

在宅で簡便な血行動態モニタリングを可能とするスマート植込み型補助人工心臓の開発

東洋大学理工学部生体医工学科

信太 宗也

Shuya SHIDA



1. 背景と目的

重症心不全の長期的なimplantable ventricular assist device (iVAD) 治療において、稀に患者の心臓のポンプ機能が回復し、iVADからの離脱が達成される場合がある。心ポンプ機能の回復には、心臓弁挙動などの血行動態に応じた適切な循環補助治療が有効であると報告されている¹⁾。例えば国立循環器病研究センターのグループは、心電図計測により推定した心臓弁挙動に応じてVADによる補助圧流量を長期的に制御することで、心ポンプ機能が器質的に回復し得ることを示した²⁾。したがって、多様な血行動態のモニタリングに基づく循環機能の適切な管理および治療、すなわち重症心不全治療のスマート化は、長期的なiVAD治療において重要といえる。

しかし、患者QOL向上の観点から在宅で簡便に実施可能なことが要件である長期的なiVAD治療には、種々のセンサを要する従来の院内用モニタリング手法を適用することができない。重症心不全治療の在宅スマート化に向けて、必要最低限のセンサによって簡便に多様な血行動態をモニタリングできる手法を開発することは重要な課題といえる。

重症心不全患者に対するiVAD治療のニーズが高まるに伴って、さらに高度な治療機能の実装を目指したiVADのスマート化研究が国内外で実施されている。このスマート化研究においては、これまでのハードウェア改良の観点からの研究に対して、ソフトウェアの観点からデバイス高機能化の研究が行われる。例えば、必要最低限のセンサで得られる血液ポンプの駆動情報を解析することによって、ポンプ内および生体に関する情報を簡便に取得可能とする

iVAD制御の手法などが開発される。血行動態に関する様々な情報を簡便に取得できるスマートiVADを開発できれば、重症心不全患者の長期的なiVAD治療に適用可能な血行動態モニタリング法が確立できると考えられる。

本研究の目的は、iVAD用磁気浮上式血液ポンプの駆動情報〔羽根車(インペラ)の浮上位置、回転数〕から、循環補助状態(ポンプ駆出流量、圧力)と血行動態〔心臓弁挙動、arterial compliance (AC)、ポンプ内血栓〕を在宅で簡便にモニタリング可能な手法(以下、本モニタリング法)を開発することである。本モニタリング法をiVADに実装し、在宅で簡便に実施可能な血行動態モニタリングのシステムを構築することで、重症心不全治療の在宅スマート化を目指す。

2. 方法

本研究は、以下4つの研究項目を実施することで進展させる(図1)。

研究①では、「ACおよび心臓弁挙動の推定法の開発」を行う。本推定法の開発は、心ポンプ機能の回復に向けた心臓弁挙動に基づくポンプ制御が在宅で可能なスマートiVAD開発に不可欠である。本研究項目では、模擬循環回路を用いた詳細な計測を実施し、弁挙動およびACに一意に対応するポンプHQ特性の特徴量を明らかにする。

研究②では、「磁気浮上インペラ動挙動解析に基づくポンプ内血栓の検知法の開発」を行う。具体的には、ポンプ駆動情報からポンプ内血栓を簡便に検知する手法を確立する。本検知法の開発は、患者循環機能管理の観点からの在宅での血行動態モニタリング項目の多様化のために必要となる。

研究③では、「ポンプ流路設計が及ぼす影響の数値流体力学による検討」を行う。本モニタリング法の臨床適用に向けて、精度向上や手法標準化および血液適合性の観点から至適なポンプ流路設計を、数値流体力学(CFD)を用いた

■ 著者連絡先

東洋大学理工学部生体医工学科
(〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)
E-mail. shida022@toyo.jp



図1 各研究項目の企図

解析によって探索する。

研究④では、「手法の統合・実装による血行動態モニタリングシステムの構築」を行う。本研究項目においては、研究①～③の成果を統合し、外部デバイスによって血行動態を在宅で簡便に把握・管理できるシステムを構築する。

3. 波及効果と将来の展望

本研究によって在宅スマート化が進化したiVAD治療に、さらにinternet of things (IoT) 技術を取り入れることで、心不全患者の予後と血行動態の相関に関する保健医療ビッグデータが集積可能となる。すなわち、心疾患に関する情報データベースの構築および医療情報プラットフォーム整備に貢献できる。これにより、人工知能 (AI) を利用した心疾患に関するデータ駆動型の研究が進展するものとする。例えば、集積したビッグデータをAIによって解析することで、心不全およびその合併症の早期予測、予防および治療に繋がる知見が蓄積できる可能性がある。

このようにして得られた知見は、再生医療やゲノム医療、新薬開発などを含む、心疾患克服を目指したすべての研究のイノベーション創出に有用であると考えられる。

4. 独創性

iVADスマート化研究を世界に先駆けて実施した京都大学のグループは、血液ポンプのモータ電流から、循環補助流量を推定する手法を提案した³⁾。他にも、東京工業大学のグループは、インペラ制御技術の応用により、塞栓症の原因となるポンプ内血栓を検知可能な手法を提案している⁴⁾。しかしこれら従来の手法は、心機能回復の観点から重要となる、心臓弁挙動のモニタリングへ応用することができない。

我々は、iVAD用磁気浮上式遠心血液ポンプの駆動情報から、循環補助圧流量およびACを簡便に定量評価できる独自の手法 (以下、本評価手法) を現在開発中である (2023年4月現在)。これまでの研究においてポンプ駆動情報と血行動態との関係を詳細に調べる中で、本評価手法が心臓弁挙動の推定およびポンプ内血栓の検知にも応用できる可能性を見出した。このような本評価手法の応用法の確立は、多様な血行動態を簡便に在宅で取得可能なスマートiVAD開発におけるブレイクスルーとなる。

謝辞

この度は、2022年度「第60回日本人工臓器学会大会」Yoshimi Memorial T.M.P Grantの採択を受けましたことを、心より感謝申し上げます。この場をお借りして、関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

本稿の著者には規定されたCOIはない。

文献

- 1) Frazier OH, Benedict CR, Radovancevic B, et al: Improved left ventricular function after chronic left ventricular unloading. *Ann Thorac Surg* **62**: 675-81; discussion 681-2, 1996
- 2) Kishimoto Y, Takewa Y, Arakawa M, et al: Development of a novel drive mode to prevent aortic insufficiency during continuous-flow LVAD support by synchronizing rotational speed with heartbeat. *J Artif Organs* **16**: 129-37, 2013
- 3) Tsukiya T, Akamatsu T, Nishimura K, et al: Use of motor current in flow rate measurement for the magnetically suspended centrifugal blood pump. *Artif Organs* **21**: 396-401, 1997
- 4) Hijikata W, Rao J, Abe S, et al: Sensorless Viscosity Measurement in a Magnetically-Levitated Rotary Blood Pump. *Artif Organs* **39**: 559-68, 2015