

●講 座●

呼吸管理のデバイス
呼吸管理中の加温加湿デバイス：その原理と使用法

大藤 純

キーワード：加温加湿器，人工鼻，絶対湿度

I. 緒 言

気管挿管による人工呼吸管理中は、気管チューブにより上気道をバイパスするため、上気道からの加温加湿を受けられない。そのため、冷たく乾燥した医療ガスによる換気を続けると、気道粘膜の乾燥や炎症、分泌物の粘性増加により肺炎や気道閉塞の原因となる。また、非侵襲的陽圧換気（non-invasive positive pressure ventilation：NPPV）や高流量酸素療法（high flow oxygen therapy：HFOT）では、人工気道による上気道のバイパスはないものの、生理的な吸気流量を超える高流量の医療ガスを吹き込む。そのため、適切な加温加湿を行わなければ鼻腔・口腔粘膜の乾燥や気道抵抗の増加、喀痰排泄不良などの合併症をきたしうる。本稿では、適切な呼吸管理に必要な加温加湿法について、加温加湿デバイスの原理と使用法を中心に述べる。

II. 加温加湿の必要性

自然呼吸では、口や鼻から空気を吸入する。吸入ガスは、鼻腔や口腔などの気道を通過する間に、粘膜からの水蒸気により加温加湿され肺胞に達する。気管分岐部付近では、ほぼ37℃、相対湿度100%に達する（図1）。一方、圧縮酸素や空気などの医療用ガスに湿度は含まれていないため、高流量の酸素投与では口腔や鼻腔粘膜の乾燥をきたしやすい。さらに気管挿管や気管切開下では、人工気道により上気道をバイパスするた

め、低温で乾燥した医療ガスが直接気管内に入る。加温加湿を行わず人工呼吸管理を続けると、気道粘膜から大量の熱と水分を奪うことになり、気道粘膜の乾燥や炎症、繊毛運動障害と分泌物の粘性増加による痰排泄不良や肺炎に加え、最悪の場合は気道閉塞などの致死合併症もきたしうる。適切な加温加湿法は、安全な呼吸管理を行ううえで必須の知識である。

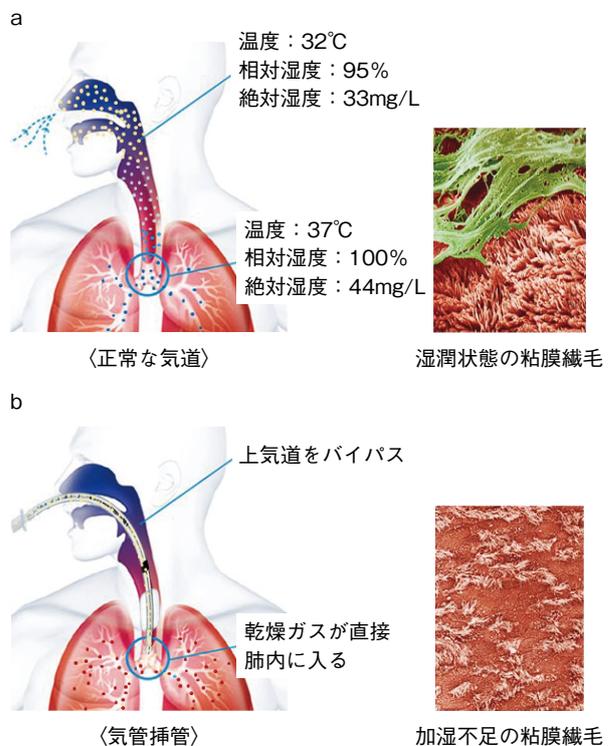


図1 吸気ガスの温度と湿度 (Fisher & Paykel Healthcare 社資料を改変)

- a. 正常な気道：上気道で加温加湿を受ける。
b. 気管挿管中：気管チューブにより上気道をバイパスし、乾燥した吸気ガスが直接肺内に達する。

Ⅲ. 飽和水蒸気量と相対湿度・絶対湿度

1Lの空気中に存在できる水蒸気の最大量を飽和水蒸気量（単位：mgH₂O/L）という。気温が高いほど、飽和水蒸気量は増加する。空気中には常に飽和水蒸気量の水分子が存在しているわけではなく、実際に1Lの空気中に含まれる水蒸気の量を絶対湿度（absolute humidity：AH、単位：mgH₂O/L）、また飽和水蒸気量に対する絶対湿度の割合を相対湿度（relative humidity：RH、単位：％）という。密閉された容器中の絶対湿度は、加温しても変化しないが、飽和水蒸気量は増加するため、相対湿度は低下する。逆に、冷却すると飽和水蒸気量は低下し、相対湿度は増加する。冷却により絶対湿度が飽和水蒸気量を上回れば、一部の水分子は水蒸気として存在できなくなり、液体となる。この現象を結露という。呼吸回路内に結露を生じている場合、気体の相対湿度はほぼ100％と考えられる。

気体の状態を表す用語として、ATPS（ambient temperature and pressure saturated with water vapor：測定時の温室、大気圧で水蒸気飽和した状態）、BTPS（body temperature and pressure saturated with water vapor：測定時の体温と大気圧で水蒸気飽和した状態）、STPD（standard temperature and pressure dry：0℃、1気圧の乾燥状態）がある。

Ⅳ. 推奨される加湿のレベル

アメリカ呼吸療法学会（American Association for Respiratory Care：AARC）の加湿加温の推奨レベルは、温度は34～41℃、絶対湿度は33～44mgH₂O/Lとしている。また、人工鼻による加湿では、絶対湿度30mgH₂O/L以上を推奨している¹⁾。絶対湿度25mgH₂O/L未満で1時間以上または絶対湿度30mgH₂O/L未満で24時間以上の換気は気道粘膜の繊毛運動障害と関連する¹⁾。上気道で受ける加湿は全体の75％程度と考えられており、人工気道を用いた場合に必要と考えられる加湿の理論値は $44 \times 0.75 = 33 \text{mgH}_2\text{O/L}$ となる。ただし、気道粘膜からの水蒸気の喪失を避ける意味で、理想的な吸気ガスの加湿レベルは絶対湿度44mgH₂O/Lとの意見もある¹⁾。

低い温度では絶対湿度の低下や低体温の原因となり、逆に41℃を超える高い温度は気道粘膜熱傷の原因となる。また、過剰な加湿は、気道内部で結露を生じ、繊

毛運動機能の低下や気道分泌物の増加、などの原因となるため避けなければならない¹⁾。

Ⅴ. 加温加湿の方法

加温加湿の方法には、①ネブライザーやカスケード型加湿器によるエアロゾルによる加湿、②加温加湿器などによる水蒸気による加湿、がある。それぞれ水の粒子の大きさに違いがあり、粒子が大きいと末梢気道に達する前に気道に付着しやすく、加湿効果に劣る。また、細菌やウイルスを運搬する危険性があることも問題である。エアロゾルの粒子径は1～40μmであり、細菌（0.2～10μm）やウイルス（0.017～0.3μm）よりも大きいため、細菌やウイルスを体内に運搬する危険性がある。一方、水蒸気の粒子径は0.0001μmであり、細菌やウイルスを運搬することはない。そのため、人工呼吸中にエアロゾルによる加湿はほとんど行われておらず、水蒸気を利用した加温加湿が主流である。人工呼吸中に使用される加温加湿法には、①加温加湿器による能動的加湿、と②人工鼻による受動的加湿、がある。

Ⅵ. 加温加湿器（heated humidifier：HH）

加温加湿器とは、蒸留水を加温し水蒸気を発生させることで加温加湿を行う機器である。吸気ガスの絶対湿度を維持するため、呼吸器回路には熱線とYピース吸気側（患者口元）の温度をモニターする温度プローブを組み込み、結露を予防するシステムを採用したものが多く、加温加湿器のチャンバー出口温度を37℃、口元温度を39～40℃に設定することで、温度37℃、相対湿度100％、絶対湿度44mgH₂O/Lの吸気ガスが冷却されることなく患者口元に達する（温度40℃、相対湿度85％、絶対湿度44mgH₂O/L）。スリップジョイントおよび気管チューブ通過時に3℃の温度低下があると仮定すると、理論上、気管内には温度37℃、相対湿度100％、絶対湿度44mgH₂O/LのBTPSガスが送られることになる（図2）。

1. 加温加湿器の構造と種類

1) Pass-over型加温加湿器（図3a）

チャンバーに入れた蒸留水を蒸発させ、その上を吸気ガスが通過することで加温加湿を行うシステムである。現在多くの加温加湿器が用いているシステムである。

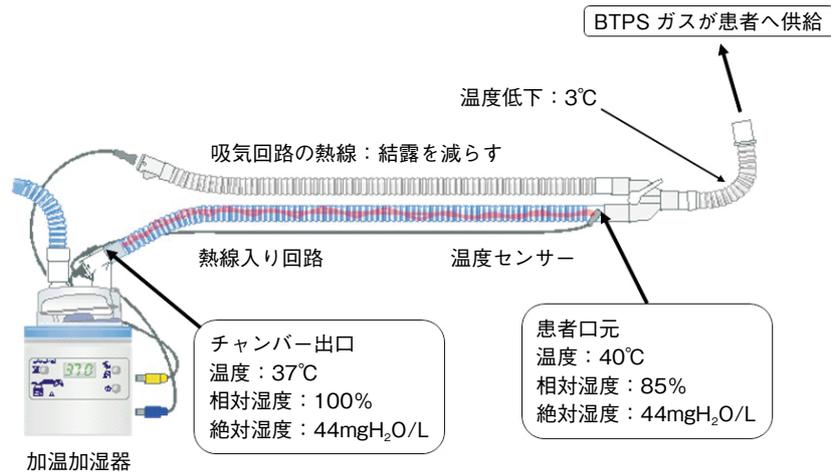


図2 加温加湿器のシステムと各部位の温度と湿度 (Fisher & Paykel Healthcare 社資料を改変)

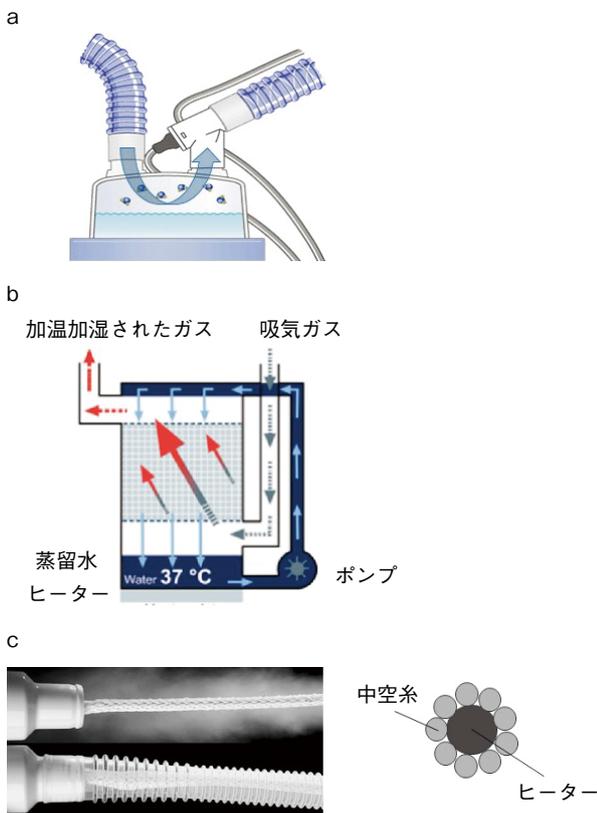


図3 加温加湿器の構造と種類

- a. Pass-over 型 (Fisher & Paykel Healthcare 社資料を改変)
- b. Counter-flow 型 (アイビジョン社資料を改変)
- c. 水蒸気透過膜型 (メトラン社資料を改変)

2) Counter-flow 型加温加湿器 (図 3b)

ポンプにより温水がチャンバー内に循環しており、汲み上げられた温水がシャワー状に吹き下げられた中を送気ガスが通過することで加温加湿するものである。

3) 水蒸気透過膜型 (図 3c)

水は通過せず水蒸気のみが通過する中空糸膜に水を通し、熱線で加温することで水蒸気を発生させるシステムである。

2. 呼吸回路

1) 熱線なし

吸気ガスが加温加湿器を通過した後、外気温により冷却され回路内に結露が発生するため、ウォータートラップは必須である。絶対湿度が低下し加湿不足となるため推奨されない。

2) 熱線付き

吸気ガスを温めて結露を防ぎ、絶対湿度を維持する。らせん状の熱線を回路内に組み込んだもの (インナー型)、熱線を回路外壁内に組み込んだもの (エンベッド型)、熱線回路をスリーブで覆ったもの (スリーブ型)、外壁を二重構造とし断熱層と熱線を組み込んだもの (エンベッド+エアスリーブ型)、など多種類ある (図 4a ~ d)。

Ⅶ. 人工鼻 (heat and moisture exchanger : HME)

1. 人工鼻の種類と特徴

人工鼻とは、患者の呼気中に含まれる水蒸気と熱を捕捉して、次の吸気ガスに与えることで加温加湿を行うものである (図 5a・b)。人工鼻には、素材の違いにより紙や合成繊維を用いた疎水性人工鼻 (hydrophobic HME)、保湿剤 (塩化カルシウム、塩化マグネシウム、

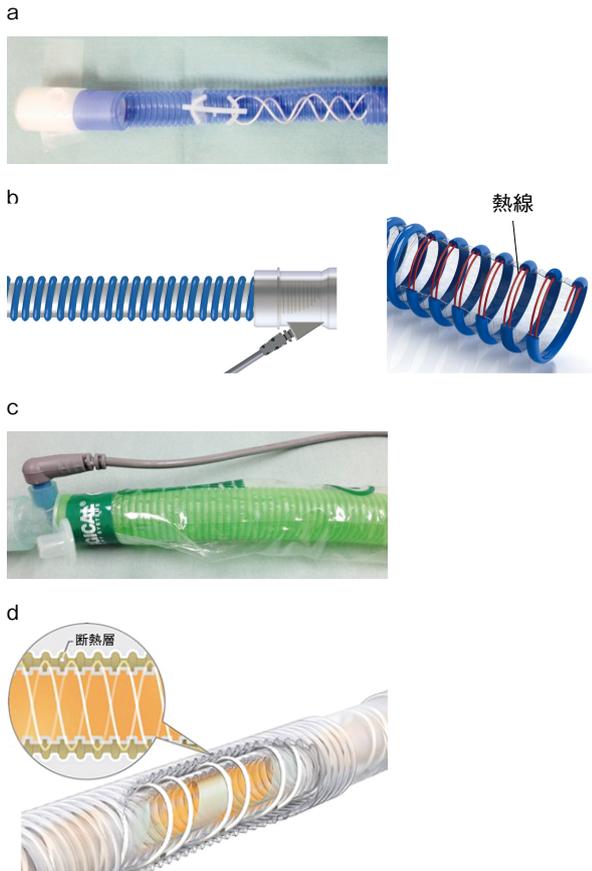


図 4a~d 呼吸回路の構造と種類

- a. インナー型
- b. エンベッド型 (アイ・エム・アイ社資料を改変)
- c. スリーブ型
- d. エンベッド+エアスリーブ型 (アトムメディカル社資料を改変)

塩化リチウムなどを添加した親水性人工鼻 (Hydroscopic HME) あるいはそれらを組み合わせたもの (combined HME) がある。機能別では、加温加湿機能のみのタイプとバクテリアフィルター付きのもの (HME with Filter : HMEF) がある²⁾。加温加湿機能のみの人工鼻は気流抵抗が低く、とくに自発呼吸下では有利であるが、親水性のため濡れると目詰まりを起こしやすい。HMEF は、気流抵抗は若干高いが、細菌やウイルス除去に優れ、ICU 領域で広く使用されている。

HMEF は、濾過メカニズムにより、機械式と静電気式に分類される。機械式フィルターは、小さな穴径のフィルターを用い、気流抵抗の上昇を抑制するよう表面積を広くした疎水性のブリーツ型となっており、細菌やウイルスを物理的に捕集するものである。除去効率に優れ、長期間フィルター機能を維持できるが、気流抵抗が高いことが欠点である。一方、静電気式フィ

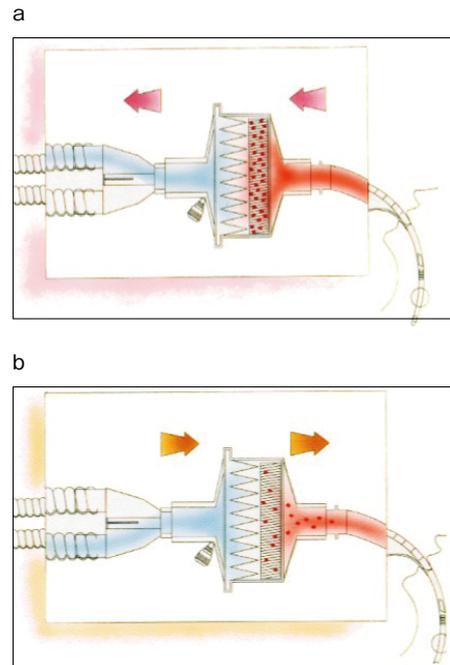


図 5a・b 人工鼻の加温加湿の原理

- a. 呼吸時：水蒸気が人工鼻に補足される。
- b. 吸気時：補足した水蒸気が供給される。



図 5c 人工鼻ブースターシステム (Total Medical Supply 社資料を改変)

- 人工鼻と気管チューブの間に装着
- ゴアテックス膜を通じて水蒸気を付加

ルターは、アクリルやプロピレン繊維を使用して静電気を含ませることで、ウイルスや細菌を吸着し捕集するものである。静電気式フィルターの電荷は時間経過と水分付加により低下するが、24～48時間程度の使用では問題ない。機械式と比較して、除去効率は若干劣るが、気流抵抗は低く、製造コストが低いという利点がある。HMEF の多くは静電式フィルターを使用しており、ウイルス除去効率は 99.999% 以上のものが多い³⁾。

HME (F) による加湿不足を補う目的に、ブースターシステム (加湿システム) を併用した人工鼻ブースターシステムも開発されている (図 5c)。

2. 人工鼻の性能

人工鼻には、成人用、小児用、気管切開用があり、それぞれ人工鼻のサイズあるいは形状に違いがある。

成人用人工鼻による加温加湿機能は、絶対湿度が 30 mg/L 以上、加湿効率（吸気 AH/呼気 AH×100：%）が 70% 以上のものが推奨される¹⁾。ただし、市販されている 32 種類の人工鼻の性能評価を行った研究では、一回換気量 500mL によるシミュレーション下において、絶対湿度 >30mgH₂O/L を達成できる人工鼻は全体の 37.5% と少なく、逆に絶対湿度 <25mgH₂O/L となるものが全体の 25% を占めていた。また、人工鼻の気流抵抗は、流量 1L/秒の下で平均 2.32±0.7cmH₂O/L/秒であった³⁾。一方、人工鼻の加湿能力は人工鼻のサイズにも関連し、容積が 60mL 以上の人工鼻では、絶対湿度が 30mgH₂O/L 以上となるものが多い（図 6）²⁾。

小児用人工鼻の加湿機能評価では、10 種類中 8 種類の人工鼻で絶対湿度 >30mgH₂O/L となったが、気道内圧 10cmH₂O 下でリーク流量 3.2L/分を発生するリーク孔を加えると、絶対湿度 >30mgH₂O/L を維持できる人工鼻はなかった⁴⁾。一般に小児患者ではカフなし気管チューブによるリークが多く、また換気量も年齢や体格により大きく異なり、適正な人工鼻のサイズ選定も難しいことから、実臨床では小児用人工鼻の使用は限られる。

気管切開用人工鼻でも同様に、一回換気量 300～700 mL でのシミュレーション下において、10 種類中 4 種類の人工鼻で絶対湿度 >30mgH₂O/L を達成するが、絶対湿度の範囲は 25.3～30.8mgH₂O/L と幅広く、製品により加湿機能に差がある。また酸素 3L/分併用下では、絶対湿度 >30mgH₂O/L を維持できる人工鼻はなかった。一方、ヒーターネブライザー（絶対湿度：31.9

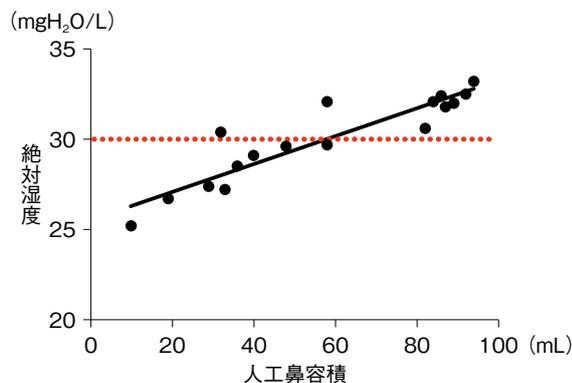


図 6 人工鼻の容積と絶対湿度との関係（文献 2 より引用改変）

±2.2mgH₂O/L）や気管切開下高流量酸素療法（絶対湿度：37.7±2.8mgH₂O/L）による加湿能力は人工鼻より優れていた⁵⁾。臨床データでも概ね同様の加湿性能を示しており、人工鼻での絶対湿度は 30.2±1.8mgH₂O/L であったのに対し、気管切開下高流量酸素療法では、絶対湿度 40.3±1.8mgH₂O/L であった⁶⁾。気管切開患者で酸素投与を必要とする症例や痰の粘性が強く排痰困難な症例では、ヒーターネブライザーの使用や気管切開下高流量酸素療法を考慮する。

3. 人工鼻使用上の注意点

人工鼻は、患者の換気量によりサイズを選択する必要がある。人工鼻のサイズを大きくすると加温加湿効率は上がるが、死腔が増大し肺泡換気量の低下を招く。逆にサイズが小さいと加温加湿不足や気道抵抗増大の原因となる。

人工鼻では、患者呼気の水蒸気を捉えて加温加湿を行うため、エアリークが多い患者（リーク率 >30%）や低体温（体温 <32℃）の患者では使用できない。また人工鼻による加湿能力は、最大でも絶対湿度 30mgH₂O/L 程度で加湿不足となりやすい。急性呼吸不全で換気量が増大（分時換気量 >10L/分）している患者では使用を控える¹⁾。気道出血や気道分泌物が多い患者では、人工鼻の閉塞をきたしやすい。人工鼻の使用期間は、24～48 時間毎の交換が推奨されるが、人工鼻の汚染を認める場合は速やかに交換する。HMEF は、細菌やウイルス除去効果があり、呼吸回路の汚染を軽減する可能性が示唆されるが、人工呼吸器関連肺炎の予防効果に関するエビデンスは少ない。近年の 2 編のメタ解析では、人工鼻による人工呼吸器関連肺炎の予防効果は示されておらず^{7,8)}、人工呼吸器関連肺炎予防策としての使用は推奨されない¹⁾。

その他、高度の拘束性換気障害や閉塞性換気障害の患者、また重症急性呼吸促迫症候群（acute respiratory distress syndrome：ARDS）などで低一回換気量による肺保護換気を施行している患者では、人工鼻による死腔が高炭酸ガス血症や呼吸性アシドーシスを増悪させる危険性があり推奨されない¹⁾。

VIII. 加温加湿の実際： 加温加湿器と人工鼻の使い分け

適正な加温加湿は、気道分泌物の粘稠度や気管チュ

ープ内の結露の付着、吸引チューブが気管チューブ内に抵抗なく挿入できる、などを参考に判断する。

加温加湿器は、加温加湿能力に優れ、死腔や回路抵抗の付加がなく、リークがあっても加湿が可能な点が優れている。また成人から小児まで幅広く使用できる。一方、回路内の結露の貯留による細菌汚染や気管内へのたれ込み、人工呼吸器の非同調（auto-triggeringによる頻呼吸など）は臨床上遭遇しやすい問題である。また、加湿器の電源の付け忘れや蒸留水の充填忘れにも十分注意する。

一方、人工鼻は、呼吸回路が簡素化され組み立てミスが少ないこと、呼吸回路内の結露がないこと、細菌やウイルス性肺炎の病原体を遮断できること、電力を必要とせず患者の移動中も使用できること、安価であることなどが利点である。成人で気道分泌物が少なく痰の粘性が低い症例や比較的短期間の人工呼吸管理、移動中の呼吸管理、空気感染のリスクがある症例などの使用に適している。

加温加湿器および人工鼻の使い分けについて、表1にまとめた。

IX. NPPV 中の加温加湿

NPPV 中は、人工気道による上気道のバイパスはなく、気管挿管時と比較して加温加湿の必要性は低い。ただし、NPPV 専用機では室内気に酸素を混合させて

吸気ガスを送り込むため、吸入酸素濃度が高いほど、乾燥した医療ガスが送気され、口腔・鼻腔粘膜の乾燥や炎症、気道抵抗増大の原因となる。とくに急性呼吸不全では口呼吸となる場合が多く、強い口渇感や口腔内分泌物の固形化による喀痰排泄障害や気道閉塞の原因にもなる（図7）^{9~11)}。適度な加温加湿はNPPVの忍容性を高め、合併症を軽減する可能性がある^{1,9)}。

NPPV 中はエアリークが多く、高流量ガスを使用することから、人工鼻の使用は推奨されない¹⁾。加温加湿器の温度設定に推奨された基準はないが、Fisher and Paykel 社の MR850 加温加湿器の非侵襲モードでは、チャンバー出口温度 31℃、口元温度 34℃（絶対湿度 32mgH₂O/L）が採用されている。インターフェイス装着不良によるリークが多いと、加温加湿器による加湿能力を上回る吸気流量（吸気流量>60L/分）を供給するため、加湿不足となりやすい。NPPV 装着中は、インターフェイスに付着する結露や口腔内乾燥の度合い、患者の口渇や不快感の訴えなどを参考に、加温加湿器の温度設定の調整やインターフェイスの装着具合、リーク量を確認する。加湿が不足する場合は、気管挿管時と同等の温度設定としてもよい⁹⁾。一方、ヘルメット型やトータルフェイス型のインターフェイスを使用する場合、加湿により結露が付きやすく、著しく視界を遮る場合もある。ヘルメット型インターフェイス使用時の加湿の必要性は定かではないが、加湿の有無

表1 加温加湿器と人工鼻の使い分け

加温加湿器が適した病態	人工鼻が適した病態
ガスリークが多量 例：カフなし気管チューブ、胸腔ドレーン	気道分泌物が少ない、粘稠でない
気道分泌物が多量あるいは粘稠度が高い 例：気道出血、肺水腫、肺炎、など	短期間の人工呼吸管理 例：96時間以内の呼吸管理
高度の拘束性換気障害 例：ARDS、間質性肺炎、低一回換気量による肺保護換気中、など	処置や移動中の人工呼吸管理 例：手術や検査など
高度の閉塞性換気障害 例：重度のCOPD、喘息重責発作、など	空気感染の危険性がある患者 例：結核、など
換気量が多い 例：分時換気量>10L/分	在宅用人工呼吸
気管切開下で酸素投与を要する患者 例：酸素 \geq 3L/分	
低体温 例：体温<32℃	
その他：小児患者、ネブライザー使用、など	

COPD (chronic obstructive pulmonary disease : 慢性閉塞性肺疾患)

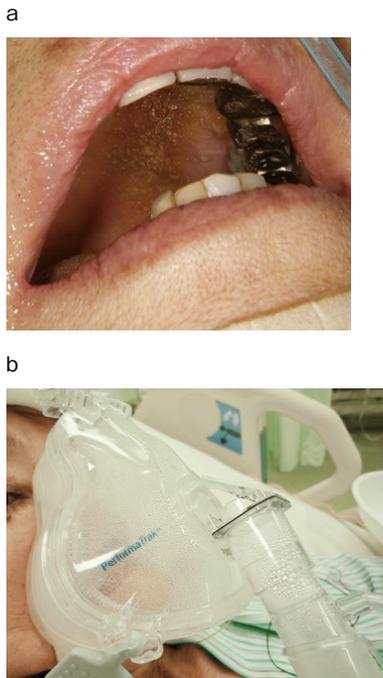


図7 NPPV中の口腔内乾燥による粘性分泌物貯留およびインターフェイスの結露

- a. NPPV中の加湿不足の例：硬口蓋に固形化した痰が付着。
- b. マスクに付着した結露：NPPV中は、マスクの結露の有無を確認。

により患者の忍容性は変わらないとする報告もある¹¹⁾。著者の施設では、ヘルメット型インターフェイス使用時は、加湿を併用せず開始し、患者の口渴感などを参考に加湿の併用を考慮している。

X. HFOT中の加温加湿

HFOTは、経鼻カニューラもしくは気管切開用カニューラを通じて、高流量の圧縮酸素や空気を吹き込む酸素療法であり、適切な加温加湿は患者快適性や忍容性の担保に必須である。HFOTでは、加温加湿器による加湿を行い、気管挿管患者に準じたBTPSガス(温度37℃、絶対湿度44mgH₂O/L)を供給するのが一般的である。加温加湿器の種類も改良が進んでおり、Pass-over型加温加湿器の他に、ヒーターの加熱と不織布による吸水・蒸発効果を組み合わせたウィック型や水蒸気透過膜を利用したホロファイバー型の加温加湿器も開発されている。熱線付き呼吸回路もスリーブ型やエンベッド+エアスリーブ型など改良が進み、保温効果を維持し結露を少なくする工夫がなされている。Chikataらの報告では、室温が25℃の環境では、HFOTを24時間使用した後の回路内の結露量は10g未満であったが、

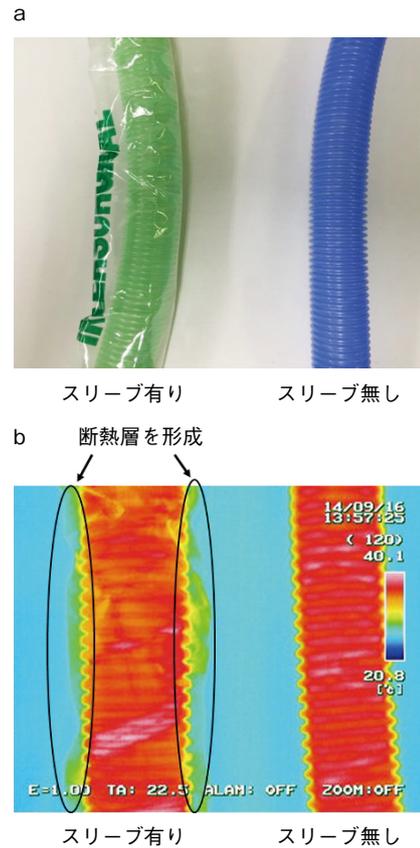


図8 呼吸回路の種類とサーモグラフィーによる評価

20℃と温度が低い環境では、44～73g/24時間(温度設定37℃、吸気流量40～60/L)に増加する。また、スリーブ型回路では、回路とスリーブ間に断熱層を形成し回路の冷却を抑えることで、結露量を約40%減少させている(図8)¹³⁾。ただし、経鼻カニューラ部分では冷却による結露が貯留しやすく、こまめに除去する必要がある。

HFOTにおける吸気ガスの絶対湿度を評価した研究では、加温加湿器の温度設定37℃、流量30～60L/分において、経鼻あるいは気管切開用カニューラ部分での温度低下により、絶対湿度は35～38mgH₂O/L前後と報告されている¹⁴⁾。

HFOT中の加温加湿器の温度設定は37℃が一般的だが、加温加湿された高流量の“温風”は時に患者の不快感を助長する可能性もある。HFOT中の患者快適度に関する研究では、加温加湿器の温度設定が31℃の場合、37℃と比較して患者の快適度は改善する¹⁵⁾。概して、急性呼吸不全で重症度が高い患者では、高流量かつ加温加湿された吸気ガスへの忍容性は高く、逆に重症度が低い患者では不快を感じる傾向がある^{15～17)}。

31°Cで加温加湿された吸気ガスの気道粘膜への影響は少ないと考えられるため、患者の忍容性や快適性を加味して加温加湿器の温度を31～37°Cの範囲で調整してもよい^{15, 17)}。

XI. ま と め

呼吸管理における加温加湿法について述べた。現在、多くの種類の加温加湿器や人工鼻が市販されているが、使用に際しては、それぞれのデバイスの構造や原理について十分な理解と確認が必要である。適正な加温加湿は、単に温度設定や湿度の値だけで決められるものではなく、周囲の温度や患者の分泌物の量、気道感染の有無、換気量など多くの因子の影響を受ける。加温加湿器や回路の温度の確認、気管チューブやインターフェイス内部の結露の有無、吸引チューブの入り具合や痰の粘性、患者の口渴感の訴えなどを参考に適切な加温加湿の実践に努めることが重要である。

本稿の著者には規定されたCOIはない。

参 考 文 献

- Restrepo RD, Walsh BK : AARC clinical practice guideline. Humidification during invasive and noninvasive mechanical ventilation : 2012. *Resp Care*. 2012 ; 57 : 782-8.
- Plotnikow GA, Accoce M, Navarro E, et al : Humidification and heating of inhaled gas in patients with artificial airway. A narrative review. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2018 ; 30 : 86-97.
- Lellouche F, Taillé S, Lefrançois F, et al : Humidification performance of 48 passive airway humidifiers : comparison with manufacturer data. *Chest*. 2009 ; 135 : 276-86.
- Chikata Y, Sumida C, Oto J, et al : Humidification performance of heat and moisture exchangers for pediatric use. *Crit Care Res Pract*. 2012 ; 2012 : 439267.
- Chikata Y, Oto J, Onodera M, et al : Humidification performance of humidifying devices for tracheostomized patients with spontaneous breathing : a bench study. *Respir Care*. 2013 ; 58 : 1442-8.
- Nakanishi N, Oto J, Itagaki T, et al : Humidification performance of passive and active humidification devices within a spontaneous breathing tracheostomized cohort. *Respir Care*. 2019 ; 64 : 130-5.
- Gillies D, Todd DA, Foster JP, et al : Heat and moisture exchangers versus heated humidifiers for mechanically ventilated adults and children. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017 ; 9 : CD004711.
- Vargas M, Chiumello D, Sutherasan Y, et al : Heat and moisture exchangers (HMEs) and heated humidifiers (HHs) in adult critically ill patients : a systematic review, meta-analysis and meta-regression of randomized controlled trials. *Crit Care*. 2017 ; 21 : 123.
- Oto J, Imanaka H, Nishimura M : Clinical factors affecting inspired gas humidification and oral dryness during non-invasive ventilation. *J Crit Care*. 2011 ; 26 : 535 e9-15.
- Oto J, Nakataki E, Okuda N, et al : Hygrometric properties of inspired gas and oral dryness in patients with acute respiratory failure during noninvasive ventilation. *Respir Care*. 2014 ; 59 : 39-45.
- Wood KE, Flaten AL, Backes WJ : Inspissated secretion : a life-threatening complication of prolonged noninvasive ventilation. *Respir Care*. 2000 ; 45 : 491-3.
- Chiumello D, Chierichetti M, Tallarini F, et al : Effect of heated humidifier during continuous positive airway pressure delivered by a helmet. *Crit Care*. 2008 ; 12 : R55.
- Chikata Y, Unai K, Izawa M, et al : Inspiratory tube condensation during high-flow nasal cannula therapy : a bench study. *Respir Care*. 2016 ; 61 : 300-5.
- Chikata Y, Izawa M, Okuda N, et al : Humidification performance of two high-flow nasal cannula devices : a bench study. *Respir Care*. 2014 ; 59 : 1186-90.
- Mauri T, Galazzi A, Binda F, et al : Impact of flow and temperature on patient comfort during respiratory support by high flow nasal cannula. *Crit Care*. 2018 ; 22 : 120.
- Hernández G, Roca O, Colinas L : High-flow nasal cannula support therapy : new insights and improving performance. *Crit Care*. 2017 ; 21 : 62.
- 大藤 純 : 特集 酸素療法. 経鼻高流量酸素療法 high flow nasal cannula (HFNC) : 生理学的効果、適応と臨床の有用性. *INTENSIVIST*. 2018 ; 10 : 433-46.