

人工肺内部の血栓低減を目的とした拍動流を創出する血液ポンプの制御系開発

*¹東京工業大学工学院機械系, *²東京医科歯科大学大学院心臓血管外科, *³順天堂大学医療科学部,

*⁴東京医科歯科大学実験動物センター

戸田 大輝*¹, 藤原 立樹*², 大内 克洋*³, 櫻井 啓暢*², 岩永 健裕*⁴, 藤田 知之*², 土方 亘*¹
Daiki TODA, Tatsuki FUJIWARA, Katsuhiko OUCHI, Hironobu SAKURAI, Takehiro IWANAGA,
Tomoyuki FUJITA, Wataru HIJIKATA

1. 目的

人工肺と血液ポンプから構成される体外式膜型人工肺 (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO) は、呼吸不全や循環不全の重症患者の救命手段として使用されており、重要な役割を担っている。ECMOにおける人工肺内部の血栓形成はガス交換能の低下の原因となり、抗凝固療法は出血合併症のリスクを伴う。

現在のECMO治療では、遠心血液ポンプから定常流を送り出す場合が多いが、本研究では遠心血液ポンプの回転数制御によって適切な拍動流を創出し、人工肺内部の血液滞留部を押し流す流体力学的アプローチによって、形成される血栓を低減するシステムを提案する。

2. 方法

本研究では、定常流に4秒に1回、1周期分の半波整流波形 (正弦波の負値部をゼロとした波形) を加えた拍動流を血栓予防に用いた。定常流部分は2 l/minとし、加える半波整流波形は振幅を0.4 l/min、周期を2秒とした。この拍動流制御を実現するために、PI制御器 (Proportional Integral Controller) を用いたモータ速度制御システムを、遠心血液ポンプ [MERA HCF - MP23H (泉工医科工業)] のドライバに搭載した。また、この拍動流制御システムを適用した血液ポンプを人工肺 [MERA NHP Excelung NSH-R (泉工医科工業)] と接続した模擬循環回路において、適切な拍動流が創出できているかを確認した。さらに、

同個体のブタ血液を充填した模擬循環回路に本システムを接続した系を2つ準備し、もう一方は拍動流、一方は定常流で運転して人工肺内部の血栓量を比較した。その際、2つの系で平均流量は統一し、50分間運転した。活性化凝固時間 (ACT) は両回路ともに100 ± 10秒に調節し、通常の臨床使用よりも極めて血栓が形成されやすい環境で実験を行った。

3. 結果

本システムでは、目標値に対する実際のポンプ回転数の遅れを0.2秒以内に収めることができ、高精度に目標通りの回転数が実現できることを確認した。また、設定した拍動流を創出できていることも確認した。*in vitro* 実験では、50分間両回路ともに流量の8秒平均が同等であったことを確認した。一方で、人工肺に形成された血栓量は、定常流で運転した方は、ガス交換部の表面を覆うように大量の血栓が形成されていたのに対して、拍動流で運転した方は、ほとんど血栓が形成されていなかったことを確認した。

4. まとめ

遠心血液ポンプの機構を変更せず、制御システムの変更のみで所望の拍動流を創出できることを示した。また、この拍動流を用いることで、ECMO使用時の人工肺内部に形成される血栓量を低減できる可能性が示された。

本稿のすべての著者には規定されたCOIはない。

■ 著者連絡先

東京工業大学工学院機械系
(〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1 大岡山キャンパス石川台6号館-303A室)
Email. hijikata.w.aa@m.titech.ac.jp