

O2-10

補助人工心臓耐久試験装置に関する基礎検討

The basic study of a novel endurance test circuit for left ventricular assist devices

○ 館林千尋 (電機大) 本間章彦 (電機大) 住倉博仁 (国循) 大沼健太郎 (国循)

巽英介 (国循) 妙中義之 (国循) 福井康裕 (電機大) 向林宏 (伊ワキ) 片野一夫 (伊ワキ)

Chihiro TATEBAYASHI, Tokyo Denki University
 Akihiko HOMMA, Tokyo Denki University
 Hirohito SUMIKURA, National Cerebral and Cardiovascular Center
 Kentaro OHNUMA, National Cerebral and Cardiovascular Center
 Eisuke TATSUMI, National Cerebral and Cardiovascular Center
 Yoshiyuki TAENAKA, National Cerebral and Cardiovascular Center
 Yasuhiro FUKUI, Tokyo Denki University
 Hiroshi MUKAIBAYASHI, IWAKI
 Kazuo KATANO, IWAKI

Abstract: The purpose of this study is to develop an endurance test circuit for ventricular assist devices. The test circuit consists of a pulsatile pump, a small closed-chamber (SCC), a closed-chamber, a control valve and a reservoir. The SCC connected in parallel with the pulsatile pump regulates the compliance of the pump. In this study, influence of the air volume of SCC on the pressure in the pulsatile pump (LVP: left ventricle pressure) was investigated. As a result, the maximum and minimum LVP decreases as the air volume of SCC increases at the all beating rates. At the beating rate of 70bpm, the minimum LVP was -51mmHg at the SCC air volume of 0mL and the minimum LVP was -7mmHg at the SCC air volume of 700mL. It was confirmed that the negative pressure generated in the pulsatile pump change with the beating rate and the SCC air volume.

Key Words: Mock circuit, Endurance test, Left ventricular assist device

1. はじめに

補助人工心臓 (VAD) を長期に渡り安全に患者に適用するためには、前臨床試験において耐久性や信頼性に関する評価が十分に行われる必要がある。

本研究では、より生体に近い循環状態を提供することのできる耐久試験装置の開発を目的としている。今回、開発した耐久試験装置において、拍動ポンプの収縮力を調整する小型閉鎖型チャンバ内の空気量が耐久試験装置の性能に与える影響について検討を行ったので報告する。

2. 実験方法

2-1 耐久試験装置の概要

構築した耐久試験装置は拍動ポンプ、閉鎖型チャンバ、制御弁、リザーバーからなる循環回路で構成され、それぞれ、左心室、大動脈、末梢抵抗、左心房を模擬している (Fig. 1)。また、左心室の収縮力を調整するために、拍動ポンプには小型閉鎖型チャンバ (SCC) が接続されている。拍動ポンプは、20~120bpm の範囲で拍動数 (HR) と、ポンプストローク長が任意に変更可能であり SCC とあわせて収縮能を調整することが可能である。また、僧帽弁と大動脈弁に相当する拍動ポンプの出入口弁は様々な形状の弁に交換することが可能である。試験対象となる VAD は拍動ポンプと、閉鎖型チャンバ手前配管の間に接続される。

2-2 実験方法

循環流体として水道水 (37°C) を用いた。実験開始の初期条件としてポンプ前負荷を 20mmHg 一定とし、HR を 70bpm、ポンプストローク長を 100%、SCC 内の空気量を 250mL としてポンプを駆動し、大動脈を想定した管路の内圧 (AoP) が、80~100mmHg となるように閉鎖型チャンバ内水位を設定した。閉鎖型チャンバの水位を維持しながら、拍動数を変更する毎に AoP の平均値が 100mmHg となるように制御弁の開

口度を調整した。各条件を Table 1 に示す。

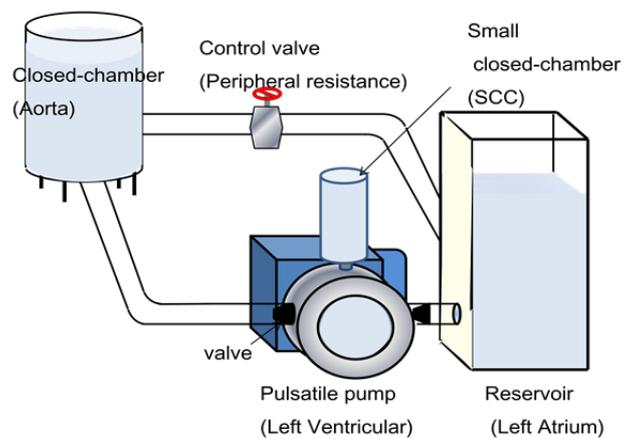


Fig.1 The endurance test circuit

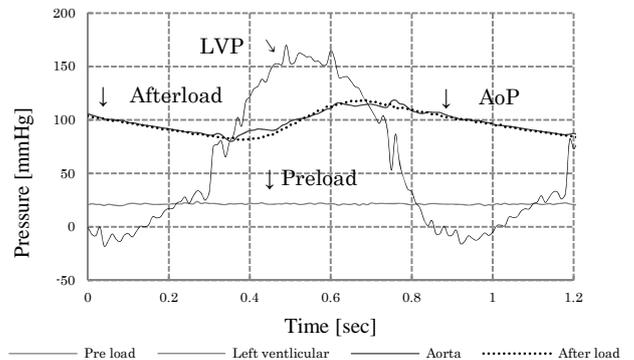


Fig.2 The pressure changes in LV, Ao, LA, preload and afterload

初期条件の設定後、HRを20~120bpm、SCCの空気量を0mLから750mLまで50mL刻みで変化させ、ポンプ内圧(LVP)とポンプ拍出流量の計測を行った。計測は1~10分程度の駆動を行い、波形が安定した後に行った。高拍動下において、ポンプ内にSCC内の空気を引き込んでしまう場合には、計測を中止した。SCCの容量は750mLであり、空気量が0mLのときには容器内はすべて水で満たされ、空気量が750mLのときには容器内はすべて空気で満たされていることになる。実験条件をTable 2に示す。

Table 1. Initial conditions

HR [bpm]	70
Preload pressure [mmHg]	20
AoP [mmHg]	80~100
Air volume of SCC [mL]	250
Water temperature [°C]	37

Table 2. Experimental conditions

HR [bpm]	120~20
Air volume of SCC [mL]	0~750
Stroke volume [%]	100
After load compliance [L]	3.72

3. 実験結果

ポンプ拍動数(HR)とSCCの空気量を変化させ、ポンプ内圧(LVP)と拍出流量の計測を行った結果をFig. 3に、波形の変化をFig. 2に示す。Fig. 3において一曲線に注目した場合は、SCCの空気量を0mLから500~750mLまで50mL刻みで変化させた時のLVPと平均流量の変化を示すことになる。上側の曲線群はLVPの最大値の変化、下側の曲線群は最小値の変化を表している。また、曲線群において、一番左側の曲線が拍動数20bpmであり、右に向かって増加し

ていき、一番右側の曲線が拍動数120bpmとなっている。

実験結果から、心拍数が増加するにつれて、陽圧値と陰圧値が多くなる傾向があり、心拍数が120bpmのときに最大陽圧値、約420mmHg、最大陰圧値、約-90mmHgを記録した。また平均流量は最大約9.5L/minを記録した。また、いずれの心拍数においても、SCCの空気量の増加に伴い、陽・陰圧値が小さくなる傾向があった。

陰圧値に関しては、心拍数が70bpm時を例にとると、SCCの空気量が0mLのときの陰圧値は-51mmHgであるが、SCCの空気量が増加し700mLのときの陰圧値は-7mmHgとなった。このときの平均流量は、SCCの空気量が0mL時に5.3L/min、700mL時に2.3L/minであった。

4. 考察

本耐久試験装置では、拍動ポンプの動作機構上、LVPにおける陰圧発生を避けることができないが、発生する陰圧の程度は、HRとSCCの空気量によってFig. 3のように変化することがわかった。設定する実験条件にも左右されるが、本装置で耐久試験を行う場合に、試験対象であるVADによるバイパス流量により、さらにポンプ内に陰圧が生じる可能性がある。

より生体に近い循環状態を提供するためには、今後、LVPの陰圧発生を抑えるための、拍動ポンプの動作機構、流入口の弁の種類、前負荷等の検討を行う必要がある。

5. 結論

今回、開発した耐久試験装置において、拍動ポンプの収縮力を調整するSCCの空気量が耐久試験装置の性能に与える影響について検討を行ったところ、HRおよびSCCの空気量によってLVPに発生する陰圧の程度が大きく変化することが確認された。

謝辞

本研究の一部は科研費(課題番号:23249065)、および東京電機大学総合研究所研究費(課題番号:Q11L-04)の助成を受けて行われた。

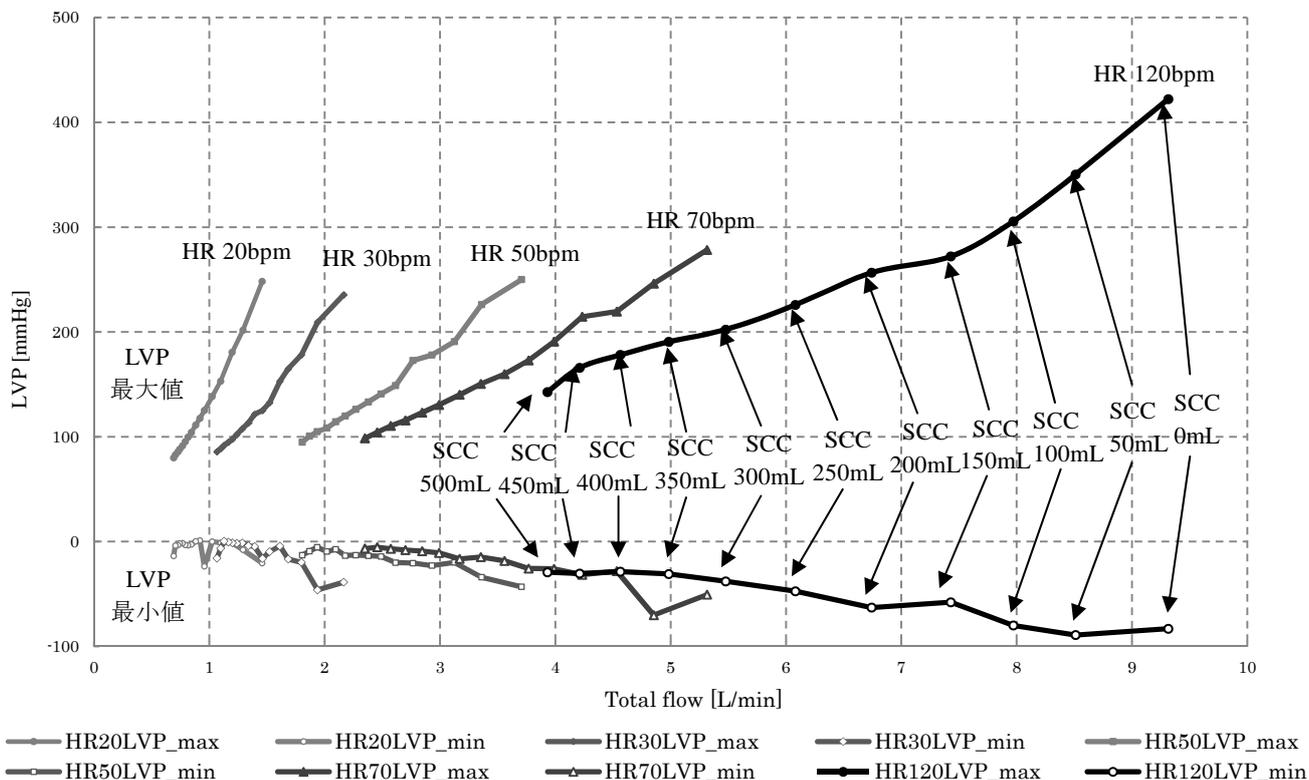


Fig.3 LVP and total flow rate