

# 知らないの？ 加温加湿器の使い方

加藤 孝昭  
大国立大学法人東海国立大学機構  
名古屋大学医学部附属病院  
臨床工学技術部  
10a 新JL  
12H  
15a 新JL  
18H  
19a 新JL  
20H  
21a 新JL  
22H  
23a 新JL  
24H  
25a 新JL  
26H  
27a 新JL  
28H  
29a 新JL  
30H  
31a 新JL  
32H  
33a 新JL  
34H  
35a 新JL  
36H  
37a 新JL  
38H  
39a 新JL  
40H  
41a 新JL  
42H  
43a 新JL  
44H  
45a 新JL  
46H  
47a 新JL  
48H  
49a 新JL  
50H  
51a 新JL  
52H  
53a 新JL  
54H  
55a 新JL  
56H  
57a 新JL  
58H  
59a 新JL  
60H  
61a 新JL  
62H  
63a 新JL  
64H  
65a 新JL  
66H  
67a 新JL  
68H  
69a 新JL  
70H  
71a 新JL  
72H  
73a 新JL  
74H  
75a 新JL  
76H  
77a 新JL  
78H  
79a 新JL  
80H  
81a 新JL  
82H  
83a 新JL  
84H  
85a 新JL  
86H  
87a 新JL  
88H  
89a 新JL  
90H  
91a 新JL  
92H  
93a 新JL  
94H  
95a 新JL  
96H  
97a 新JL  
98H  
99a 新JL  
100H

加温加湿器は、その名のとおりに加温と加湿を行うことが可能である。人工呼吸器管理中における推奨湿度の指標は各機関から示されており、それによって適切な管理を行うことで、気道粘膜の繊毛線毛運動や肺胞細胞の機能を正常に維持し、ガス交換効率を高めることができる。

加温加湿されたガスを効果的に運ぶためには、選択が重要となる。本稿では、加温加湿器およびその回路について、それぞれ詳しく解説したいと思う。

となり、回路には、ヒーターワイヤーの有無や、ヒーターワイヤーが外巻きか内巻きかといった違いがあり、さらにヒーターワイヤーのレイアウトも多岐にわたるため、適切な選択は重要である。

本稿では、加温加湿器およびその回路について、それぞれ詳しく解説したいと思う。

## 加温加湿とは

加温加湿を理解するうえで重要な指標には、飽和水蒸気量、絶対湿度、相対湿度がある。これらは式で定義されており「相対湿度=絶対湿度/飽和水蒸気量×100」で表される。

飽和水蒸気量は、1Lの空気中に含まれる水蒸気の最大量 (mg/L) を示し、温度が高くなるほど値は増加する。ただし、空気中の水分子が常に飽和水蒸気量に達しているわけではないことには注意が必要である。絶対湿度は、1Lの空気中に含まれる水蒸気量 (mg/L) を示しており、相対湿度は特定の温度における飽和水蒸気量に対する絶対湿度の割合 (%) を示している。

例えば、密閉容器内で加温すると絶対湿度は変化しないものの、飽和水蒸気量が増加し、相対湿度は低下する。一方で、温度が下がると飽和水蒸気量は減少し、相対湿度は上昇する。

相対湿度は上昇する。さらに温度が低下して絶対湿度が飽和水蒸気量を超えると、余剰の水蒸気が結露として現れる。このように、3つのパラメータのうち2つが決まると、残りの1つは自動的に決定する。

色70% + スミベタ20% (以下同)

加温加湿を理解するうえで、ガスの種類を把握することは重要である。ガスは、圧力が加わったり、加温加湿されると、Boyle-Charlesの法則に基づき、その体積が変化する。この法則は、温度、圧力、およびガスに含まれる分子量の変化に応じて変化する特徴を示している。

ガスの種類は3つの要素を含んだ以下の4文字で示され、代表的な例として3種類が挙げられる。

・ATPS (ambient temperature and pressure saturated with water vapor) : 測定温度、測定気圧、100%湿度

・STPD (standard temperature and pressure dry) : 0°C, 1気圧, 0%湿度

・BTPS (body temperature and pressure saturated with water vapor) : 37°C, 測定気圧, 100%湿度

それぞれの関係は次のように表される。

BTPS = ATPS (25°C) × 1.075

BTPS (1気圧) = STPD × 1.210

ATPS (25°C) = STPD × 0.883

多くの人工呼吸器は、BTPS (加温加湿状態) 設定になるように温度、圧力、湿度による体積変化を補正している。

## 加温加湿の方法

加温加湿方法には、主に人工鼻と加温加湿器の2種類がある。

人工鼻は患者自身の呼吸を利用するため、環境や体温の影響を受けやすく、絶対湿度は30～33mg/L程度とされている<sup>1)</sup>。

人工鼻は、ISO (国際標準化機構)、AARC (American Association for Respiratory Care)、JIS (日本産業規格) における湿度基準 (表1) は満たしているが、Williamsの研究による適切な条件である温度37°C、相対湿度100%、絶対湿度44mg/Lには達していない<sup>2)</sup>。この条件を満たすことができるのは、温度調整が可能な加温加湿器しか知らない。

表1 各ガイドラインの推奨絶対湿度

ISO	≥ 33mg/L
AARC	33～44mg/L
JIS	≥ 33mg/L
Williamsらの研究	44mg/L

図2 分泌物で閉塞したチューブ

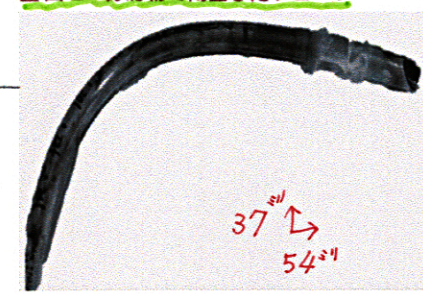
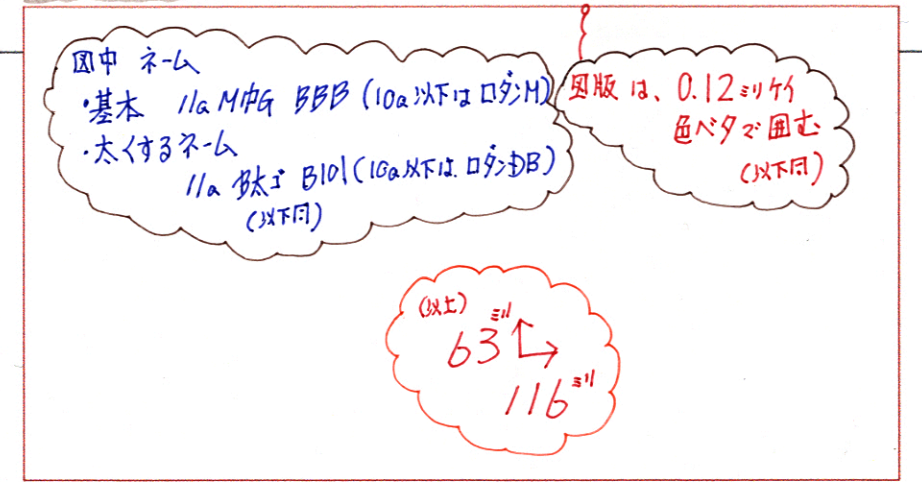


図3 チューブ閉塞によるエネルギー損失

(Fisher&Paykel より提供)



## 加温加湿不足による影響

人工呼吸器管理中に適切な温度、湿度管理が行われない場合、粘膜繊毛運動の低下 (図1) や排痰不足や分泌物の粘稠によるチューブの狭窄、閉塞 (図2) が生じる可能性があり<sup>4, 5)</sup>、患者のエネルギーの損失につながる<sup>6)</sup> (図3)。さらに、ガス交換率の低下や呼吸器感染症のリスクが増大する<sup>7)</sup>。

Williamsの報告によると、低湿度管理では10分程度で粘膜繊毛運動の機能不全が発生し、湿度が「0」に近づくと、1時間程度で細胞損傷が発生するとされている (図4)。一方、44mg/L付近では、機能正常が多くプロットされると報告されている<sup>2)</sup>。

以上より、安全性と治療効果を確保するためには、適切な温度、湿度で管理することが極めて重要である<sup>8, 9)</sup> (図5)。

## 低体温・高体温時の加温加湿について

低体温時の管理では、患者自身の呼吸を利用する人工鼻は絶対湿度が低くなるため、加温加湿器による管理が推奨されている<sup>4)</sup>。

成人の場合、加温加湿器の温度が体温に及ぼす影響は少ないと考えられるが、新生児では影響を受けやすいため、体温に応じた温度調整が望ましい<sup>10)</sup>。ガス

図4 Williams文献をまとめたプロット図

(Fisher&Paykel より提供)

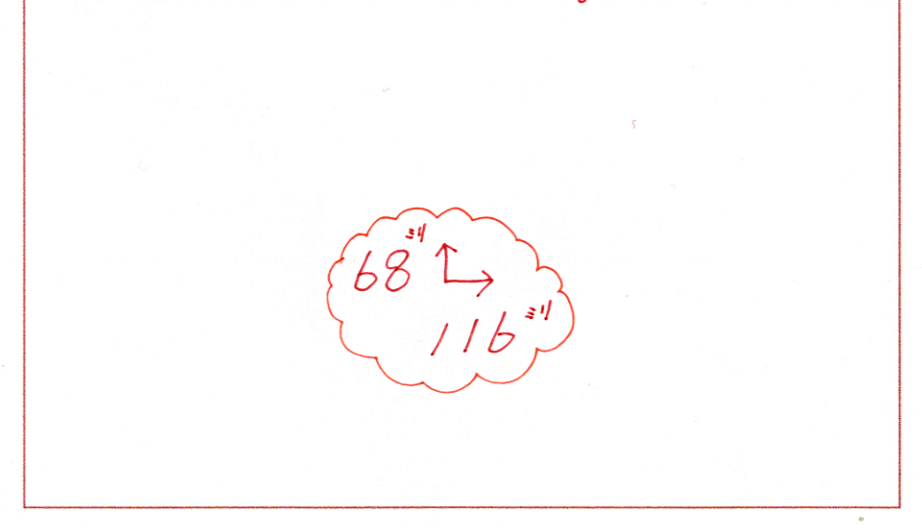


図5 湿度が繊毛機能に与える影響

(Fisher&Paykel より提供)

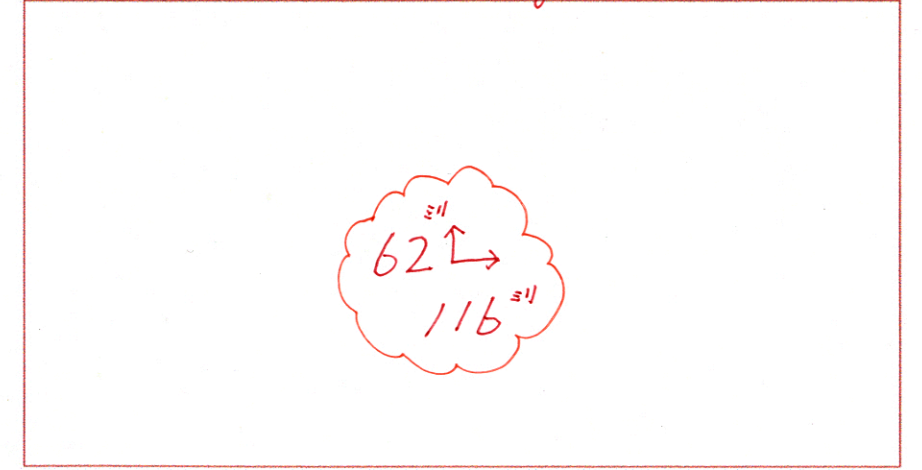
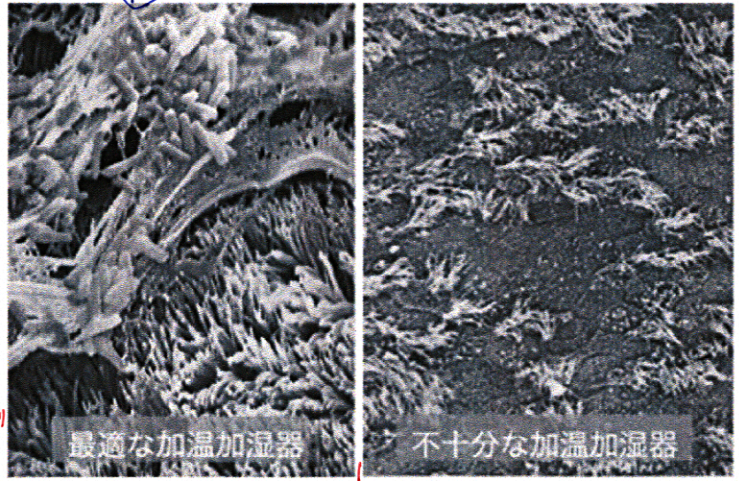


図1 顕微鏡で観察した繊毛 (Fisher&Paykel より提供)





スミ60%  
文字白ヌメ 1/2 ロダンDB (以下同)

44℃  
94%

スミ20%

モード	表示	チャンバー(℃)	口元(℃)	結露防止	湿度補正
オート	A	35.5~42	39~40	+	+
マニュアル	0.0	37	40	+	-
	1.0	38	40	-	-
	2.0	39	40	-	-
	3.0	40	39	-	-
	4.0	41	39	-	-
	5.0	42	39	-	-

スミ20%

■表2  
MR850 温度設定一覧

以上のガスが供給される可能性があり、これが気道粘膜の熱傷を引き起こす原因となるため、避ける必要がある<sup>12)</sup>。

### 加温加湿器について

加温加湿器の歴史は古く、1969年にFisher&Paykel (F&P) によって開発された。現在、広く使用されているのは、パスオーバー型とデュアルサーボ方式(サーボ: 2か所の測定データを基に、自動的に温度を制御する仕組み)を組み合わせた加温加湿器である(図6)。本稿では、広く使用されているMR850(F&P)について説明する。

まず使用モードは侵襲モードと非侵襲モードがあり、それぞれオートモード「A」とマニュアルモード「0~5」の設定が可能である(表2)。

通常、口元コネクタの先にはカテテルマウントと気管チューブが使用され、これらは非加熱回路であるため、ガスが通過する際に約3℃の温度降下が生じると考えられている。そのため、適切に加温加湿されたガスを供給するには、加温加湿器のチャンバー出口部を37℃、口元温度を39~40℃に設定し、吸気回路内の温度差を約3℃に保つことで結露を防止している(図6)。この設定により、チャンバー出口部で37℃、相対湿度100%、絶対湿度44mg/Lのガスを冷却することなく供給が可能となる(温度40℃、相対湿度85%、絶対湿度44mg/L)(図6)。

MR850の機能として、ヒューミディティコントロール(結露防止機能)がある。使用環境によってはこの3℃の温度差を維持できない場合があり、その際に作動する。「A」モードおよび「0」モードのみ対応(表2)。作動例として(図7)が挙げられる。

次に、ヒューミディティコンペンセーション(HCコントロール)がある。こ

れは使用環境に応じて湿度を補正するもので、「A」モードでのみ作動する(表2)。通常、チャンバー出口の温度が37℃であれば相対湿度は100%になるが、人工呼吸器から送気されるガスや室温が高い場合、温度センサーが正確に働かず、37℃でも相対湿度が100%にならないことがある(図8、9)。MR850は、この状況を自動的に補正し、ヒータープレート<sup>5H)</sup>の加熱電力やフロー・温度を確認しながら調整を行うことが可能である。

注意点として、人工呼吸器使用時の室温が高い環境や送気ガスや使用する蒸留水の温度が高い場合、加温加湿器はヒータープレートの加熱を停止する場合がある<sup>13)</sup>。そのため、蒸留水の温度は37℃を超えないようにする必要がある。このような状況では加温加湿が不十分となり、相対湿度や絶対湿度が低いガスが供給される可能性がある(図10)。

### 回路特徴

#### ヒーターワイヤー

加温加湿器の性能は、使用する回路によって大きく異なるため、その選択が非常に重要となる。大きく分けて、ヒーターワイヤーの有無により分類される。

ヒーターワイヤーが無いタイプ(回路自体を温めない): 外気温との差によって回路内に結露が発生しやすくなる。その結果、相対湿度が100%であっても、絶対湿度が低下したガスが供給されることがある。

ヒーターワイヤー内蔵タイプ(表3): 最適な湿度と温度を維持するために、チャンバーで加温加湿された37℃、相対湿度100%、絶対湿度44mg/Lのガスを供給することが重要である。

このためには、ヒーターワイヤー入りの回路が推奨されており、これにより患者に安定して44mg/Lの絶対湿度を供給することが可能となる。

■図8  
HCコントロール 例1

■図9  
HCコントロール 例2

■図10  
HCコントロール 例3

の温度が低い場合、たとえ相対湿度が100%であっても、体内で温度が上昇すると飽和水蒸気量が増加し相対湿度が低下してガスが乾燥する<sup>11)</sup>。乾燥したガスは体内(分泌物)から水分を奪い、固形化につながる可能性がある。そのため、ガスの温度を深部体温と同程度に保ち、なおかつ相対湿度を100%に維持することで、体内での温度変化による、相対湿度の低下を防ぎ、体内からの水分喪失を防ぐことが重要である<sup>11)</sup>。

また、絶対湿度が44mg/Lに達していない場合も、同様に体内(分泌物)か

ら水分を奪い固形化につながる可能性がある。一方で、過剰な加湿は気道内で結露を引き起こし、粘膜繊毛運動の低下や気道分泌物の増加をまねく可能性がある<sup>2, 12)</sup>。

以上のことから、相対湿度100%、絶対湿度44mg/Lのガスを供給するには、気管チューブ内の温度を37℃に設定することが理想的である<sup>11)</sup>。しかし、実際の温度設定に関しては、現場の状況に応じた判断に委ねられているのが現状である。また、高体温時に加温加湿器の温度を深部体温に合わせようすると、41℃

外側から温めるため、環境の影響を受けにくく、人工呼吸器関連肺炎(VAP)の原因となる結露が発生しにくいとされている<sup>14, 15)</sup>。吸気側は各メーカー外気の冷気や水蒸気を通過させない素材を使用している。

呼吸側回路の特徴は(表4、5) 回路種



■表3 ヒーターワイヤー内蔵回路一覧

No.	商品名 (製造元)	使用期間	有効期間	吸気ヒーターワイヤー	呼気ヒーターワイヤー	写真
1	EVAQUA2 (F&P)	14	製造日より5年	非対称二重らせん	直線	呼気 吸気
2	ドライサーム (Intersurgical)	14	製造日より3年	対称二重らせん	対称二重らせん	呼気 吸気
3	ベンチミスト (Flexicare Medical)	14	製造日より5年	非対称二重らせん	非対称二重らせん	呼気 吸気
4	Vincent (Vincent Medaical)	14	明記なし	対称二重らせん	対称二重らせん	呼気 吸気 一部蒸散部
5	Vent Star Helix (Dräger)	なし	製造日より2年	外巻き	外巻き	呼気 吸気

類のNo.1, 2, 3, 4は、ウォーターラップの代わりに小さなボア(穴)があり、ボアサイズにより細菌やウイルスは通さず、水蒸気だけが外気へ透過して結露を防止している(No.4は一部のみ透過性膜あり)、No.5は透過性膜を使用していない(図12)。

**ヒーターワイヤーのレイアウト** ヒーターワイヤーのレイアウトは、各メーカーの回路でのヒーターワイヤーの配置には、吸気側と呼気側でさまざまなタイプがある(表4, 5)。

吸気側では、非対称で二重らせん状に巻かれているタイプや、対称的に2本の熱線が巻かれているタイプがある。

呼気側では、非対称で二重らせん状に巻かれているタイプ、対称的に2本の熱線が巻かれているタイプ、直線的に配置されたタイプがある。

非対称二重らせんタイプは、二次的な流れを生み出し、熱交換効率を高めることが報告されている。特に高流量の状況下では、他のタイプよりも効率的に熱を伝え、同じ面積でより多くの熱を移動させることが可能となる。

対称二重らせんタイプは安定した熱伝導を提供するが、非対称二重らせんタイプほど二次的な流れを活用できないため、効率は多少劣るとされている。

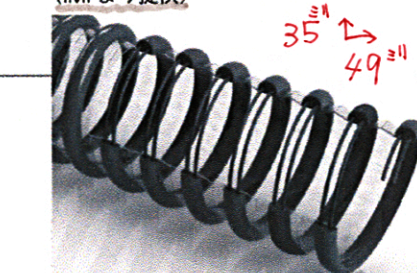
直線タイプは最もシンプルな形状であり、表面積が少ないため、他のタイプと比較すると熱伝達効率は低い傾向にある<sup>16)</sup>。

EVAQUA2(表4 No.1)の呼気回路は、あえて効率が低い直線タイプを使用し、水蒸気を外気に放出させることで、呼気回路末端での絶対湿度を低下させる仕組みを取り入れている。

**結露水の対処** 加湿加湿器と回路の工夫によって、回路内の結露を防止しているが、使用環境によっては結露水が溜まることもあるが、この結露水はチャンパーに戻すことが可能である<sup>17)</sup>。

これは、チャンパー内の温度は50℃以上になるため<sup>2)</sup>、たとえバクテリアやウイルスが存在していても、この高温環境により大部分が死滅するか、繁殖を抑えられるためである<sup>17)</sup>。仮に死滅しなかった場合でも、水蒸気分子は直径0.000275μmであり、細菌(0.2~10μm)やウイルス(0.017~0.3μm)よりはるかに小さいため、病原菌がチャンパーから回路側へ運搬されることはないと考えられる(図13)。一方、エアロゾルは病原体と同等の大きさであるため、ガスの流れと共に運ばれる可能性がある<sup>18, 19)</sup>。

■図11 外巻きヒーターワイヤー構造 (IMIより提供)



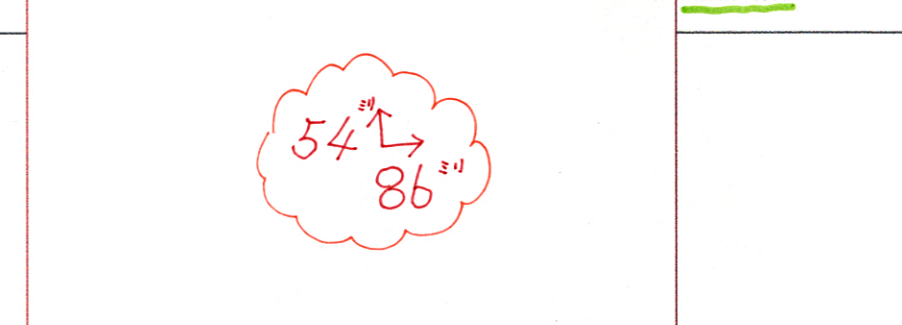
### おわりに

人工呼吸器管理において、簡便性やコスト面から人工鼻が広く使用されている。しかし、Williamsの論文が示す適切な加湿・加湿管理を実現できるのは、加湿加湿器のみである。加湿加湿器を使用して最適な加湿・加湿管理を行うことで、患者に対して安全性と治療効果の向上を期待したい。

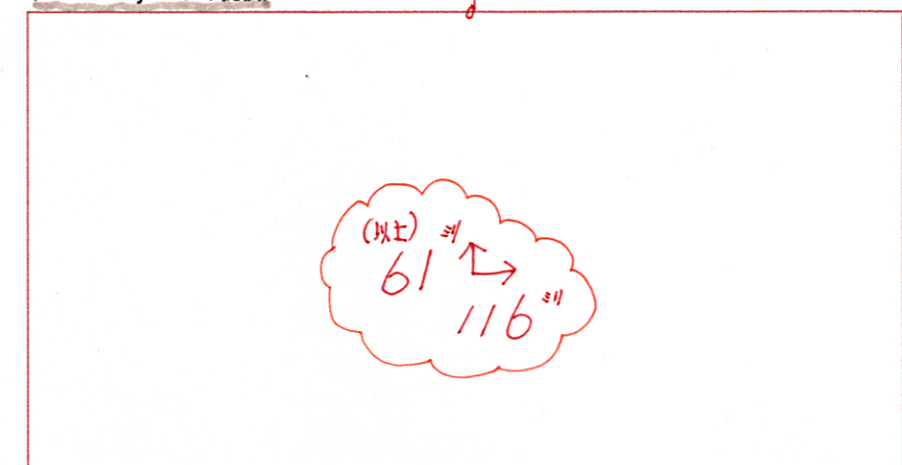
文 献 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

1. Lellouche F, Taille S, Lefrançois F, et al. Humidification Performance of 48 Passive Airway Humidifiers. Chest 2009; 135: 276-86. PMID: 00000000
2. Williams R, Rankin N, Smith T, et al. Relationship between the humidity and temperature of inspired gas and the function of the airway mucosa. Crit Care Med 1996; 24: 1920-9. PMID: 8917046
3. Demers RR, James Maguire J, et al. Heat and Moisture Dynamics of the Human Airway. Jpn J Respir Care 2002; 19: 27-38. PMID: 00000000
4. 大藤 純. 呼吸管理のデバイス 呼吸管理中の加湿加湿デバイス: その原理と使用法. Jpn J Respir Care 2020; 37: 179-86
5. 宮尾 秀樹. 加湿加湿器か人工鼻か? In: 安本和正, 小谷 透. 人工呼吸療法における30の謎. 東京: 克誠堂出版, 2011; 104-10.
6. Ryan SN, et al. Critical Care Medicine, 2002; 3555-361P MID: 00000000
7. Restrepo RD, Walsh BK, et al. Humidification during invasive and noninvasive mechanical ventilation. Respir Care 2012; 57: 782-8. PMID: 00000000
8. Tatkov S, Pack RJ. Symmetrical-Waveform High-Frequency Oscillation Increases Artificial Mucus Flow Without Changing Basal Mucus Transport in In Vitro Ovine Trachea. Respiratory Care 2011; 56: 435-41. PMID: 00000000
9. Ricard JD, Cook D, Griffith L, et al. Physicians' attitude to use heat and moisture

■図12 呼気側回路の透過性特徴



■図13 水蒸気分子サイズ (Fisher&amp;Paykelより提供)



- exchangers or heated humidifiers: a Franco-Canadian survey. Intensive Care Med 2002; 28: 719-25. PMID: 00000000
10. Howatson Tawhai M, Pullan AJ, Hunter PJ. Generation of an anatomically based three-dimensional model of the conducting airways. Ann Biomed Eng 2000; 28: 793-802. PMID: 11016416
  11. The Japanese Journal of Respiratory Care 2002; 19: 3-10. PMID: 00000000
  12. Restrepo RD, Walsh BK. AARC clinical practice guideline. Humidification during invasive and noninvasive mechanical ventilation: 2012. Resp Care 2012; 57: 782-8. PMID: 00000000
  13. F Lellouche, S Taille, SM Maggiore, et al. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 2004; 170: 1073-9. PMID: 00000000
  14. Craven DE, Goularte TA, Make BJ. Contaminated condensate in mechanical ventilator circuits. A risk factor for nosocomial pneumonia? Am Rev Respir Dis. 1984 Apr; 129 (4): 625-8. PMID: 6585160
  15. 梅津昭宏, 坂尾和哉, 田川雅久. 呼吸管理のデバイス: 呼吸器回路 ② 新生児・小児用. Jpn J Respir Care 2022; 39: 49-57
  16. International Journal of Analytical, Experimental and Finite Element Analysis (IJAEFA), Issue. 2, Vol. 4, June 2017. PMID: 00000000
  17. Ricard JD, Cook D, Griffith L, et al. Physicians' attitude to use heat and moisture exchangers or heated humidifiers: a Franco-Canadian survey. Intensive Care Med 2002; 28: 719-25. PMID: 00000000
  18. Goularte TA, Manning M, Craven DE. Bacterial colonization in humidifying cascade reservoirs after 24 and 48 hours of continuous mechanical ventilation. Infect Control 1987; 8: 200-3. PMID: 3647941
  19. Guideline for prevention of nosocomial pneumonia. Centers for Disease Control and Prevention. Respir Care 1994; 39: 1191-236. PMID: 10146141