リニアアクチュエータ駆動心室補助装置の駆動制御に関する研究

Driving control of an artificial myocardium driven by a linear actuator

○山田智仁、河野徹、福長一義*、住倉博仁***、矢口俊之、舟久保昭夫、山家智之****、福井康裕

東京電機大学大学院 理工学研究科 電子情報工学専攻、*杏林大学 保健学部 臨床工学科

東京電機大学 フロンティア共同研究センター、*東北大学 加齢医学研究所

Norihito Yamada, Toru Kono, Toshiyuki Yaguchi, Akio Funakubo, Yasuhiro Fukui,

Dept. of Electric and computer Engineering, Tokyo Denki University.

*Kazuyoshi Fukunaga, Dept. of Clinical Engineering.

**Hirohito Sumikura, Frontier Research and Development Center, Tokyo Denki University.

***Tomoyuki Yambe, Institute of Development, Aging and Cancer, Tohoku University.

1. 背景

現在、心不全患者を対象とした心機能を補助する装置として人工心臓の研究開発が進められているが、材料と血液の接触点における血栓形成や溶血等の問題を抱えている。一方、開胸心マッサージにより十分な血圧と血液循環を得られることから、循環を補助するために必ずしも自己心を切開し、脱血・送血を行う必要はないという報告もある⁽¹⁾。本研究では、血液と非接触状態にて循環補助が可能な、心臓を直接圧迫することで拍動を補助する心室補助装置を開発中である。

2. 目的

本装置が自己心の収縮・拡張に同期することなく駆動を行った場合、自己心の拍動を阻害し、また心室細動等を引き起こす危険性がある。したがって本装置は、自己心の拍動に同期した駆動制御が必要不可欠である。そこで本研究では、本装置を適切に駆動させる制御システムの開発を目的とした。

3. 方法

3.1 研究対象

対象は本研究で開発中のリニアアクチュエータ駆動心室補助装置とした。Fig. 1に本装置の模式図を示した。本装置は二本のアームと、それを駆動するアクチュエータから構成され、槌子の原理を利用して心臓を補助する機構とした。アクチュエータには、可動子ストローク間ではほぼ一定の推力を維持する事ができるボイスコイルモータ(VCM)を応用することとした (Fig. 2)。左右の心室駆出圧をそれぞれ120mmHgと20mmHg、心室補助部の面積を3cm²と18cm²、支点から力点と支点から作用点の距離の比を1:5としたとき、アクチュエータには12mmの直線往復運動と、駆出方向に24Nの推力が求められると算出された。そこで、3次元非線形動磁場解析ソフト (ELF/MAGIC/樹エルフ) を用いて設計を行い、試作したVCMの推力特性をFig. 3に示した。

Fig.1 Schema of the artificial myocardium.

Fig.2 Disassembled view of the prototype VCM.

Fig.3 Static thrust vs. coil displacement character of the prototype VCM.

Fig.4 Left ventricular pressure curve of normal and dysfunction heart.

3.2 制御法の提案

不全心は収縮能が低下し、血液駆出圧が十分に得られない。また拡張能の低下によって血液引き込みが不十分であることを前提とし、不全心の心室内圧を健常心と同等とする両方向パワーアシストを提案した。Fig.4に健常心と不全心の心室圧例を示した。心室へ必要な補助圧は時間によって変動するため、本装置の制御システムの開発を進める上で、心臓と装置による補助力の相互作用を検討することが必要であると考えられた。

3.3 評価実験装置の設計

本研究にて提案した心室補助装置は拍動する自己心を直接圧迫する方式のため、受動的な模擬循環回路を用いた評価では不十分である。そこで、自己心を模擬した空気駆動式評価装置を提案した (Fig. 5)。評価装置は模擬心室、空気室、ダイアフラムから構成した。模擬心室は模擬循環回路と接続され、空気室内圧を圧縮機によって変動させることにより、ダイアフラムを拍動させる。拍動を行うダイアフラム表面を、心室補助装置により圧迫し、模擬心臓モデル内圧および流量を計測する。これにより、目標心室内圧・流量を達成する適切な心室補助装置の駆動制御について検討を行う。

Fig.5 Schema of the evaluation experiment system.

4. 今後の研究展開

制御システムの開発を行い、評価実験装置により検討を行う。

参考文献

(1)Yambe T et al.: Artificial myocardium with an artificial baroreflex system using nano technology. Biomed Pharmacother. 2003.oct ; 57 Suppl 1 : 122s-125s.