

外乱オブザーバを用いた拍動および流量推定による追加センサレスな補助人工心臓用心拍同期制御システム

東京工業大学工学院機械系

田仲 結衣, 土方 亘

Yui TANAKA, Wataru HIJIKATA

1. 目的

補助人工心臓は、近年の耐久性向上に伴い米国を中心に最終的治療としても使用されつつある。そこで単なる流量補助だけでなく、疾患心臓の拍動に同期して補助流量を変動させることで、自己心機能の回復が期待できることが報告されている。しかし、日常生活で恒常的に行う場合、心拍同期制御のために心電計などの測定器を用いると、患者への負担増大が懸念される。そこで本研究では、磁気浮上型遠心ポンプの制御系に外乱オブザーバを構成し、追加の測定器を用いずに疾患心臓の拍動を推定することで、心拍同期制御を行うシステムを設計することを目的とした。

2. 方法

①インペラの磁気浮上系に外乱オブザーバを構成し、拍動によってインペラに作用する流体力を推定する。②流体力を高速フーリエ変換し、疾患心臓の心拍数を求める。③流体力とポンプ通過流量の関係¹⁾を実験的に求め、ポンプ通過流量を推定する。④生体の要求流量を心拍数から決定する。⑤ポンプ通過流量の拍動波形をモータの速度制御系にフィードバックし、要求流量を満たすように人工心臓を心拍同期制御する。以上のシステムを設計し、(a)ポンプ通過流量推定、(b)心拍同期制御について模擬循環回路で検証した。(a)模擬心臓から1.0 Hzの拍動流を発生させ、血液ポンプを2,400 rpmで駆動させたときのポンプ通過流量の推定値と流量計の測定値を比較した。(b)模擬心臓から1.0 Hzの拍動流を発生させて心拍同期制御を行い、ポンプ通過流量の推定値、流量計の測定値および要求流量を比較した。

3. 結果

(a)ポンプ通過流量の推定値と測定値の平均二乗誤差平方根(RMSE) 0.16 l/minは、平均流量4.2 l/minに比べて十分小さく、血液ポンプ一定回転時においてポンプ通過流量を推定できることが示された。(b)心拍同期制御後のポンプ通過流量の推定値と測定値のRMSE 0.81 l/minは、平均流量5.7 l/minに比べて十分小さく、血液ポンプを心拍同期制御した際もポンプ通過流量を推定できることが示された。さらに、ポンプ通過流量の推定値と要求流量のRMSE 0.42 l/minは平均流量に比べて十分小さく、ポンプ通過流量の推定値は要求流量に対して追従することが示された。また、ポンプ通過流量の振幅が模擬心臓の心拍に同期して増大することを確認した。

4. まとめ

流体力から疾患心臓の拍動およびポンプ通過流量を推定し、心機能回復が期待できるポンプ通過流量の自動調節を追加の測定器を用いずに可能にすることが示された。

5. 独創性

本システムにより人工心臓自身がポンプ通過流量を推定できる。このとき血液ポンプ一定回転時だけでなく、心拍同期制御時もポンプ通過流量が推定可能であることを示した。さらに追加の測定器を用いずに疾患心臓の拍動を推定し心拍同期制御を行う、新しい技術を実現した。

本稿のすべての著者には規定されたCOIはない。

文献

- 1) Pai CN, Shinshi T, Shimokohbe A: Sensorless measurement of pulsatile flow rate using a disturbance force observer in a magnetically levitated centrifugal blood pump during ventricular assistance. *Flow Meas Instrum* **21**: 33-9, 2010

■ 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)

E-mail. hijikata.w.aa@m.titech.ac.jp