

平成27年度 学内研究助成金 研究報告書

研究種目	<input checked="" type="checkbox"/> 奨励研究助成金	<input type="checkbox"/> 研究成果刊行助成金
	<input type="checkbox"/> 21世紀研究開発奨励金 (共同研究助成金)	<input type="checkbox"/> 21世紀教育開発奨励金 (教育推進研究助成金)
研究課題名	人工心肺自動体外循環制御システムの基礎開発	
研究者所属・氏名	研究代表者：生物理工学部 医用工学科 講師 徳嶺朝子	

1. 研究目的・内容

本研究は、「心肺バイパスのための循環制御システム」の開発を行う。これは、開心術で使用される人工心肺システムからの灌流量を至適に維持するための半制御を可能とするシステム開発である。人工心肺装置の制御は、「流入量」、「流出量」、「タンク容量」の3要素を対象として、貯血槽レベルの信号を入力信号として、送血ポンプの制御を行い脱血量の調整制御を行う。基本制御システム開発の基礎となる循環制御のための送脱血の制御を目的として実行する。

人工心肺は「心臓大血管外科手術の際、心静止と無血視野を確保して、外科医の手術の間、患者の呼吸・循環を代行して患者の生命を維持するシステム」である。心臓の機能を停止させ、血液を体外に導き代替システムによる循環コントロールは生体機能とは大きくことなるため、究極的なシステムとも言える。開心術において、人工心肺の操作は基本的に送脱血のバランスにより行われる。体外循環中の患者血液量は貯血槽内の血液量で調節され、送血流量と脱血流量のバランスで維持されるため「送血流量」「脱血流量」「貯血量」を制御することができれば、人工心肺システムの自動制御が可能となると考えた。本研究では、自動制御システム開発の基礎となる循環制御のための送脱血流量の制御と貯血槽液量の計測を目的として実行する。研究期間内には以下の実験を行い、システムの開発を行うものとした。

- 1) 流入量の計測、管理
 - 2) 流出量の計測、制御
 - 3) タンク容量の計測および信号の導出
 - 4) 3要素連動による動作検証実験：貯血槽レベルの信号を第一入力信号として、制御機構の調整
- なお、本研究開発ではシステムの制御機構を整えることを目的とした。

2. 研究経過及び成果

本研究では、安定した循環制御システムを構築するために、現在の人工心肺装置を使用して送血回路と脱血回路の一部に電磁制御弁を適用する予定であったが、納入見込みが期間内に不可となったため、電磁比例制御弁による流入出量の管理・制御を実施せず、タンク容量の計測による静水圧測定を実施し、送血回路にサーボモータを設置し、塩化ビニルチューブをモータの回転によって押さえつけ流量を制御する方式を採用した(図1)。以下の検証を行った。

1. 送血流量(一定)3L/min,脱血流量(一定)2L/min の場合のリザーバ液量維持
 2. 複数回の脱血不良に対するリザーバ液量の維持試験
- 全ての検証においてリザーバ液量は500-600mlで維持するように設定した。

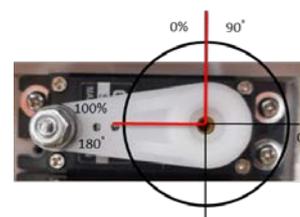


図1 サーボモータと開度

脱血から送血までの回路を模擬した簡易的な回路を、人工心肺回路を用いて作成した。リザーバ内の静水圧出力を適宜変換し制御のための入力信号とした。モータの角度が180度の場合を開度0%、90度で開度100%とし、開度と流量の関係より滑らかに変化する7点をシステムに実装した。実験2では、制御システムの設定範囲外における変動量は10336.5[ml・s]、学生のリザーバ液量変動量は4630.5[ml・s]であった。急な流量変動に伴う処理に現システムでは対応できていないことが明らかとなった(図2)。

本研究では、自動制御システム開発の基礎モデルとして、送脱血流量の計測および制御と貯血槽液量の計測を行い、貯血槽に流入出する量を信号源に予定量(至適灌流量)を目標に自動制御するシステムの構築を行った。送脱血回路を模擬した回路を作成しチューブの圧閉による流量制御システムを構築し動作検証を行った。心肺バイパスの体外循環において、過去にBeppuらがCPBのコンピュータ制御について報告しているが、一般的に使用されていない。操作方法も多くの手技があり、複雑化する環境自体が臨床適用しにくい現状を生んでいると考える。現システムは、既に安定状態を維持することは可能であったが、作動中の流量変動に即時に対応できず、循環を維持することが困難であった。入力信号である電圧値の安定化や、より細かいモータの開度制御が今後の課題である。まとめとして、サーボモータを使用して体外循環回路を模擬した回路チューブの圧閉調整によるリザーバ液量維持を行うための制御システムを作成した。

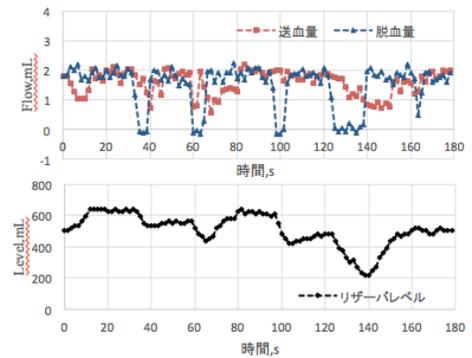


図2 上段: 循環自動システム, 送脱血流量、下段: 循環自動システム, 液面

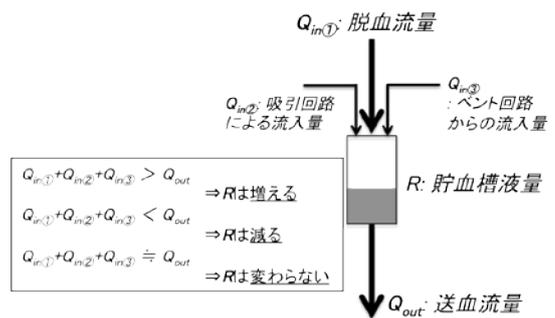


図3 送脱血流量の関係

3. 本研究と関連した今後の研究計画

本研究は最終的には、「人工心肺自動体外循環制御システム」のための装置の開発を行うことを目標としている。今回の結果を受けて、継続してサーボモータを利用するかについては検討する必要があると考える。循環中の血液管理を確実にを行うためには、送脱血流量の確実な測定と信号制御が第一である。液量の測定は安定して経時的に観察できることから、その信号を適切に処理し、送脱血回路を制御する方法を考案する。「流入量」および「流出量」の制御が可能になれば、「貯血槽レベル」を含めた3つの連動による動作実験を開始する。貯血槽レベルの信号を入力信号として、脱血量の調整を適宜行うようにプログラムする予定である。貯血槽の水位を連続して計測でき、かつ送血流量の信号出力と制御が可能であるため、水位の単位時間当たりの変動量が算出できる。貯血槽水位がゼロにならないように送血流量をコントロールするためのプログラムは比較的容易に作成できる。将来的には、臨床で安全に手術が施行されるためのシステムとして完成させる予定である。

4. 成果の発表等

発表機関名	種類(著書・雑誌・口頭)	発表年月日(予定を含む)
日本人工臓器学会	口頭	2016年11月(予定)
Journal of Artificial Organs	雑誌	2016年12月(予定)
日本医工学治療学会	口頭	2017年4月(予定)
日本人工臓器学会	口頭	2017年10月(予定)