

◎原 著◎

## タービン搭載型人工呼吸器が人工鼻の性能に与える影響

酒井徳昭<sup>1)</sup>・松村雅史<sup>2)</sup>

キーワード：タービン搭載型人工呼吸器，人工鼻，医療ガス

### 要 旨

タービン搭載型人工呼吸器 (Vela) による送気ガスが成人用人工鼻 (heat and moisture exchanger : HME) の加湿性能と流量抵抗に与える影響について、従来の dry medical gas のみを使用した人工呼吸器 (Servo 900C) との比較検討および室内環境を変化させたときの Vela による送気ガス湿度および温度を測定し、環境変化との相関を調べた。人工鼻は、機械式フィルタ、静電気式フィルタ、フィルタなしの3種類を用いた。加湿性能は、Vela の方が有意 ( $P < 0.001$ ) に高かった。流量抵抗値は、流量 30 および 60L/min とともに Hygrovent S と Climavent S とでは、Vela と比較して Servo 900C の値は、有意 ( $P < 0.05$ ) に低値を示したのに対して、BB100ES では両群間に有意差を認めなかった。Vela の送気ガスは、室内の湿度および温度と非常に高い相関を示した。Vela による送気ガス中の湿度は、dry medical gas のみを使用した人工呼吸器である Servo 900C と比較すると高く、その結果、HME の加湿性能に影響を与えられと考えられる。

### はじめに

昨今、人工鼻 (heat and moisture exchanger : HME) の使用は、気道の加湿、感染リスクの低減<sup>1, 2)</sup> など、人工呼吸管理において必要不可欠なものとなっている。また、その使用は、手術室だけでなく、ICU や病棟においても普及してきた。その種類は、国内だけでも数十種類は販売されており、また、その使用は用途によって使い分けられるまでに至っている。

一方、HME の加湿性能が不十分であることが原因で、気管チューブが閉塞するといった致命的な合併症も数多く報告されている<sup>3~5)</sup>。それにもかかわらず昨今、HME の中には、その用途や性能、評価方法など、添付文書に明確に記載されていないものが見受けられる。それゆえに、臨床家はその選択に混乱させられ、

時折誤った用途のものを選択し、使用してしまうこともあるので注意しなければならない。HME の性能を評価した論文は数多く存在し、なかでも加湿性能を評価した論文は多い<sup>3, 6~7)</sup>。その評価過程で使用される人工呼吸器側の送気ガスは、必ず dry medical gas で実施される。しかしながら、近年、高度化する人工呼吸器の進歩とともに誕生した空気供給源搭載型の人工呼吸器では、空気供給源であるタービンやコンプレッサを人工呼吸器内部に搭載することで、駆動源ガスの1つであった空気を医療用配管からではなく、大気中から駆動用ガスとして人工呼吸器内部に取り込むことが可能となった。そのため、空気を含む送気ガスの湿度と温度は、室内環境や人工呼吸器の設定により変化し、ときに高い湿度を保つこともあると推測される。しかし、空気供給源搭載型人工呼吸器の送気ガス中の湿度や温度について、明確に記載されている論文はない。また、それが HME の加湿性能に与える影響についても不明確である。そこで今回、我々はタービン搭

<sup>1)</sup> 第二岡本総合病院 臨床工学科

<sup>2)</sup> 大阪電気通信大学大学院 医療福祉工学研究科

[受付日：2010年4月9日 採択日：2010年11月22日]

載型人工呼吸器を用いて、送気ガスが成人用 HME の加湿性能と流量抵抗に与える影響について、従来の dry medical gas のみを使用した人工呼吸器と比較検討した。また、室内温度・湿度を変化させたとき、タービン搭載型人工呼吸器における送気ガス中の湿度と温度を測定した。

## I. 材料および方法

人工呼吸器は、Vela (Care Fusion ; 米国) と Servo 900C (SIEMENS ELEMA ; スウェーデン) を使用した。人工鼻は、疎水性機械式フィルタ付き BB100ES (PALL ; 米国) と疎水性静電気式フィルタ付き Hygrovent S (MEDISIZE ; オランダ) およびフィルタなし Climavent S (MEDISIZE) の 3 種類を人工呼吸器別にそれぞれ 2 個ずつ使用した。実験時の回路 (Fig.1) に使用した器具は、全て 3 時間稼働させた後、安定した状態を確認してから校正して使用した。測定器具の校正には時間を要し、また器具の数にも限りがあったため、実験は 2 日に 1 回の間隔で計 12 回をすべて同時刻に行った。実験時の人工呼吸器設定は、volume assist-control mode、1 回換気量 (tidal volume :  $V_T$ ) 500mL、呼吸数 (respiratory rate : RR) 20/min、吸気流量 30L/min、吸気呼気時間比 (inspiratory-expiratory ratio :

I/E ratio) 1 : 1、終末呼気陽圧 (positive end-expiratory pressure : PEEP) 5 cmH<sub>2</sub>O、吸入酸素濃度 (fraction of inspiratory oxygen : F<sub>I</sub>O<sub>2</sub>) 0.21 で行い、設定のガス校正 (body temperature and pressure, dry : BTPD) には、flow analyzer PF-300 (imt medical ; スイス) を使用した。空気配管を必要としないタービン搭載型人工呼吸器である Vela は、実験室内の環境変化により、送気ガス中の湿度も変化すると考えられる。そのため、Vela の送気ガス中の湿度が実験毎に極力変化しないよう、HME 上流の送気ガス湿度の開始基準値は、実験時設定での絶対湿度 (absolute humidity : AH) を MOISCOPE (スカイネット ; 日本) で人工呼吸器別に測定し決定した。模擬肺による呼気ガスは、より生理的な状態を再現するため、HME 直前の温度計で 33.0°C になるように、ヒーターワイヤ付き加温加湿器 MR730 (Fisher & Paykel ; ニュージーランド) を使用し調整した。また、そのときの呼気ガス湿度は、MOISCOPE で測定し、相対湿度 (relative humidity : RH) 100% (AH 35.7mgH<sub>2</sub>O/L) になるように調整した<sup>8)</sup>。実験室内の湿度および温度は、MOISCOPE とテルモファイナー CTM-303 (TERUMO ; 日本) で測定した。

加湿性能評価は、呼気時の  $V_T$  を正確に測定し、回路内に一方向弁を組込むことで、人工呼吸器による送

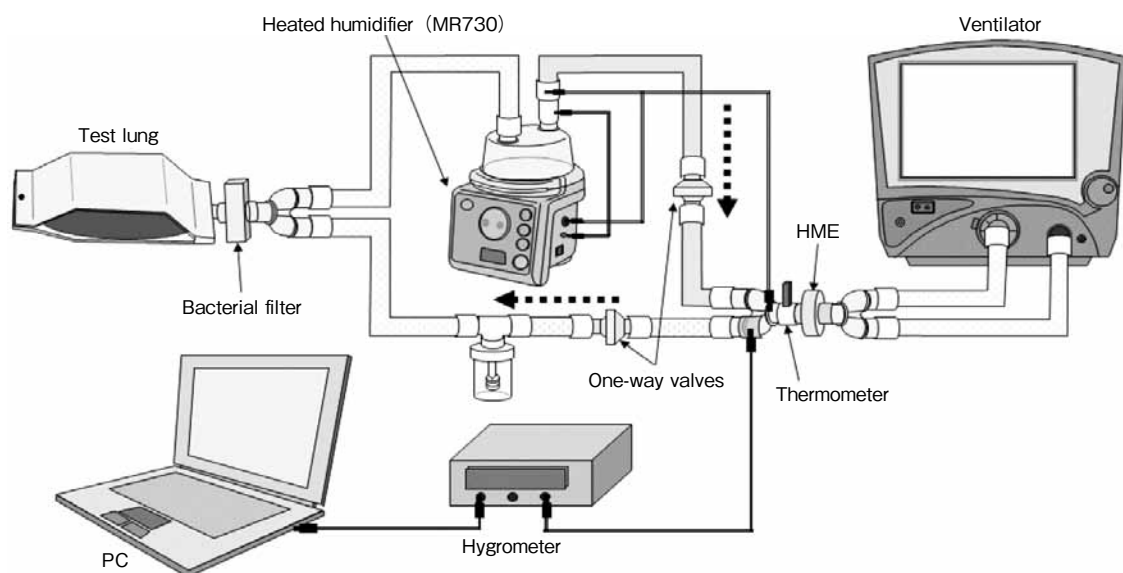


Figure 1 Hygrometric bench test apparatus used to measure the humidification performances of heat and moisture exchangers (HMEs).

MR730 : Airway temperature of 33.0°C at the distal end with a heater wire and chamber control of 0°C.

PC : personal computer for data acquisition.

気ガスと模擬肺による呼気ガスを区別し、人工呼吸器による送気時にHMEより下流ガスのAH、RH、温度をMOISCOPEにより5秒間隔で24時間連続測定した。また、その結果は、全てA/D変換した後、Microsoft Excelに取り込み記録した。

HMEの流量抵抗値の測定は、測定用回路に30または60L/minのdry medical gasを流し、flow analyzer PF-300にて流量値が安定したことを確認した後、大気圧との0点補正を行った。続いて、その流量を保持した状態で、加湿性能評価後のHME(24時間後)を測定用回路に装着し、30および60L/minの連続流で生じる圧力をflow analyzer PF-300にて測定した(Fig.2)。

Velaの送気ガス湿度および温度と室内環境変化との関係については、室内の湿度および温度を無作為に変化させ、そのときのVelaの送気出口直後にMOISCOPEを装着し、ガス中の湿度および温度を測定した。

結果はすべてmean±SDで示し、群間の比較は対応のないStudent's t testおよびMann-Whitney testで行い、P<0.05をもって有意差ありとした。相関はPearson積率相関で行った。

## Ⅱ. 結 果

実験室内の室温およびRHは、室温26.2~27.2℃(26.6±0.3℃)、RH 43.8±2.2%であった。また、HME上流のAHの開始基準値は、Servo 900CではAH<1.0mgH<sub>2</sub>O/L、VelaではAH 11.0±0.68mgH<sub>2</sub>O/Lであった。

加湿性能は、Vela(AH:Hygrovent S:33.4±0.5mgH<sub>2</sub>O/

L、Climavent S:33.1±0.3mgH<sub>2</sub>O/L、BB100ES:30.7±0.4mgH<sub>2</sub>O/L)とServo 900C(AH:Hygrovent S:33.1±0.4mgH<sub>2</sub>O/L、Climavent S:32.4±0.2mgH<sub>2</sub>O/L、BB100ES:29.7±0.2mgH<sub>2</sub>O/L)とでは、すべてにおいてAHの値はVelaで有意(P<0.001)に高かった(Fig.3)。また、HMEの種類別にAHの値を比較してみると、Hygrovent S、Climavent S、BB100ESの順にその影響は大きく、一番影響の大きかったBB100ESの人工呼吸器間でのAH値の差は、最大で1.0±0.4mgH<sub>2</sub>O/Lであった。さらに、そのときの温度差もAHと同様、Hygrovent Sで最も影響が低く(0.2±0.1℃)、続いてClimavent S(0.4±0.1℃)、最も影響を受けたのが、BB100ES(0.6±0.2℃)であった。

流量抵抗値は、人工呼吸器別に比較すると、流量30および60L/minともにHygrovent SとClimavent Sでは、Velaと比較してServo 900Cの値は有意(P<0.05)に低値を示したのに対して、BB100ESは両群間に有意差を認めなかった。次にHME種別に流量抵抗値を比較すると、流量30および60L/minともにHygrovent Sの値が最も高く、続いてClimavent S、BB100ESの順に値は低かった(Fig.4)。

Velaの送気ガス湿度および温度と室内環境との関係は、RH(r=0.966)、AH(r=0.984)、温度(r=0.991)すべてに大変強い相関を示した(Fig.5)。

今回の結果およびメーカーが提示しているカタログの値をTable 1に示す。

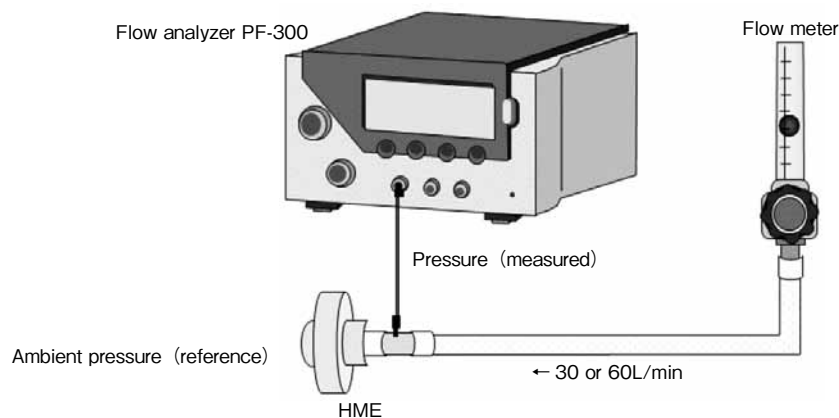


Figure 2 The method of measurement for flow-resistance, ie, pressure gradient across the HME at 30 or 60 lpm.

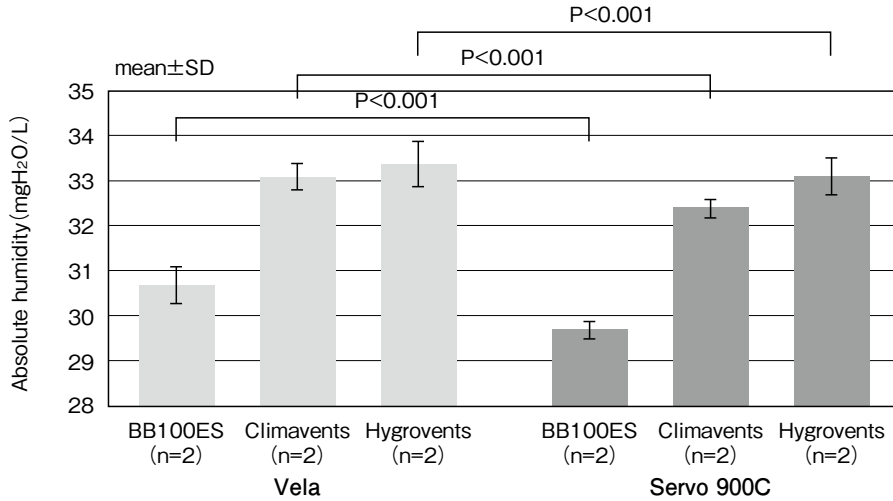
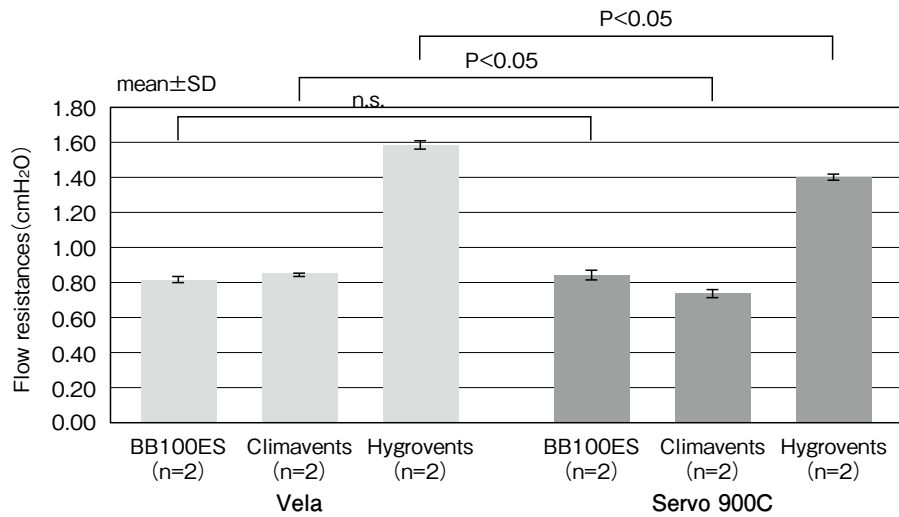


Figure 3 Comparison of the absolute humidity in each heat and moisture exchanger.

Flow resistance measured at 30L/min

n.s. : not significant



Flow resistance measured at 60L/min

n.s. : not significant

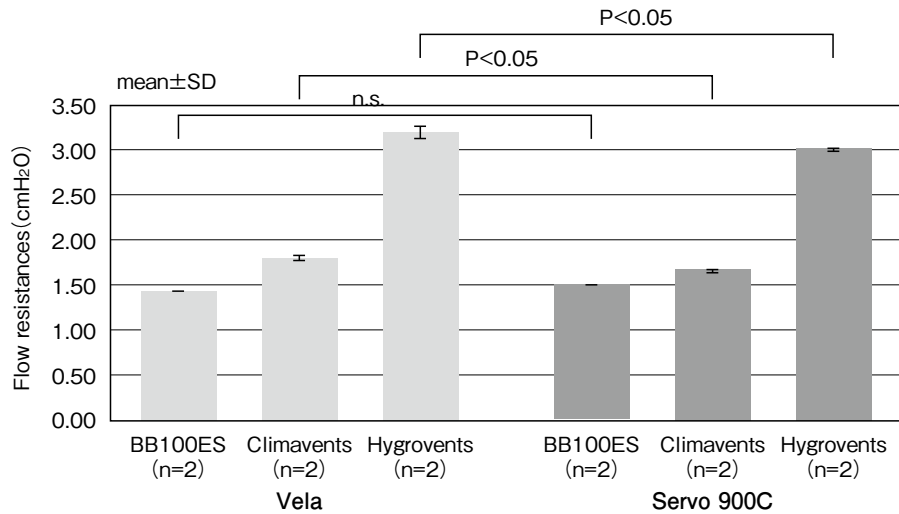


Figure 4 Comparison of flow resistance in each heat and moisture exchanger after 24 hours of humidification with the two ventilators of Vela and Servo 900C.

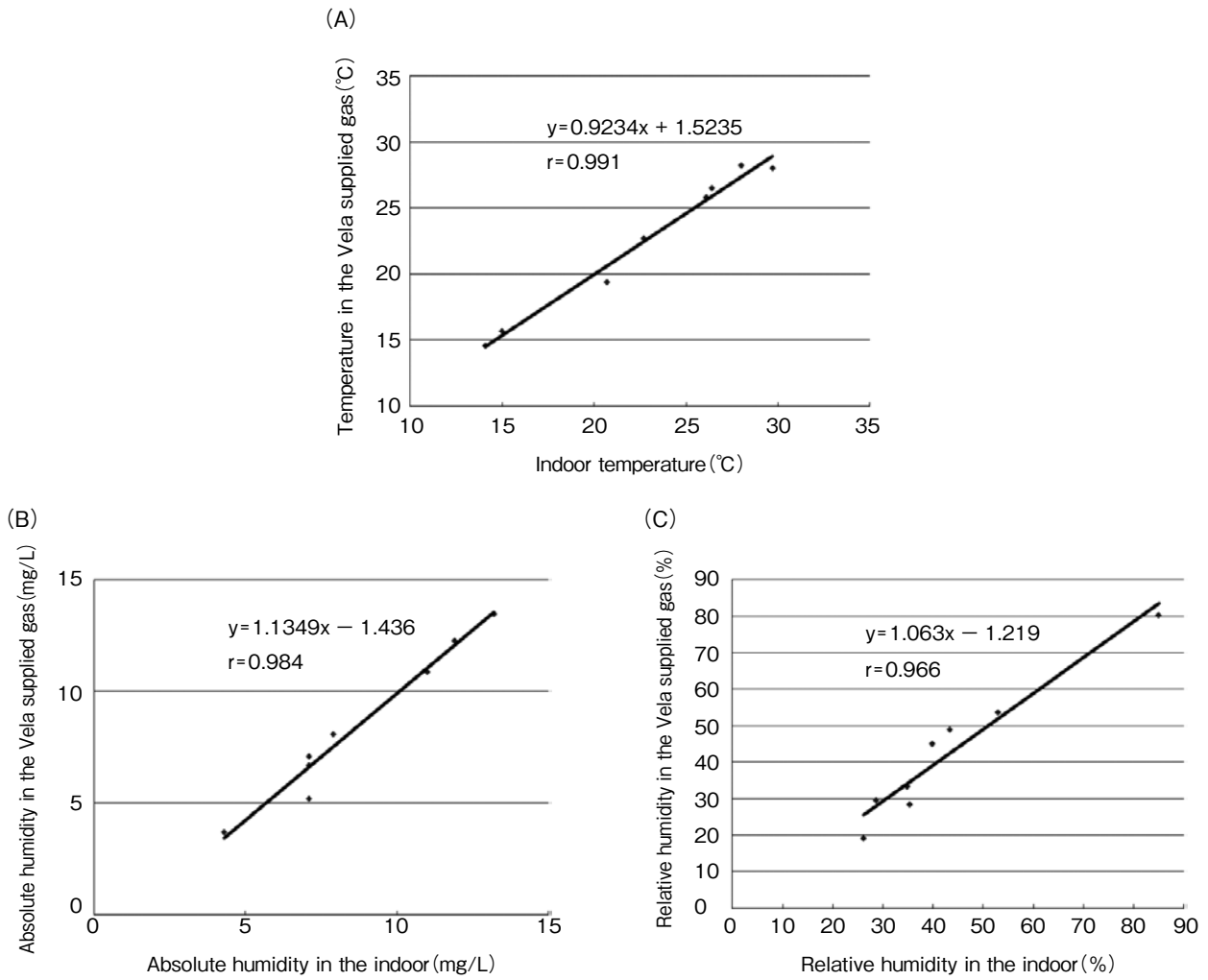


Figure 5 Relationship between ambient and Vela-supplied gases for temperature (A) and humidity (B, C).

Table 1 Measured values obtained using the bench test apparatus for all devices and manufacturer measured values.

	Vela			Servo 900C		
	Hygrovent S (n=2)	Climavent S (n=2)	BB100ES (n=2)	Hygrovent S (n=2)	Climavent S (n=2)	BB100ES (n=2)
temperature (°C)	31.8	31.6	30.2	31.6	31.2	29.6
RH values (%)	100	100	100	100	100	100
AH (mgH <sub>2</sub> O/L)	33.4 ± 0.5	33.1 ± 0.3	30.7 ± 0.4	33.1 ± 0.4	32.4 ± 0.2	29.7 ± 0.2
resistances at 30L/min (cmH <sub>2</sub> O)	1.59 ± 0.02	0.85 ± 0.01	0.82 ± 0.01	1.41 ± 0.03	0.74 ± 0.02	0.85 ± 0.01
resistances at 60L/min (cmH <sub>2</sub> O)	3.26 ± 0.06	1.83 ± 0.02	1.44 ± 0.01	3.01 ± 0.01	1.66 ± 0.01	1.49 ± 0.01
		Hygrovent S	Climavent S	BB100ES		
manufacturer measured AH (mgH <sub>2</sub> O/L)		33.0	32.0	30.6		
manufacturer measured resistances at 30L/min (cmH <sub>2</sub> O)		0.8	—	—		
manufacturer measured resistances at 60L/min (cmH <sub>2</sub> O)		1.6	0.8	2.0		

### Ⅲ. 考 察

今回我々は、タービン搭載型人工呼吸器がHMEに与える加湿性能変化について、検討を行った。その目的は、人工呼吸器による送気ガスは必ず乾燥しているのではなく、室内環境変化によって温度や湿度は変化することを理解するとともに、その状態がHMEに与える影響を調べることである。

本研究の結果から、タービン搭載型人工呼吸器であるVelaは、Servo 900Cに比べ送気ガスに含まれる湿度が高く、HMEの加湿性能向上の一助を担うと考えられる。すなわち、今回の実験では、模擬肺による呼気ガスをHME直前の温度で33.0℃、RH 100%になるように調整したにもかかわらず、VelaとServo 900Cの間で吸気時のAHに差が認められた。Velaの送気ガス中の湿度が実験毎に極力変化しないよう調整したために、HME上流のAHの開始値は、 $AH < 1.0 \text{mgH}_2\text{O/L}$  (Servo 900C)、 $AH 11.0 \pm 0.68 \text{mgH}_2\text{O/L}$  (Vela)であり、その差はおよそ $11.0 \text{mgH}_2\text{O/L}$ であった。しかし、結果からHMEを介した下流のガスでは、その差が最大でも $1.0 \pm 0.4 \text{mgH}_2\text{O/L}$ であることから、HME上流の送気ガス湿度のすべてがHME下流ガスに反映されるわけではないことが分かる。一方、Velaの送気ガス湿度および温度と室内環境変化との間には大変強い相関があり、これはVelaの送気ガス湿度は外気湿度に左右され、場合によっては高い値を示す可能性を示唆している。そうなると、HME下流ガスに与える影響も大きくなると推測できる。しかし、本研究では、Velaの送気ガス温度、湿度、 $F_{\text{I}O_2}$ については、一定にして行っており、その変動による評価までは行っていない。本研究を行うにあたっての一番大きな問題点は、外気の影響を極力受けたいための配慮であった。なぜなら、外気の影響を受けてしまうと、Velaの送気ガス湿度および温度が変化してしまい、正確な評価ができないからである。そのため、実験室内は、内側を断熱板で遮断し、研究者の出入りをも必要最低限に抑えることで、外気による影響を最小限に抑えた。しかしながら、それでも室温および湿度を一定に保つことは、非常に困難を要した。このことから、温度を変化させたくえで、湿度の値を一定に調整することは、さらなる困難を要すると考えられる。それゆえ、本研究では、送気ガス湿度および温度の変化に対する実験

は行っていない。

次に、流量抵抗値を人工呼吸器別に比較した結果では、HMEの材質膜に親水性膜を用いているClimavent Sとそれに疎水性静電気式フィルタを加えたHygrovent Sでは、ともにAHが上昇するにつれVelaの方が高くなっているのに対して、機械式フィルタのBB100ESでは、AHの上昇による影響を受けにくかった。これは、親水性膜および疎水性静電気式フィルタは疎水性機械式フィルタと比較し、加湿性能はよいが、流量抵抗値は高くなるといったHMEに使用されている材質本来の特性であり<sup>9)</sup>、これは周知通りの結果になったと考えられる。しかしながら、この結果は、メーカーが提示するカタログの値とは異なっており、特にHygrovent SおよびClimavent Sにおいては、大幅に抵抗値が高かった。この背景として、今回我々が測定したHMEの流量抵抗値は、24時間にわたり加温加湿を行った後のHMEのものである。しかし、メーカーが提供するHMEの流量抵抗値は、抵抗測定時の流速は記載されていることはあっても、その測定方法までは明確に記載されておらず、おそらく乾燥した状態のHME（未使用）を使用した流量抵抗値を記載しているのだと思われる。

現在、HMEの性能基準値には、一定の見解がない<sup>10)</sup>。また、性能を評価する際の測定方法も統一されていない。Lelloucheらによる大規模なHMEの性能研究によると、国際的スタンダードとされているISO 9360:2000 (gravimetric method: Water Loss 試験法)に従って評価値を記載している業者は55%であったとしている。また、同じHMEでも、測定方法が異なると、値も異なるとされている<sup>3)</sup>。それゆえに、メーカーが提示するHMEの性能評価値を業者間で厳密に比較する際には、測定方法を統一する必要がある。しかしながら、業者が提供する性能評価表には、測定方法が記載されていないことがある。今回、我々が入手し得た範囲では、測定方法が記載されていたのは、18種中の7種(39%)であった。

### 結 語

本研究より、タービン搭載型人工呼吸器であるVelaは、従来のdry medical gasのみを使用した人工呼吸器と比較すると、送気ガス中の湿度は高く、HMEの加湿性能に影響を与えることが示唆された。また、こ

のような人工呼吸器では、送気ガス中の湿度のため、使用中のHME抵抗値はカタログ表示値よりも高くなる可能性も示唆された。

#### 参考文献

- 1) 有島拓郎：細菌除去フィルタ付人工鼻のウイルス除去性能の検討. ICUとCCU. 1993；17：581-586.
- 2) Boots RJ：Clinical utility of hygroscopic heat and moisture exchangers in intensive care patients. Crit Care Med. 1997；25：1707-1720.
- 3) Lellouche F, Taillé S, Lefrançois F, et al：Humidification performance of 48 passive airway humidifiers. Comparison with manufacturer data. Chest. 2009；135：276-286.
- 4) Villafane MC, Cinnella G, Lofaso F, et al：Gradual reduction of endotracheal tube diameter during mechanical ventilation via different humidification devices. Anesthesiology. 1996；85：1341-1349.
- 5) Roustan JP, Kienlen J, Aubas P, et al：Comparison of hydrophobic heat and moisture exchanger with heated humidifier during prolonged mechanical ventilation. Intensive Care Med. 1992；18：97-100.
- 6) Branson R, Davis J：Evaluation of 21 passive humidifiers according to the ISO 9360 standard, moisture output, dead space, and flow resistance. Respir Care. 1996；41：736-743.
- 7) Vanderbroucke-Grauls CM, Teeuw KB, Ballemans K, et al：Bacterial and viral removal efficiency, heat and moisture exchange properties of four filtration devices. J Hosp Infect. 1995；29：45-56.
- 8) Lellouche F, Qader S, Taillé S, et al：Under-humidification and over-humidification during moderate induced hypothermia with usual devices. Intensive Care Med. 2006；32：1014-1021.
- 9) Dellamonica J, Boisseau N, Goubaux B, et al：Comparison of manufacturer specifications for 44 types of heat and moisture exchanging filters. Br J Anaesth. 2004；93：532-539.
- 10) 宮尾秀樹, 宮川 響, 高田稔和ほか：人工呼吸中の適切な加温加湿. 人工呼吸. 2001；19：3-11.

### Effects of ventilator with turbines on the heat and moisture exchanger function

Noriaki SAKAI<sup>1)</sup>, Masafumi MATSUMURA<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Clinical Engineering, Daini Okamoto General Hospital

<sup>2)</sup> Graduate School of Bio Medical Engineering, Osaka Electro-Communication University

Corresponding author：Noriaki SAKAI

Department of Clinical Engineering, Daini Okamoto General Hospital  
54-14, Shinmei-ishiduka, Uji, Kyoto, 611-0025, Japan

Key words：heat and moisture exchanger (HME), ventilator with a turbine, dry medical gas

We studied the effects of gas supplied from a ventilator with a turbine (Vela) on the humidification performance and flow resistance of an adult heat and moisture exchanger (HME) compared with a conventional ventilator using only dry medical gas (Servo 900C), and we also investigated the differences in humidity and temperature in the Vela-supplied gas when the indoor environment was changed. The humidification performance of HMEs with the Vela was significantly ( $P<0.001$ ) higher than that with the Servo 900C. As for the flow resistance, Hygrovent S and Climavent S showed significantly ( $P<0.05$ ) low for Servo 900C compared to Vela with flow rates of 30 and 60L/min, whereas BB100ES showed no significant difference between the groups. Humidity and temperature in the Vela-supplied gas exhibited an extremely high correlation with the room temperature and humidity.