

技術報告

ECMO 中の人工肺交換時におけるプライミング方法の検討

山崎慎太郎¹⁾・鳩本広樹¹⁾・谷富信也¹⁾
星野耕大²⁾・川野恭雅²⁾・八尾好純¹⁾

要 旨

体外式膜型人工肺 (extracorporeal membrane oxygenation : ECMO) 施行中における人工肺の酸素化不良や凝固は早急な対応が必要であり、状況によっては人工肺の交換が必要となる。そこで今回、人工肺のプライミング方法について検討した。TERUMO 社製 CAPIOX (C 膜) と泉工医科工業社製メラ NHP エクセラン NSH-R (M 膜) を用いて、C 膜と M 膜を落差圧のみでプライミングした群 (A 群) と落差でプライミングした後、更にローラーポンプを使用してプライミングした群 (B 群) に分けて比較した。A 群において、C 膜と M 膜どちらも人工肺上部にはっきりと目視できる気泡が確認できたが、B 群ではどちらの膜も気泡は確認できなかった。したがって、人工肺のプライミングを行う際は、回路内圧を高くすることで血液相から気体相へ気泡を押し出して確実に気泡を除去することが重要である。

索引用語：体外式膜型人工肺、人工肺交換、気泡、マイクロバブル

The priming method of oxygenator exchange during ECMO

Shintaro Yamasaki¹⁾, Hiroki Hatomoto¹⁾, Shinya Tanitomi¹⁾, Kota Hoshino²⁾, Yasumasa Kawano²⁾, Yoshizumi Yao¹⁾

Key words : extracorporeal membrane oxygenation (ECMO), oxygenator exchange, air, microbubble

I. 緒 言

2009 年、重症呼吸不全に対する体外式膜型人工肺 (extracorporeal membrane oxygenation : ECMO) の有効性が報告され¹⁾、重症呼吸不全に対する ECMO が脚光を浴びている。我が国でも、日本集中治療医学会と日本呼吸療法医学会が中心となり 2012 年に ECMO プロジェクトが発足された²⁾。重症呼吸不全に対する Venovenous ECMO (V-V ECMO) は長期管理になる場合があり、ECMO プロジェクトは長期使用型の人工肺を推奨している。しかし、長期使用型の人工肺を使用してもデバイストラブルが起きる可能性がゼロではない。その中で人工肺の酸素化不良や凝固には早急な対応が求められ、時には人工肺の交換が必要になる場

合がある。人工心肺中における人工肺の交換と違い、ECMO 回路は静脈血貯血槽が付いていない閉鎖回路であるため、人工肺の交換時には事前に人工肺をプライミングする必要がある。我々の施設では、人工肺の交換が必要な場合に備えて人工肺交換用のプライミング回路を作製している。今回、人工肺交換時における人工肺のプライミング方法について検討した。

II. 方 法

人工肺は TERUMO 社製 CAPIOX LX (C 膜 : n=2) と泉工医科工業社製メラ NHP エクセラン NSH-R (M 膜 : n=2) で、いずれも未使用の膜を使用した。実験回路を京セラ製ジャイロポンプ、MAQUET 社製心内血貯血槽を使用して作製した (図 1)。充填液は 30% に調製したグリセリンを使用した。当院の人工肺交換用回路 (図 2) を用いて、C 膜と M 膜をそれぞれ落差圧のみでプライミングした群 (A 群 : n=2) と落差でプライミングした後、更にローラーポンプを使用してプライミングした群 (B 群 : n=2) に分類し、事前に充填液で循環してある実験回路に実際の人工肺交換と同じ手順で取り付けた。その後、循環を再開し目視による気泡の有無と人工肺出口側に装着したバブルカウン

1) 福岡大学病院 臨床工学センター
山崎慎太郎 (Shintaro Yamasaki)
〒 814-0180 福岡市城南区七隈 7-45-1
Department of Clinical Engineering Center, Fukuoka University Hospital
7-45-1, Nanakuma Jhonan-ku, Fukuoka, 814-0180, Japan
2) 同 救命救急センター

[原稿受領日 : 2018 年 5 月 23 日 採択日 : 2018 年 7 月 19 日]

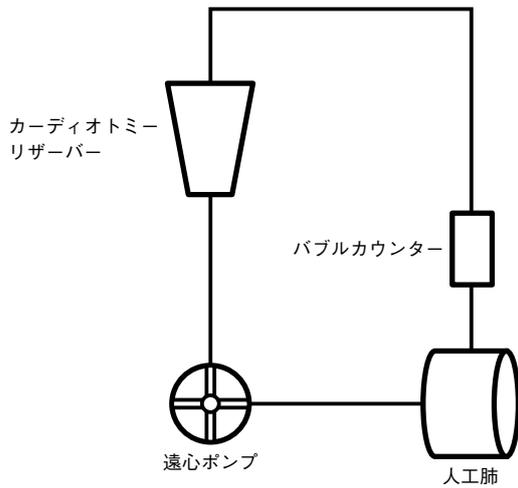


図 1-a 実験回路の構成



図 1-b 実験回路の写真

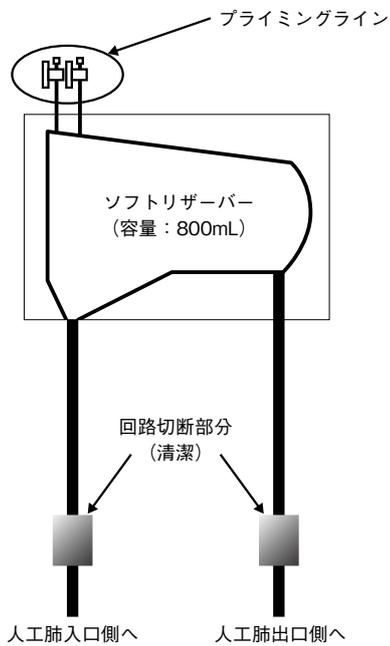


図 2-a 人工肺交換回路の構成



図 2-b 人工肺交換回路の写真

ター (BCC200、GAMPT 社製) を用いて 2 分間マイクロバブルの測定を行った。人工肺のプライミングはすべて同じスタッフがを行い、人工肺交換手順は当院の ECMO マニュアルに準じて行った (図 3)。循環流量は 4.0L/min、回路内圧は 150mmHg、温度は 36.0°C となるように調整した。

Ⅲ. 結 果

A 群において、再循環開始と同時に C 膜と M 膜どちらも人工肺上部にはっきりと目視できる気泡が確認できたが (図 4)、B 群ではどちらの膜でも気泡は確認できなかった。バブルカウンターでの計測は、C 膜でのバブル数 (バブル量) は A 群 : 2,952 個 (45.2 μ L)、B 群 : 3,230 個 (46.9 μ L) に対して、M 膜でのバブル数

は A 群 : 3,255 個 (47.1 μ L)、B 群 : 3,056 個 (45.6 μ L) であった (表 1)。マイクロバブル数・量において C 膜と M 膜ともに A 群、B 群間での大きな差はなかった。

Ⅳ. 考 察

ECMO では回路、遠心ポンプ、人工肺がセットになっているプレコネクト回路が広く普及しており、回路交換時には全回路交換を行う方が簡便である。しかし、人工肺のみのトラブル時は人工肺交換の方がコスト面で安価に抑えられる。また ECMO 管理中の患者において、回路交換による血液損失による重大な悪影響を与える可能性もあり、全回路交換時の血液損失に比べて人工肺のみの交換ではより少なく抑えるため、人工肺のみで危機を脱することができるなら考慮するべきで

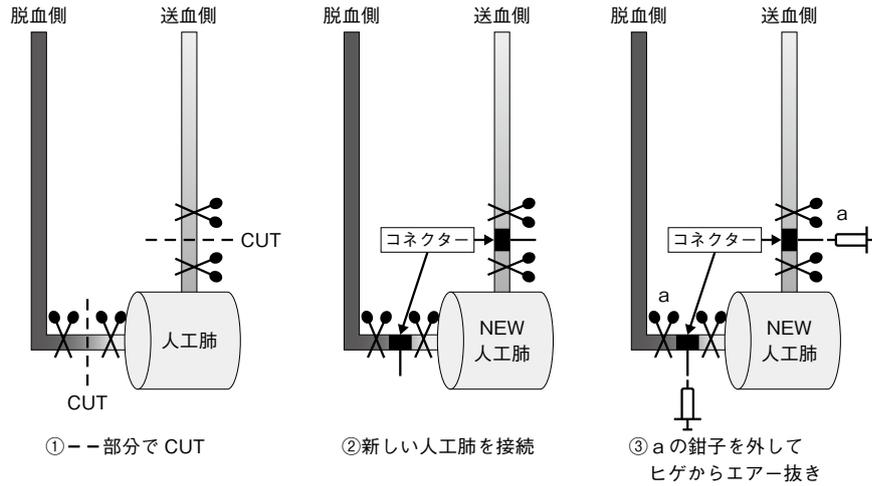


図3 人工肺交換手順



図4 循環再開後に認めたエア

あろう。

人工肺は直径0.1mmほどの中空糸で構成されており中空糸の内部を気体、外部を血液が流れている。そして、血液相と気体相の圧力勾配によってガス交換が行われている³⁾。人工肺の気泡除去も圧力勾配を利用しており、遠心ポンプから発生する圧力で血液相の気泡を気体相に押し出して除去している。

今回 A 群で循環再開後に気泡が発生した原因は、落差圧のみでは人工肺に十分な圧力が加からずに血液相に気泡が残り、それが循環再開と同時に人工肺の上方に流れてきてしまったと考えられる。そのため、人工肺単独でのプライミング時はローラーポンプを使用して十分な圧力を人工肺に加える必要があると考える。実際に今回の検討では A 群の人工肺入口圧で平均 10 mmHg、B 群の人工肺入口側で平均 92mmHg の圧力がかかっていた。確実な気泡除去における最低圧力については検討できていないが、今回の結果から少なくとも 90mmHg 程度の圧力なら気泡除去は可能であると考えられる。更に、落差に比べてローラーポンプの方が高流量でプライミング液が循環することも気泡除去を確実にする要因の一つであると考えられる。

万が一、不十分なプライミングで残存した気泡が体

表1 バブルカウンター計測結果

	C 膜		M 膜	
	バブル数 (個)	バブル量 (μL)	バブル数 (個)	バブル量 (μL)
A 群	2,952	45.2	3,255	47.1
B 群	3,230	46.9	3,056	45.6

内へ送り込まれてしまった場合、空気塞栓による脳梗塞などの合併症を引き起こす危険性がある³⁾。更に高流量で循環していた場合、気泡は瞬時に体内へ送られてしまうため循環中に残存した気泡が体内へ送られる前に循環を止めて処置することは容易ではない。そのため、プライミングにより気泡を確実に除去することが重要となる。

確実なプライミングの指標として使用したマイクロバブルは、発生時の大きさが $50\mu\text{m}$ 未満の小さな気泡と定義されており、血管内に混入することで毛細血管を閉塞し微小な梗塞を形成し、人工心肺を使用した術後高次脳機能障害の原因の一つとされている^{4,5)}。今回、A 群と B 群においてマイクロバブルの検出に大きな差はなかったが混入した原因としては、人工肺のプライミングで抜け切れなかった可能性や人工肺交換時の混入が考えられる。心臓外科領域では、動脈フィルタ内臓型の人工肺におけるマイクロバブルの捕捉性能やマイクロバブル混入に関する報告が存在する^{6,7)}。しかし、ECMO 中におけるマイクロバブルを検討した報告は少ない⁸⁾。更には、ECMO で使用される人工肺にはフィルタ内臓型のものが存在せず、回路にも動脈フィルタは付いていないのが一般的であるため、マイクロバブルの捕捉能は高くない可能性もあり、実際の臨床でもマイクロバブルが患者に送られている可能性は否定できず、今後更なる検討が必要である。

本検討の研究限界は回路を循環させる液体に30%グリセリン溶液を使用しており血液を用いていないこと、検討した人工肺の数が少ないこと（A群：2個、B群：2個）、今回のような実験回路では一旦発生したマイクロバブルが心内血貯血槽でもトラップできずに回路内を循環し続けていることが挙げられる。

V. 結 語

ECMO 施行中の人工肺の交換はコスト的にも患者負担的にも少ないと考えるが、その際の空気誤送は絶対に防ぐべきである。そのためにも人工肺のプライミングを行う際は、回路内圧を落差圧よりも高くして血液相から気体相へ気泡を押し出し、確実に気泡を除去することが重要である。それに加えて、マイクロバブルも極力患者に送らないような性能を持ったデバイスの開発も求められる。

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) Peek GJ, Mugford M, Elbourne D, et al : Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR) : a multicenter randomized controlled trial. *Lancet*, 374 (9698) ; 1351-1363, 2009.
- 2) 竹田晋浩：我が国のECMOプロジェクト－設備、人材、組織、あらゆる面での整備が急務. *INTENSIVIST*, 5 (2) ; 354-358, 2013.
- 3) 安達秀雄, 百瀬直樹：人工心肺ハンドブック. 東京, 中外医学社. 2007. p61-67.
- 4) Takahashi M : Zeta potential of microbubbles in aqueous solutions : electrical properties of the gas-water interface. *J Phys Chem B*, 109 (46) ; 21858-21864, 2005.
- 5) Alston RP : Pumphead-or not! Dose avoiding cardiopulmonary bypass for coronary artery bypass surgery result in less brain damage?. *Br J Anaesth*, 94 (6) ; 699-701, 2005.
- 6) 山崎隆文, 熊井良一, 千葉雄季, ほか：フィルター体型膜型人工肺のバブルトラップ特性の実験的検討. *体外循環技術*, 40 (2) ; 192-195, 2013.
- 7) 柿本将秀, 笹山幸治, 田中芳恵：体外循環中のマイクロバブル送血について. *体外循環技術*, 41 (1) ; 25-27, 2014.
- 8) 岩田浩一, 阿部敬二郎, 宇都宮精治郎：PCPSの状態の違いによる気泡発生の実験的検討－陰圧・ガス・温度について－. *体外循環技術*, 31 (1) ; 68-70, 2004.