

技術報告

PCPS の新たな結露対策について

安野 誠・戸田久美子・前田 恒・中嶋 勉・花田琢磨

要 旨

PCPS 管理中は結露対策が必要である。送気したガスは人工肺により相対湿度が 0%→99%となり、人工肺を通過する間に気化熱や結露による水分、室温により冷却され、中空糸内に結露が発生する。そのために人工肺において肺内シャントが発生し、ガス交換能が低下する。今回、泉工医科社製膜型人工肺メラエクセラン HPO-25 を使用し、10 時間以上の PCPS を行った 4 症例に結露対策の比較検討を行った。人工肺 GAS 排出口の温度 (T)、絶対湿度 (AH)、相対湿度 (RH) を PCPS 開始後 10 時間でモイスコープ THM-100 にて計測した。①対策なしでは $T = 25.3 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 、 $AH = 23.4 \pm 0.5\text{mg/L}$ 、 $RH = 99.9 \pm 0.1\%$ 。②加温加湿器で供給ガスを 38°C に加温した場合は $T = 29.6 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 、 $AH = 29.1 \pm 0.8\text{mg/L}$ 、 $RH = 97.9 \pm 0.3\%$ 。③ PCPS 全体をビニール袋で被い 43°C の温風を送気し、エアータント状態とした場合は $T = 36 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、 $AH = 42 \pm 0.2\text{mg/L}$ 、 $RH = 99.8 \pm 0.1\%$ 。④人工肺ガス排出口に向けて 43°C の温風を送気した場合は $T = 37.1 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、 $AH = 16.5 \pm 0.2\text{mg/L}$ 、 $RH = 38.1 \pm 0.2\%$ であった。温風を送気することにより温度差をなくし、換気を行うことで相対湿度を低く保ち人工肺の結露を防ぐことができたと考えられる。

索引用語：結露、相対湿度、絶対湿度、温度差、換気

About new dewfall measures of PCPS

Makoto Anno, Kumiko Toda, Kou Maeda, Tsutomu Nakajima, Takuma Hanada

Key words : dewfall, relative humidity, absolutely humidity, temperatures fluctuate, ventilation

I. 緒 言

水分を含んだ空気が冷やされた際の温度差によって、気体が抱えきれなくなった水分が結露となって現れる。結露は湿度に関係なく発生し、夏季のように湿度が高い時期でも寒暖差がなければ結露は発生しない。一方で冬季のように湿度が低く乾燥した時期でも、寒暖差があれば結露は発生する。このように結露が発生する要因の一つは温度差である。もう一つは換気である。部屋のように囲まれた空間では中央部に比べ隅には気流が少なく滞留し、換気不足により結露が発生しやすい。温度差と換気不足は人工肺内部においても発生しているために結露が生まれている。結露の元の

湿度は血液と人工肺が接して蒸発しているため湿度をゼロにすることは不可能である。

経皮的心肺補助法 (以下、PCPS) においては、膜型人工肺の中を灌流する血液温度によって送気ガスは一旦温められるが、ガス排出口に近づくにつれて、膜型人工肺内部で生まれる気化熱、結露自体と室温によって冷却され、その温度差によって更に結露が生まれている。

結露が発生する場所は、使用している膜型人工肺の中空糸内であり、送気ガスの通過をブロックするように存在している (図 1)。結露により膜型人工肺の中に肺内シャントが発生し、有効なガス交換面積が減少しガス交換能が低下する。特に PO_2 の変化が著明に現れる。

これまで PCPS 管理中の結露対策としては、定期的なガスフラッシュ、自動フラッシュ装置の考案^{1,2)}、開発や人工呼吸器加温加湿器などによる送気ガスの加温³⁾、などが行われてきた。製品としてはテルモ社製 PCPS システム (エマセブ)^{4,5)} がある。今回、我々は臨床症例においてこれまでの結露対策の調査と新たに考案した結露対策法の調査を行ったので報告する。

©群馬県立心臓血管センター 技術部 臨床工学課

安野 誠 (Makoto Anno)

〒 371-0004 群馬県前橋市亀泉町甲 3-12

Department of Clinical Engineering, Gunma Prefectural Cardiovascular Center

3-12, Kameizumi-machi, Maebashi, Gunma, 371-0004, Japan

[原稿受領日：2009 年 10 月 10 日 採択日：2010 年 9 月 22 日]

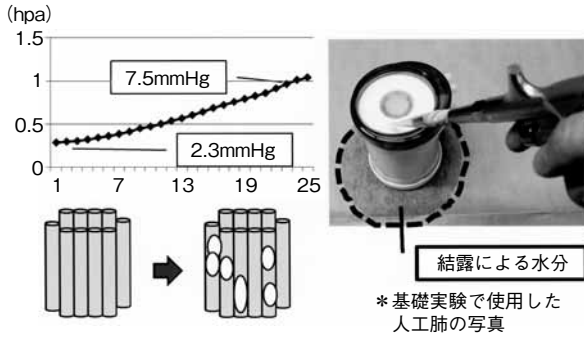


図1 人工肺中空糸内の結露

II. 対象および方法

1. 対象

2008年9月～2009年7月に泉工医科社製膜型人工肺メラエクセラン HPO-25 を使用し、10時間以上 PCPS を行った4症例とした(表1)。

2. 方法

方法はPCPS開始後10時間での人工肺 GAS 排出口の温度(以下、T)、絶対湿度(以下、AH)、相対湿度(以下、RH)を泉工医科社製モイスコープ THM-100 で計測した(図2)。この間の結露対策はテルモ社製 CDI500 で PO₂ が 150mmHg を下回ったときに 10L/min のガスフラッシュを2分程度行い、PO₂ が上昇したことを確認してガス流量を元の設定に戻した。

計測する4症例の10時間時の平均血流量は 2.9 ± 0.8L/min、平均ガス流量は 2.4 ± 1.1L/min で、計測はそれぞれの設定に変更がない安定した状態で行った。

集中治療室の環境は T=25.1 ± 0.2℃、AH=13 ± 0.2mg/L、RH=55.4 ± 0.5% であった。医療配管からの供給ガスは、T=25.3 ± 0.3℃、AH=0.1mg/L、RH=0% であった。

PCPS 開始後10時間での結露対策の方法は、①対策なし。②人工呼吸器用加温加湿器(Fisher & Paykel MR730)で供給ガスを38℃に加温した。③人工肺への供給ガスは加温せず、PCPS 全体をビニール袋で被いエアパッド特定加温装置システム Bio-Medicine 社製 Bair Hugger Model 505 で43℃設定の温風を送気し、エア Tent 状態とし人工肺全体を加温した(ビニール袋内の環境:T=36.1 ± 0.2℃、AH=10.2 ± 0.2mg/L、RH=24.2 ± 0.2%) (図3)。④供給ガスは加温せず、人工肺ガス排出口に向けて Bair Hugger で43℃設定(計測 T=40 ± 0.2℃、AH=6.7 ± 0.2mg/L、RH=14.1 ± 0.2%)の温風を送気した(図4)。計測の順番は①→④とし、1つの計測が終了してからモイスコープ THM-100 の値が①の対策なしと同じ計測値になったことを確認した上で次の計測を行った。

計測後の結露対策は、PCPS が終了するまで④の温風の送気による方法を行った。

表1 症例

症例	疾患名	術式	年齢	性別	BSA	施行時間	血液流量	Flow Index	ガス流量
A	心不全	左室形成	73	M	16.4	147.8	3.1	1.9	2
B	DAA	上行血管 AVR、CABG	77	F	1.29	16	3.4	2.6	3.5
C	DCM		39	M	1.83	575.8	3.3	1.8	3
D	心不全	CABG	62	F	1.3	16.8	1.6	1.3	1
平均			62.8		1.51	189.1	2.9	1.9	2.4
SD			17.1		0.28	265.1	0.8	0.6	1.1



図2 モイスコープ THM-100



図3 加温装置 Bair Hugger

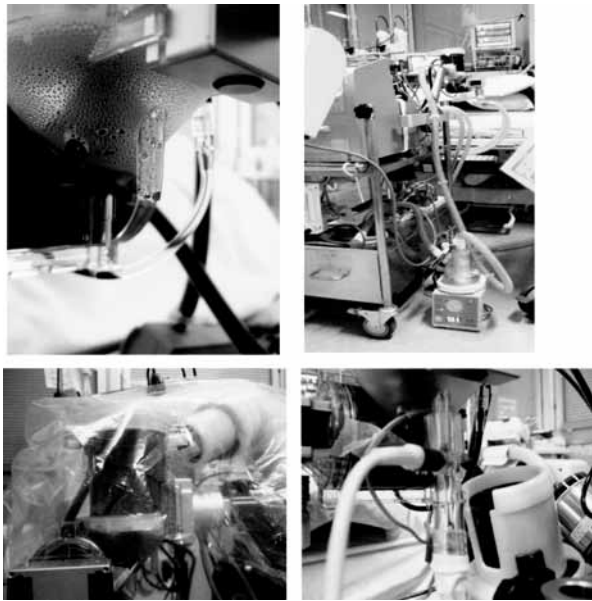


図4 結露対策の方法

Ⅲ. 結 果

今回の4症例では、PCPS開始後から計測する10時間までの結露対策でガスフラッシュを必要とする事はなかった。測定結果は、① T=25.3±0.4℃、AH=23.4±0.5mg/L、RH=99.9±0.1%、② T=29.6±0.4℃、AH=29.1±0.8mg/L、RH=97.9±0.3%、③ T=36.0±0.3℃、AH=42.0±0.2mg/L、RH=99.8±0.1%、④ T=37.1±0.2℃、AH=16.5±0.2mg/L、RH=38.1±0.2%であった(表2)。

計測後、PCPSを停止するまでの結露対策は④の温風を送気する方法で管理した。CDI500によるモニタリングやガス分析装置(ラジオメータ社製ABL715)の計測においてもPO₂の低下は認めず、送気ガスの酸素濃度を100%で使用することもなく、ガス交換能は安定していた(表3)。また今回の症例のPCPS平均時間は189±265.1時間で人工肺の交換は必要なかった。使用后、人工肺を解体し、人工肺の中空糸をエアガンでフラッシュしたところ、結露による水滴が確認できたのはいずれも10滴程度であった。そのため水分量などの評価には至らなかった。

Ⅳ. 考 察

1. 結露対策の方法について

今回、人工呼吸器の加温加湿状態を測ることに用いるモイスコープTHM-100を使用し、PCPSが行われている環境やシステム内の計測を行った。

①のようにPCPS中の人工肺に結露対策を行わない場合は、送気ガスは人工肺の中空糸を通過する間にRHが0→99.9%に加湿されている。送気ガスは血液により加温を受ける。その後気化熱、結露による水、

表2 結露対策の結果

	項目	A	B	C	D	平均
①対策なし	Temp(℃)	24.7	25.5	25.7	25.3	25.3±0.4
	AH(mg/L)	22.7	23.7	23.9	23.4	23.4±0.5
	RH(%)	99.9	99.7	100	99.8	99.9±0.1
②加温加湿器	Temp	29.8	29.8	29	29.6	29.6±0.4
	AH	29.6	29.7	28	29	29.1±0.8
	RH	97.4	98	98	98	97.9±0.3
③エアータント	Temp	36.3	35.9	36	35.7	36.0±0.3
	AH	42.2	41.7	42	42	42.0±0.2
	RH	99.7	99.6	99.9	99.8	99.8±0.1
④ブロー	Temp	37.1	37.3	36.8	37.2	37.1±0.2
	AH	16.8	16.5	16.3	16.4	16.5±0.2
	RH	38.1	38.2	37.8	38.2	38.1±0.2

表3 症例毎の酸素化

症例	年齢	性別	BSA	施行時間	血液流量 (Min/Max)	酸素濃度 (Min/Max)	PO ₂ (Min/Max)
A	73	M	1.64	147.8	1.8/3.5	60/90	210/360
B	77	F	1.29	16	2.5/3.5	60	340/360
C	39	M	1.83	575.8	2.6/3.3	80/90	310/400
D	62	F	1.3	16.8	1.5/2.3	70	300/370

外部環境により送気ガスの温度は低下し、温度差が生じる。これに伴ってAHが低下するために人工肺の中空糸内部に結露が発生すると推測される。

②のように送気ガスを加温加湿器により38℃に加温する方法は、送気ガスの絶対湿度を上昇させる。しかし送気ガスの温度は中空糸の中を移動する間に気化熱、結露による水、室温により低下、AHも低下することにより結露が発生すると推測する。

③ではBair Huggerを使用し、エアータント内を36℃に維持でき、断熱材としての効果があったので温度差が生じなかった。ガス排出口の温度も低下させることがなかった。またビニール袋内の湿度はAH=10mg/L、RH=24%と乾燥した状態が可能であった。しかしガス排出口付近の湿度を低下させることに至らなかったのはガス排出口付近の換気不足だと考える。

④のようにBair Huggerを使用し、43℃に設定した場合では40℃、AH=6.7mg/L、RH=14%の温風を送気することができた。人工肺ガス排出口付近の加温による温度差の防止と換気により湿度を低下させたことで中空糸内の結露の防止ができたと考えられる。

これまでに行ってきた送気ガスのフラッシュは結露対策として十分な効果がある¹⁾が、結露が発生する段階でのpO₂の低下、pCO₂の上昇などガス交換の不安定な時間の発生、フラッシュの操作を行うことによるインシデントの発生などは避けられない。また岩田ら⁶⁾の人工肺のガス出口付近を加温する方法は温

度差防止を行っている。この方法だけではガス OUT 部の RH が 100% であり、結露は対策なしに比較しても 1/2 に減量するまでであった。今回行った④のように、温度差の防止とともに温風の送気を行うことで RH、AH ともに低下でき、中空糸内に発生した結露は計測できないほどに減量できた。

温風を送気する方法は、これまでの方法のように専用機の購入の必要がなく、手術室内で日常的に使用されている装置を設置し、温度設定をするのみで開始でき、時間毎の操作も必要なく手間がかからないことが利点である。

2. 今後の検討について

結露対策の最も大切なことは温度差の防止である。今回 43℃ 設定の送気を行っているが、血液温度と同じ温度で送気すれば温度差はなく、結露防止になると考える。また集中治療室内では RH が 50% と低いため、露点温度は 14℃ である。集中治療室内の環境の空気を送気することでも結露防止の可能性があると考える。今後は送気する温度の検討も必要である。

結露の防止のもう一つが換気である。人工肺のガス排出ポートの形状により換気効率が異なると考えられるので、異なる人工肺での検討も必要と考える。

V. 結 語

人工肺ガス排出口の付近に温風を送気する方法は温度差をなくし、換気により湿度を低く保つことで、人工肺中空糸内の結露を防ぐことができたと考える。

●参考文献

- 1) 中村淳史, 若松禎人, 小原大輔, ほか: 人工肺用ガスフラッシュ装置の試作と安全性について. 体外循環技術, 34 (2): 124-127, 2007.
- 2) 倉島直樹, 竹田博行: PCPS 施行時における自動酸素フラッシュ装置の試作. 体外循環技術, 27 (2): 13-15, 2000.
- 3) 山村晃生, 渡辺正純, 吉田拓司, ほか: PCPS の長期使用における、人工肺結露による酸素化能低下防止策の一考案. 体外循環技術, 32 (1): 50-52, 2005.
- 4) 松田 暉 監: 経皮的心肺補助法 PCPS の最前線. 第 2 版. 東京, 秀潤社. 2008. p.39-47.
- 5) 村上厚文, 森保幸治, 村田 升, ほか: 膜型人工肺の実験的検討. 人工臓器, 20 (3): 1166-1171, 1991.
- 6) 岩田浩一, 阿部敬二郎, 宇都宮精二郎: PCPS 人工肺のウェットラングの検討. 体外循環技術, 31 (4): 417-419, 2004.

[本論文は第 35 回日本体外循環技術医学会大会にて報告した]