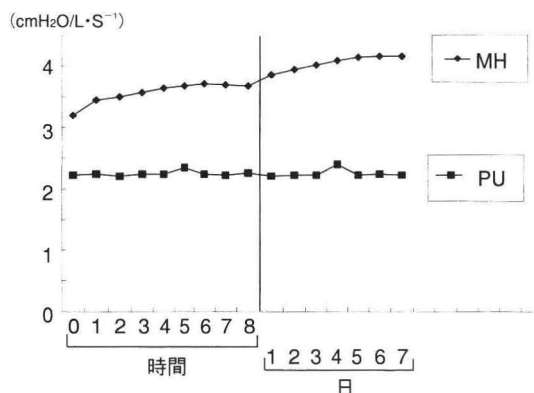


図2 人工鼻 (HMEF) の使用期間と気道抵抗の関係

加温加湿器を用いた肺モデルで1週間使用したときの気道抵抗の推移を示す。親水性の比較的高いMHでは、使用するにつれて気道抵抗が増加している。

MH: MEDISISE 社製ハイグロベントー S® (材質: 親水性+疎水性)

PU: PALL 社製 Ultipor 100® (材質: 疎水性)

た。Ultipor 100®は7日間ほとんど気道抵抗が上昇しなかったが、吸湿性の高いハイグロベントー S®は水分を吸収して気道抵抗が上昇した。しかし、両者とも、60 l/分の流量で測定した抵抗値のISO国際基準¹⁵⁾である5cmH₂O/L·S⁻¹を超えなかった¹⁶⁾。このように、使用期間による気道抵抗の増加のパターンは、材質によって異なるのである。

HMEFを頻繁に交換するとコストの面での有利性がなくなる。適切なHMEFの交換時期に関する研究が数多くなされている^{6)10)17)~21)}。初期の疎水性HMEFは加湿機能が低いため、毎日交換しても長期の人工呼吸患者では気管チューブの閉塞が起きやすかった¹⁷⁾。しかしながら最近では疎水性のHMEFでも加湿機能が向上し、メーカーの推奨する交換期間も48時間とされているものもある。Boissonら¹⁸⁾は、疎水性のHMEFの、Thomachotら¹⁹⁾は、親水性・疎水性を組み合わせたHMEFの交換時期について検討し、それぞれ48時間の交換で細菌学的機能も、加温加湿機能も損なわれないことを示した。さらに、Davisら⁶⁾は親水性・疎水性を組み合わせたHMEFが

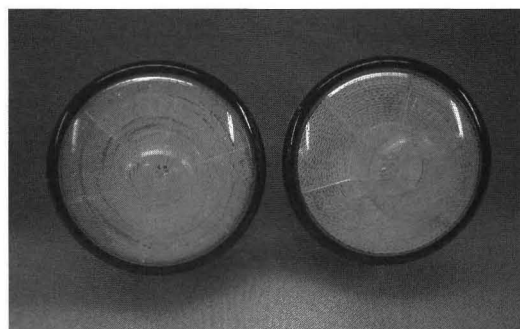


図3 異常な人工鼻 (HMEF) の例
右は未使用のHMEF。左は呼吸回路内の水分を過剰に吸収して、ヒダの乱れが生じている。

72時間以上の使用でも抵抗の増加がなく、加温加湿効果が損なわれず、細菌学的にも問題がないことを示した。これによる、人工呼吸器関連肺炎の頻度上昇はなかった。また、Ricard¹⁰⁾らは、COPDの患者をのぞく、喀痰などの分泌物が少ない人工呼吸患者では1週間程度の間隔での交換でも、加湿性能の低下、気道抵抗の増加が認められないことを証明した。しかし、細菌学的には、YピースとHMEFの人工呼吸側のフィルターに細菌が検出されるケースもあり、問題がないとはいえない。また、Boyerら²⁰⁾は、吸湿性の高いHME (いわゆるバクテリアルフィルタリング機能のないもの)でも、48時間の交換で使用するならCOPDの患者に使用しても人工呼吸器側の汚染は見られなかったと報告した。ブースターはHMEFと組み合わせて使用することで加湿機能を高めるが、96時間使用したブースターの14個中8個に培養が陽性となった。この時でもHMEFの人工呼吸器側の培養は陰性であった²¹⁾。しかしながら現時点では、患者に使用した人工呼吸回路を、HMEFの交換のみで、他の患者に使用することの安全性は確立していない。今後の研究結果を待つべきである。

これらの結果から、筑波大学附属病院では、疎水性HMEF、親水性・疎水性を組み合わせたHMEFの交換は1週間に一度としている。この場合、たとえ1週間以内であってもHMEFが汚染された場合やHMEFのヒダに明らかな乱れが生じたりした場合には交換が必要である。血液、喀

痰に汚染された場合に気道閉塞を起こしやすいことが報告されている⁶⁾。図3に異常なHMEFを示す(患者のHMEFが左、新品のHMEFが右である)。これは、HMEF交換後5日目のCPAP+PSVで管理されていた患者から得られたものである。HMEFの抵抗が上昇したため、気道内圧の上昇と SpO_2 の低下が認められた。原因は、ブースターとHMEFの間に貯まった水滴が一気にHMEFに垂れ込み発生した異常であると考えられる。このHMEFを60 l/分の流量で測定した抵抗値は、抵抗値の国際基準を上まわる高い抵抗となっていた。

人工呼吸器の離脱時などでCPAPなどの自発呼吸モードで人工呼吸器を行う場合、HMEFの使用には注意が必要である。数 $cmH_2O/L \cdot S^{-1}$ の気道抵抗の上昇が、呼吸仕事量を増大させて、換気量減少、呼吸数増加、低酸素症、高炭酸ガス血症を引き起こすことがあるからである。Giraultら²²⁾は、慢性呼吸疾患患者の人工呼吸器離脱時にHMEFと加温加湿器が呼吸仕事量に及ぼす影響を検討した。その結果、離脱時にはHMEFの抵抗を代償する高いpressure support (15 cmH_2O)が必要であり、人工呼吸器からの離脱が困難な患者ではHMEFを使用すべきではないとしている。さらに、Prinら²³⁾は、ARDS患者でHMEFと加温加湿器の CO_2 のクリアランスを検討した。その結果、HMEFを加温加湿器に変更すると、呼吸数などを変化させなくても $PaCO_2$ を $11 \pm 5mmHg$ 低下させることができたとしている。したがって、呼吸予備能の低い患者においては、現時点のHMEFを注意して使用するか、加温加湿器を使用して患者管理することが必要であると考ええる。

5. まとめ

気道内分泌が多くない患者でHMEFを使用する場合、交換時期は、1週間でよいと考えられる。ただし、疎水性のHMEFでは加湿が不十分なことによる気管チューブの閉塞に注意し、吸湿性の高いHMEFでは、回路内に結露した水分を吸収し予想外に抵抗が上昇することに注意する。メーカーの推奨する交換期間を超えて使用する場合は、一回換気量、気道内圧の変化に注意し、患

者の状態をよく観察しなければならない。

引用文献

- 1) Forbes AR : Temperature, humidity and mucus flow in the intubated trachea. *Br J Anaesth* 46 : 29-34, 1974
- 2) Craven DE, Goularte TA, Make BJ : Contaminated condensate in mechanical ventilator circuits : a risk factor for nosocomial pneumonia? *Am Rev Respir Dis* 129 : 625-63, 1984
- 3) Ricard JD, Markowicz P, Djedaini K, et al : Bed-side evaluation of efficient airway humidification during mechanical ventilation of the critically ill. *Chest* 115 : 1646-1652, 1999
- 4) Kitron OC, DeHaven B, Morgan J, et al : A prospective, randomized comparison of an inline heat moisture exchange filter and heated wire humidifiers Rate of ventilator-associated early-onset (community-acquired) or late-onset (hospital-acquired) pneumonia and incidence of tube occlusion. *Chest* 112 : 1055-1059, 1997
- 5) Kollef M, Shapiro S, Boyd V, et al : A randomized clinical trial comparing an extended-use hygroscopic condenser humidifier with heated water humidification in mechanically ventilated patients. *Chest* 113 : 759-767, 1998
- 6) Davis K Jr, Evans SL, Campbell RS, et al : Prolonged use of heat and moisture exchangers does not affect device efficiency or frequency rate of nosocomial pneumonia. *Crit Care Med* 28 : 1412-1418, 2000
- 7) Branson RD, Campbell RS, Chatburn RL, et al : AARC clinical practice guideline humidification during mechanical ventilation. *Respir Care* 37 : 887-890, 1992
- 8) 謝 宗安 : 吸入ガスはどこまで加温加湿が必要か? *人工呼吸* 19 : 1-2, 2002
- 9) 磨田 裕 : 加温加湿と人工鼻. *人工呼吸* 15 : 83-90, 1998
- 10) Ricard JD, Le Miere E, Markowicz P, 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* 161 : 104-109, 2000
- 11) Roustan JP, Kienlen J, Aubas P, et al : Comparison of hydrophobic heat and moisture exchang-

- ers with heated humidifier during prolonged mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 18 : 97-100, 1992
- 12) Martin C, Papazian L, Perrin G, et al : Performance evaluation of three vaporizing humidifiers and two heat and moisture exchangers in the patients with minute ventilation >10L/min. *Chest* 102 : 1347-50, 1992
 - 13) Morgan-Hughes NJ, Mills GH, Northwood D : Air flow resistance of three heat and moisture exchanging filter designs under wet conditions : implications for patient safety. *Br J Anaesth* 87 : 289-291, 2001
 - 14) Markowicz P, Richard JD, Dreyfuss D, et al : Safety, efficacy, and cost-effectiveness of mechanical ventilation with humidifying filters changed every 48 hours : A prospective, randomized study. *Crit Care Med* 28 : 665 - 671, 2000
 - 15) International Organization for Standards. Aesthetic and respiratory equipment-heat and moisture exchangers for use in humidifying respired gasses in humans. Geneva : international Organization for Standardisation Technical Committee. International Standard ISO 9360 : 2, 1992
 - 16) 高橋伸二, 水谷太郎, 荒木祐一, ほか : 人工鼻フィルターの流量抵抗と重量の関係. *日集中医誌* 11 : 227, 2004
 - 17) Croci M, Elena A, Solca M : Performance of a hydrophobic heat and moisture exchanger at different ambient temperatures. *Intensive Care Med* 19 : 351-352, 1993
 - 18) Boisson C, Viviani X, Arnaud S, et al : Changing a hydrophobic heat and moisture exchanger after 48 hours rather than 24 hours : a clinical and microbiological evaluation. *Intensive Care Med* 25 : 1237-1243, 1999
 - 19) Thomachot L, Vialet R, Viguier JM, et al : Efficacy of heat and moisture exchangers after changing every 48 hours rather than 24 hours. *Crit Care Med* 26 : 477-481, 1998
 - 20) Boyer A, Guillaume T, Lasry S, et al. Long-term mechanical ventilation with hygroscopic heat and moisture exchangers used for 48 hours : A prospective clinical, hygrometric, and bacteriological study. *Crit Care Med* 31 : 823-829, 2003
 - 21) Thomachot L, Viviani X, Boyadjiev I, et al : The combination of a heat and moisture exchanger and a BoosterTM : a clinical and bacteriological evaluation over 96h. *Intensive Care Med* 28 : 147-153, 2002
 - 22) Girault C, Breton L, Richard JC et al : Mechanical effects of airway humidification devices in difficult to wean patients. *Crit Care Med* 31 : 1306-1311, 2003
 - 23) Prin S, Chergui K, Augarde R, et al. Ability and safety of a heated humidifier to control hypercapnic acidosis in severe ARDS. *Intensive Care Med* 28 : 1756-60, 2002
 - 21) Thomachot L, Viviani X, Boyadjiev I, et al : The combination of a heat and moisture exchanger and a BoosterTM : a clinical and bacteriological evaluation over 96h. *Intensive Care Med* 28 : 147-153, 2002
 - 22) Girault C, Breton L, Richard JC et al : Mechanical effects of airway humidification devices in difficult to wean patients. *Crit Care Med* 31 : 1306-1311, 2003
 - 23) Prin S, Chergui K, Augarde R, et al. Ability and safety of a heated humidifier to control hypercapnic acidosis in severe ARDS. *Intensive Care Med* 28 : 1756-60, 2002
-