

研究所 バイオデジタルツイン研究部 研究室長

上村 和紀 (UEMURA Kazunori)



研究の背景・目的

移植心不足や植込み型回転式血液ポンプ(RBP)の性能向上もあり、長期間の心室補助人工心臓治療が拡大してきました。しかし、RBPは生体心とは異なり、循環動態が大きく変動すると、心室吸引や肺うっ血を起こし、循環破綻のリスクがあります。このリスクをなくすことは、特に両心室補助を要する重症心不全患者へ人工心臓治療を適用する際の、課題のひとつです。この課題を解決するために、RBPのコンピュータ自動制御システムを開発しました。

研究内容

1. 開発システムの本体は、RBPを外部制御するコンピュータにインストールされた、制御プログラムです。
2. 生体心は、フランク・スターリングの心臓法則のために、急激な循環動態変動においても、左右心拍出量、左右心房圧を安定化させることができます。システムは、RBPがフランク・スターリング法則を模擬するように、RBP回転数を制御します。RBPの流量と入口圧である心房圧が、右上がりの対数関数関係になるようにすることで、フランク・スターリング法則を模擬します。対数関数は、循環血液量に応じて設定するRBP流量・左右心房圧に基づいて設定します。このように循環血液量に応じて制御するため、単に循環動態を安定化させるのみでなく、人工心臓装着患者の全身血流量・左右心房圧を好適な正常目標値へ、積極的に制御し維持することも可能になります。
3. 開発システムは左室補助人工心臓(LVAD)で用いる単一RBPの制御も可能ですが、両心室補助すなわち完全置換型人工心臓(TAH)や両心室補助人工心臓(BiVAD)において、両心室を代替する2機のRBPを同時制御する場面で、絶対的に有用であり効果的です。
4. 動物実験にて、2機のRBPを用いTAHとし、開発システムによるRBP制御の安定性と精度を報告しました。(IEEE Trans Biomed Eng. 2024 doi: 10.1109/TBME.2024.3420907.) 私たちのシステムのように、生体内で循環動態を激しく変動させても、心室吸引や肺うっ血を起こさず、安定してRBPを制御しえたとする報告は、過去に全くありません。これまでもRBP制御システムは報告されていますが、そのほとんどが理論解析や体外循環モック回路における検討で止まっており、このようなシステム開発の困難さを示しています。
5. システムの将来的な臨床応用のためには、国内外を問わず、RBPを製造・販売する企業様、RBP流量や心房圧モニターの開発を進めている企業様との共同研究が強く望まれます。

期待される効果・応用分野

1. TAHやBiVADにおけるRBPの制御を開発システムで行うことで、安定した慢性長期間の心室補助人工心臓治療が可能になると期待されます。
2. 心原性ショックや重症心不全患者へ適用される体外設置型のBiVADや、各種の補助循環装置のRBPの、安定した自動制御も本システムで可能になり、治療成績の改善も期待できます。

特許・共同研究等

1. 2024-07-24 PCT出願
WO/2025/041515 国際公開 2025-02-27
NTT Research Inc.と共同出願。
2. NTT Research Inc.と共同研究実施中。

産学連携本部から一言

基礎研究はNTT Research Inc.と共同で進めており、植込み型回転式血液ポンプ(RBP)の自動制御システムを開発しています。事業化に向け、RBPや関連モニター開発企業との提携を希望します。