

技術報告

冷温水槽の排気温風を用いたウエットラング対策の有用性

溝口貴之¹⁾・荒倉真風¹⁾・小田款文¹⁾・本多俊治¹⁾
中嶋辰徳¹⁾・安田則久²⁾・日高正剛²⁾・後藤孝治²⁾

要 旨

Respiratory ECMO (extracorporeal membrane oxygenation) 施行時、ウエットラングによりガス交換面積が減少し、ガス交換能が低下することがある。当院では体温コントロールに用いる冷温水槽の排気が40℃以上の温風であることに着目して、排気温風を利用し人工肺全体を加温するウエットラング対策を考案し、今回その有用性を検討した。実験には同一仕様のECMO回路を作製し、室温25℃にて、吹送ガスを3L/min、37℃の水道水を3L/minで循環させた。回路①は排気温風を人工肺に導き、更に人工肺周囲をビニールで覆いウエットラング対策とした。回路②は本対策をせずに循環させた。それぞれのガス出口部温度、ガス入口圧を48時間測定し、終了後に結露の観察を行った。ガス出口部温度は、回路①は45℃、回路②は26℃程度であった。ガス入口圧は、回路①は48時間で1mmHgの上昇、回路②では11mmHgの上昇であった。48時間後の結露は、回路①では目視では認めず、回路②では結露を認めた。回路①ではガス出口部温度が45℃と血液温より高く、人工肺内を通過する際にガスが冷えることなく排出されるため結露の発生が抑えられたと考える。これらから、冷温水槽の排気温風を利用したウエットラング対策の有用性が示唆された。

索引用語 : ECMO、人工肺、ウエットラング、ガス入口圧、有効ガス交換面積

Wetlung is effectively controlled with an exhaust of Heater-Cooler Unit

Takayuki Mizoguchi¹⁾, Masanagi Arakura¹⁾, Yoshifumi Oda¹⁾, Toshiharu Honda¹⁾, Tatsunori Nakashima¹⁾,
Noriyoshi Yasuda²⁾, Seigo Hidaka²⁾, Koji Goto²⁾

Key words : extracorporeal membrane oxygenation, oxygenator, wet lung state, gas inlet pressure, effective membrane area

I. 緒 言

2009年のCESAR trialやHINIパンデミック^{1,2)}などにより、本邦でも積極的にrespiratory ECMO (extracorporeal membrane oxygenation) が用いられるようになってきた。ECMOは長期化することが多いため長期使用可能なツールを選択すべきである³⁾。人工肺に関しても、血漿リークを防止するため非対称膜や複合膜が用いられている^{4,5)}。しかし、人工肺自体にはウエットラングを防止する機能はなく、徐々にウエットラ

ングによりガス交換面積が減少し、ガス交換能が低下することは避けられない。そのため、人工肺のガス出口部や人工肺全体を加温することでウエットラングの発生を抑える方法^{6,7)}、またはウエットラングにより減少したガス交換面積をガスフラッシュにより改善を図る方法^{8,9)}など、施設ごとにさまざまな対策を行い、ウエットラングの影響を抑える工夫をしているのが現状である。

我々は、ECMO中の体温コントロールに用いる冷温水槽(泉工医科工業社製HHC-51)の排気口から排出される排気が40℃以上の温風であることに着目した(図1)。その排気を人工肺に導き、更に人工肺周囲をビニールで覆うことで人工肺全体が加温される。これによりウエットラングの発生を抑えることを目指した。しかし、冷温水槽はECMO台車に搭載しており延長コードなどの障害物があること、排気口から人工肺まで距離が遠いため排気温風が冷えることの2つの原因により人

1) 大分大学医学部附属病院 医療技術部 臨床工学・歯科部門
溝口貴之 (Takayuki Mizoguchi)
〒879-5593 大分県由布市挾間町医大ヶ丘1-1
Department of Clinical Engineering, Oita University Hospital
1-1, Idaigaoka, Hasama-machi, Yufu, Oita, 879-5593, Japan
2) 同 集中治療部

[原稿受領日: 2016年4月14日 採択日: 2016年5月17日]

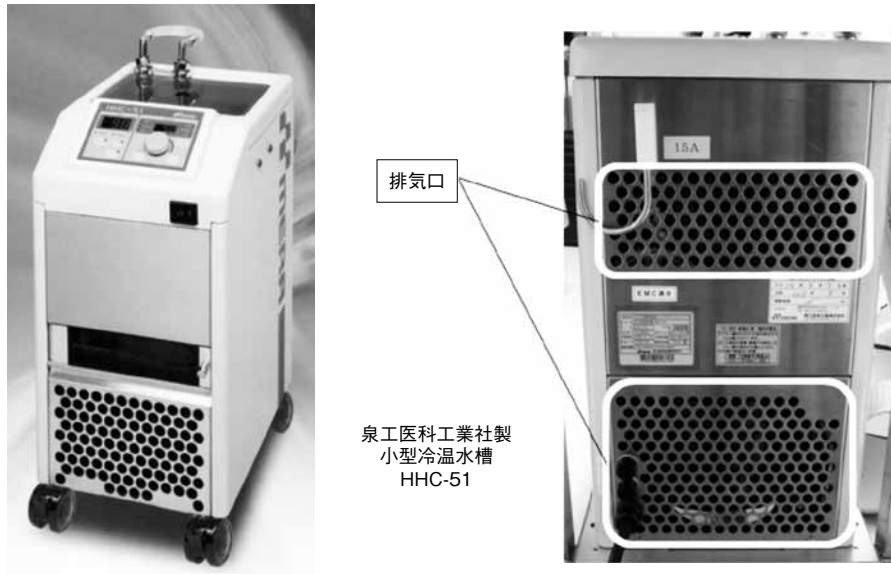


図1 冷温水槽の排気口

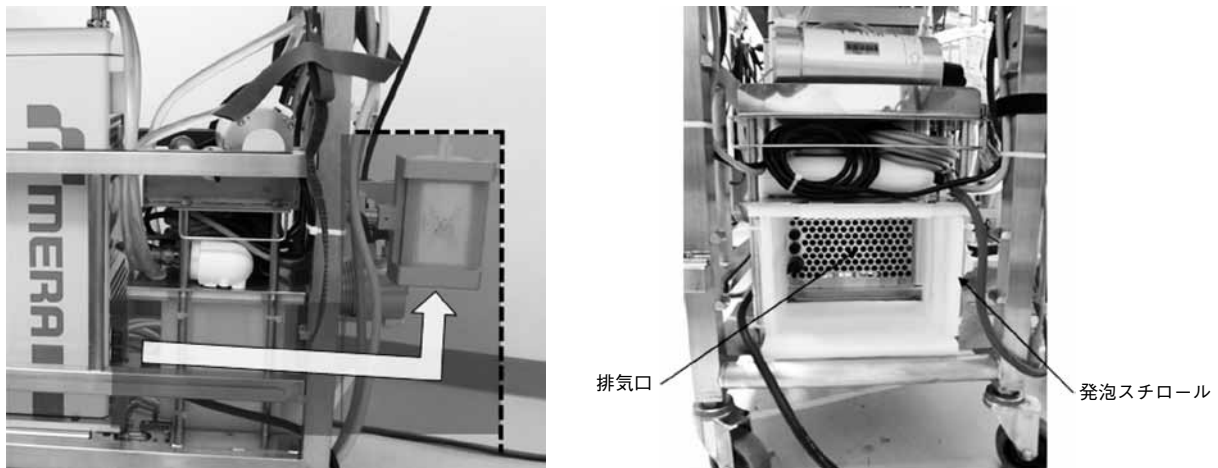


図2 人工肺の加温

人工肺を十分に加温することができなかつた。そのため、障害物を取り除き、排気温風の通り道を発泡スチロールで囲う改良により人工肺に40℃以上の排気温風を導くことができ、人工肺の加温が可能となった(図2)。

今回、冷温水槽の排気温風を用いたウエットラング対策について、有用性を検討したので報告する。

II. 方法

同一仕様のECMO回路を2セット作製した(図3)。遠心ポンプはジャイロポンプ(京セラメディカル社製)、人工肺はBIOCUBE6000(ニプロ社製)を用い、回路内は冷温水槽を用いて37℃に維持した水道水を3L/minで循環させた。吹送ガスはガスブレンダーを用い3L/min、 $FiO_2=0.21$ とした。実験は室温が25℃に集中管理されたICU内で実施した。回路①は冷温水槽の排気温風を

人工肺に導き、人工肺周囲をビニールで覆ってウエットラング対策を行った。回路②はウエットラング対策をせずに循環させた。それぞれの人工肺ガス出口部の温度、ガス入口圧を48時間測定した。ガス入口圧は圧力トランスデューサを用いて測定を行った。また、実験終了時の48時間後にガス出口部の結露の観察を行った。BIOCUBEのガス出口部にはカバーがあるため、カバーを超音波カッターで切り取り、結露の観察を行った。

III. 結果

人工肺ガス出口部の温度は、回路①が45℃であったが、回路②では26℃程度であり室温とほぼ同温であった(図4)。ガス入口圧は、回路①は開始時3mmHgであったが終了時後は4mmHgであり、48時間で1mmHg

の上昇であった。回路②では開始時 3 mmHg であったが終了時は 14mmHg であり、48 時間で 11mmHg 上昇

した (図 5)。48 時間後のガス出口部の結露は、回路①では確認できなかったが、回路②では結露の溜まり

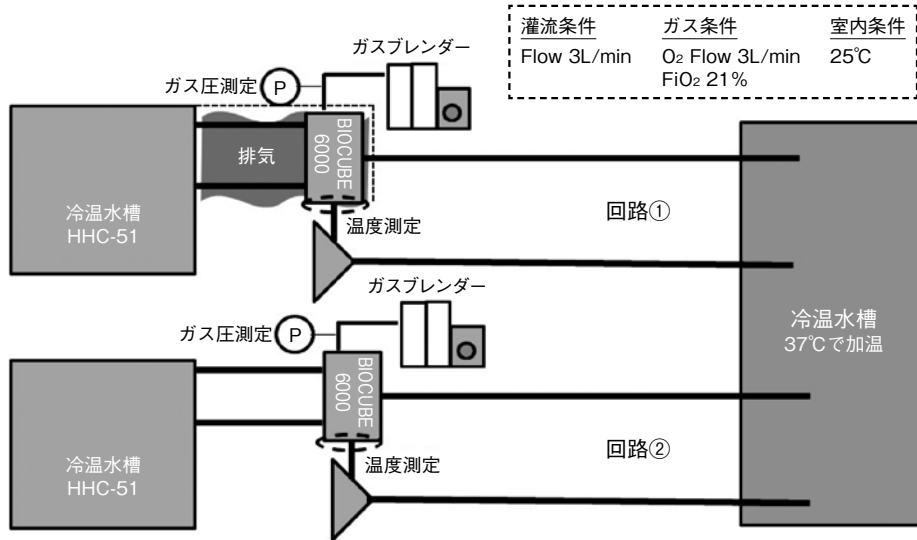


図 3 ECMO の回路構成図

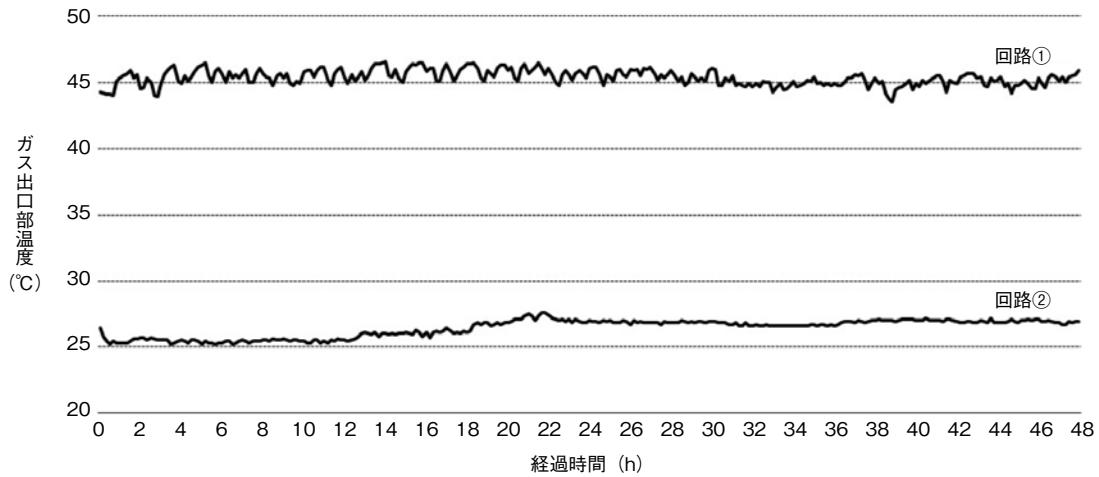


図 4 ガス出口部温度の推移

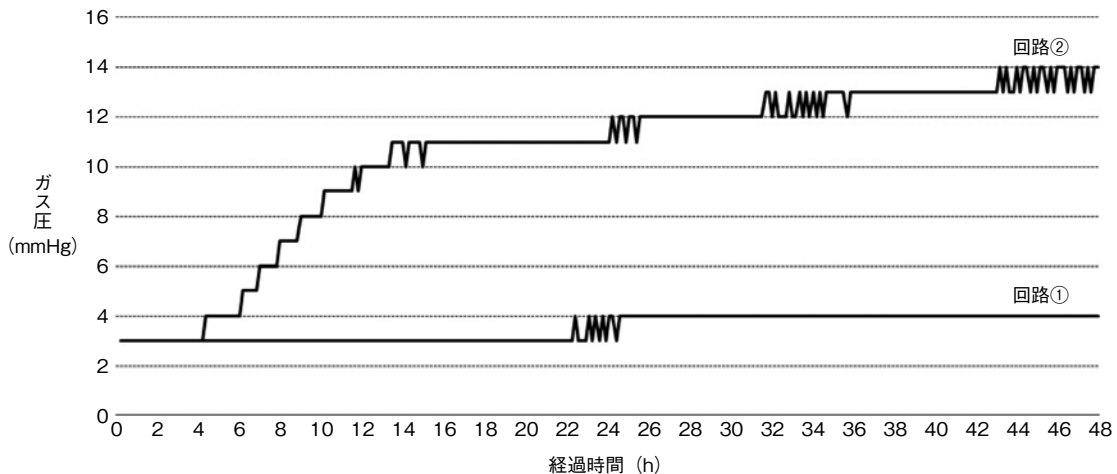


図 5 ガス入口圧の推移



図6 ガス出口部の結露

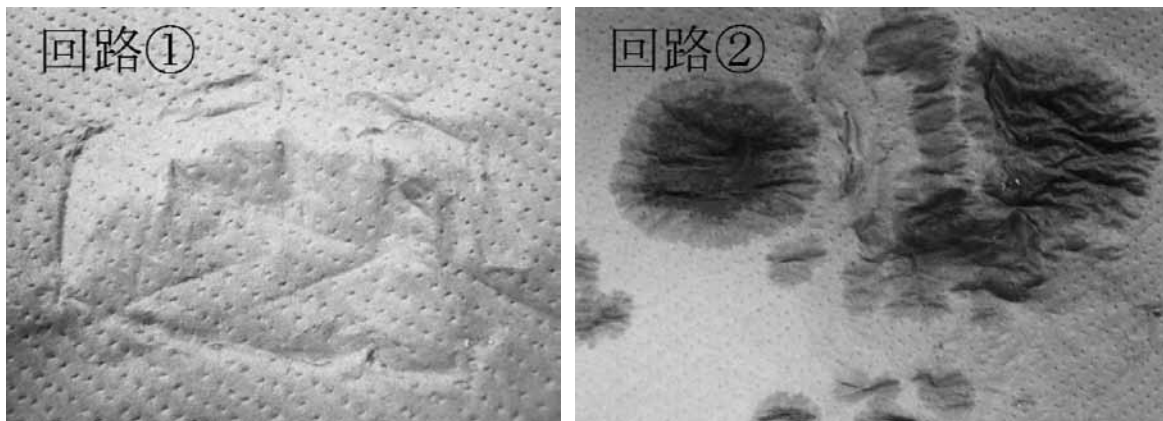


図7 ペーパータオルに移し取った結露

を確認した(図6)。更に15L/minでガスフラッシュを行い、排出された結露をペーパータオルに拭き取り視覚的に観察したが、やはり回路①では結露は観察できなかった(図7)。

IV. 考 察

ウェットラングは、吹送ガスが人工肺内で血液により加温および加湿され、ガス出口部に近づくにつれて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結露が生まれる¹⁰⁾。回路②では、この現象により結露が発生したと考えられる。今回の検討では、人工肺はBIOCUBEを使用し、吹送ガスは3L/minで最大14mmHgまでガス圧が上昇した。片桐らによると、この状態では約70%のガス流路が閉塞している¹¹⁾。その場合、ガス交換能が低下していることが予想されるため、ガスフラッシュやガス条件の変更、人工肺の交換などの対応が必要である。

一方、回路①では結露を観察することはできなかった。ガス出口部温度は45℃と血液温より明らかに高く、

これにより人工肺内を通過するガスが冷えることなくガス出口から排出されるため結露の発生が抑えられたと考える。この方法は、ECMO中に体温コントロールで用いる冷温水槽から出る排気温風のみでウェットラング対策が行える。よって、ウェットラング対策のために別の装置を用意する必要がないことがメリットになる。しかし、ガス出口部温度は45℃と血液より明らかに高いため、タンパク変性など血液への影響を考慮して送血温のモニタリングを行ったが、設定温度の37℃を超えなかったことから本法が血液に与える影響はほぼないと考えられた。しかしながら、現在の方法では排気温風を任意の温度にコントロールできず、人工肺出口部も任意の温度にコントロールできないため、今後検討したい。

また、冷温水槽の排気口を用いることで、冷温水槽内部の温度が上昇し不具合を生じることが懸念される。HHC-51には排気口が背面に2つ、底面に1つあり、それぞれの排気口は冷温水槽内部で繋がっている。本検討では背面の1つの排気口を用いており、2つの排気

口は開放している。加えて、人工肺周囲を覆うビニールの上部の一部を開口させて排気温風の流れを作っており、完全に排気口を閉鎖しているわけではない。そのため、冷温水槽内部の温度上昇は少ないと考えられる。しかし、専門家を含めて更なる検討を行う必要があると考える。

当院の方針として、ガスフラッシュ中に pO_2 、 pCO_2 が急激に変化する¹²⁾ ことの防止、ガスの戻し忘れによるインシデント発生¹⁰⁾ の防止などの理由から定期的なガスフラッシュは行っていないため、ウエットラング対策は必須である。

また、東條らはウエットラングになった BIOCUBE は、ガスフラッシュによってガス交換能回復率が十分でないことを示唆しており、他の人工肺より回復率は低い⁹⁾。そのため、BIOCUBE に関してはガスフラッシュを行うより、ウエットラングにならない管理が重要である。

V. 結 語

冷温水槽の排気温風を用いたウエットラング対策の有用性について検討した。ガス圧の上昇もなく、結露も観察されなかったため冷温水槽の排気温風を利用したウエットラング対策は有用ではないかと考える。

本稿のすべての著者には規定された COI はない。

●参考文献

- 1) 片岡 惇, 安田英人: 成人の適応疾患とその効果に関するエビデンス. Respiratory ECMO. 特集 ECMO. INTENSIVIST, 5 (2): 311-342, 2013.
- 2) 氏家良人: 呼吸 ECMO マニュアル. 初版. 東京, 克誠堂出版. 2014. p1-13.
- 3) 前橋赤十字病院 ECMO プロジェクトチーム: 症例に学ぶ成人呼吸 ECMO 管理. 初版. 東京, へるす出版. 2015. p3-4.
- 4) 市場晋吾: 症例と Q & A で学ぶ最新の ECMO. 東京, 総合医学社. 2014. p1422-1428.
- 5) 百瀬直樹: デバイスの原理とその進化. ECMO 総論. 特集 ECMO. INTENSIVIST, 5 (2): 285-292, 2013.
- 6) 岩田浩一, 阿部敬二郎, 宇都宮精治郎: PCPS 人工肺のウエットラングの検討. 体外循環技術, 31 (4): 417-419, 2004.
- 7) 中村有希, 加藤貴充, 野口悟司, ほか: 人工肺の結露と環境温度の関係性について. 体外循環技術, 41 (2): 172-178, 2014.
- 8) 中村淳史, 若松禎人, 鈴木廣美, 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.
- 9) 東條圭一, 藤井正実, 宮地 鑑, ほか: 人工肺ガスフラッシュに関する検討. 体外循環技術, 41 (1): 1-10, 2014.
- 10) 安野 誠, 戸田久美子, 花田琢磨, ほか: PCPS の新たな結露対策について. 体外循環技術, 37 (4): 436-439, 2010.
- 11) 片桐伸将, 水野敏秀, 福井康裕, ほか: 中空糸膜型人工肺ガス流入部における結露水による有効膜面積減少に関する検討. 膜型肺, 30: 22-27, 2007.
- 12) 前掲書 3, p35-38.

[本論文の要旨は第 41 回日本体外循環技術医学会大会にて報告した]