

遠心ポンプとローラポンプに対して抵抗負荷を加えた場合に発生 する消費電力の測定

藍野大学 医療保健学部 臨床工学科

南 直登

概要

本研究では、循環回路内流動抵抗の変化をポンプ消費電力のモニタリングにより検知できるかについて調べた。実験では、遠心ポンプとローラポンプを用い、流動抵抗負荷時の消費電力の変化を測定した。その結果、遠心ポンプでは抵抗増加に伴い消費電力は低下する一方で、ローラポンプでは抵抗増加に伴い消費電力の増加が確認され、ポンプ消費電力をもとに循環回路の流動抵抗のモニタリングが可能であることが示唆された。

1. 背景・目的

循環器を対象とした生体機能代行装置の分野では、流体を流すために遠心ポンプやローラポンプが使用されている[1,2]。体外循環の際に血栓などによる流路の目詰まりが生じると回路内の流動抵抗が増加する。これはポンプの軸動力[3]に影響を及ぼすこととなり、それに伴ってポンプの消費電力が変化すると考えられる。現在、回路内圧モニタリングや貯血レベルモニタリング[4]をすることで流動抵抗の増加を検知しているが、回路の駆動源となるポンプの消費電力を測定することで、より簡便にまた、現行システムと組み合わせることで安全性を向上させることができると考えられる。

本研究では、循環回路において、遠心ポンプとローラポンプのそれぞれに流動抵抗の負荷をかけ、そのとき生じた消費電力を測定することで、消費電力の変化が回路内の目詰まりや狭窄などの発見につながるかどうかの検証を行った。

2. 実験装置・方法

ポンプ消費電力のモニタリングには、AC digital multi-function meter (PZEM-061、Peacefair, inc.、以下 WM1 と表記) と Wi-Fi ワットチェッカ (RS-WFWATTCH1、RATOC Systems, inc.、以下 WM2 と表記) の 2 種類の電力計を用いた。WM1 は、ポンプの電力供給ラインに直接測定回路をつなぐことで、ポンプそのものの消費電力を測定できる。WM2 は、コンセントとポンプの電源プラグの間に測定回路を組み込む形式であり、極めて簡便に電力測定が可能である。一方で人工心肺回路などの様々な機能を持った装置に対してはポンプ以外の機器の消費電力を含めて測定することになる。そこで、ポンプのみの消費電力を測定できるように実験装置を作製した。本研究で用いた実験装置の概略図を図 1 に示す。貯水タンクに溜められた水道水はポンプにより送液され、流量計とニードルバルブを通して貯水タンク返される。ニードルバルブを使って回路内の抵抗負荷を調整し、ポンプと AC 電源の間に取り付けた電力計を用いてポンプの消費電力の測定を行った。ポンプの流量はトランジット型の流量計で測定し、圧力はひずみゲージ式圧力計で測定した。ポンプは遠心ポンプ (MD-6ZK-N、IWAKI CO.,LTD.) とローラポンプ (RP-1000、TOKYORIKAKIKAI CO.,LTD.) を用いた。

流量に関しては、遠心ポンプではニードルバルブで 0~3 L/min 間に流量を調整し、そのときの p_1, p_2, p_3 と消費電力の測定を行った。また、ローラポンプは流量を 0.5 L/min と 0.75 L/min にして、ニードルバルブにより下流側抵抗を増加させ、そのときの p_1, p_2, p_3 と消費電力の測定を行った。

ニードルバルブによる圧力損失 Δp は、

$$\Delta p = p_2 - p_3 \quad (1)$$

から求め、これを回路の流動抵抗とみなした。

3. 結果と考察

各ポンプの消費電力の変化を図2、図3、図4に示した。

図2は流動抵抗に対する遠心ポンプの消費電力の変化を表している。各電力計とも抵抗が増加するとともに、消費電力は非線形に減少している。このとき電力計間の値の差は1%程度であった。流動抵抗が29 kPaまでは消費電力は変化せず、それ以上になると消費電力は減少することが分かった。遠心ポンプにおいては、圧力損失の増加が流量変化に現れる。そのため回路内の流動抵抗変化については、ポンプ消費電力と回路内流量のモニタリングを同時に行うことで、より正確に回路内の状況を把握できると考えられる。また、遠心ポンプの回転軸に焼き付きなどの不具合が生じた際は、軸動力の変化が生じるため、消費電力のモニタリングが有効になると考えられる。

図3、図4は流動抵抗に対するローラポンプの消費電力の変化を表している。図3のデータは流量 Q を0.5 L/minに調整し、ニードルバルブが完全に閉じる直前までを記録したものである。流動抵抗が0~10 kPaの間は消費電力の変化はみられなかった。流動抵抗が10 kPa以上になると、抵抗の増加とともに消費電力が非線形に増加することが確認された。電力計間の値の差は2%程度であった。図4のデータは流量 Q を0.75 L/minに調整し、ニードルバルブが完全に閉じる直前までを記録したものである。図3と同様に流動抵抗が0~10 kPa間では消費電力の変化はみられず、流動抵抗が10 kPa以上になると流動抵抗の増加とともに消費電力が非線形に増加することが確認された。ローラポンプの測定では、ニードルバルブにより流路が狭まったことで水が流れにくくなり、ローラポンプが一定の流量を送り出すために必要な軸動力が増加したため、消費電力が増加したと考えられる。また図3と図4を比較した時、流量の増加に伴って消費電力が増加するが、これは管内流れの摩擦圧力損失の増加が要因である。このことから消費電力の増加は、流量増加と流路狭窄による流動抵抗増加により引き起こされることが分かる。流量が高い場合においても、抵抗増加に伴う電力増加の変化の傾向は同様であったため、流量一定（ローラポンプ回転数一定）のもとで、時々刻々と消費電力をモニタリングすることで流動抵抗変化を検出することが可能と考えられる。

それぞれの電力計の実測値同士のずれは1~2%程度であったことから、本実験に用いたどちらの電力計においても、ポンプの消費電力の測定が可能であることが分かった。

4. 結論

本研究では、遠心ポンプとローラポンプに対し、回路内に流動抵抗を与えたときに生じる各ポンプの消費電力の変化について調べた。その結果、ローラポンプは流動抵抗の増加に伴い、消費電力の増加が確認された。また、遠心ポンプを用いた場合は、流動抵抗に対して消費電力が低下することが分かった。以上のことから、それぞれのポンプで消費電力をモニタリングすることは、回路内の目詰まりや狭窄などの発見に有効であると考えられる。

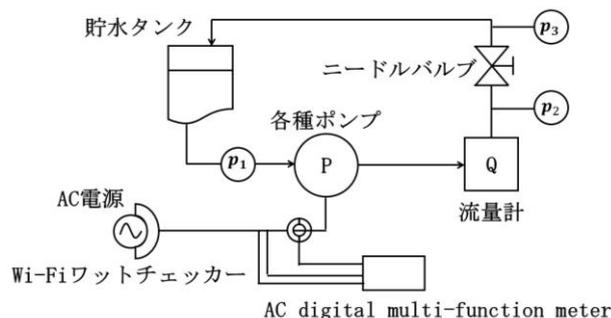


図1 実験装置の概略図

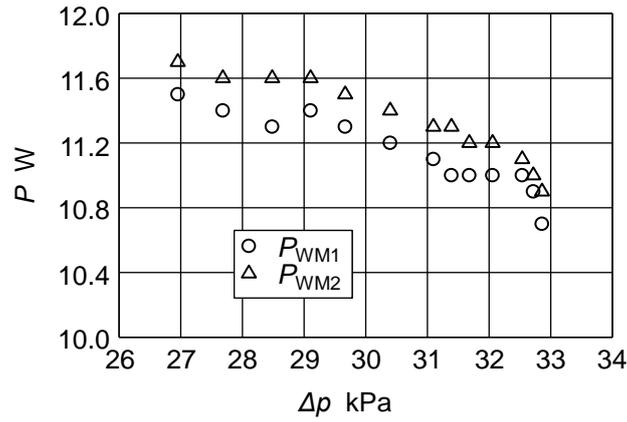


図2 遠心ポンプの Δp - P グラフ

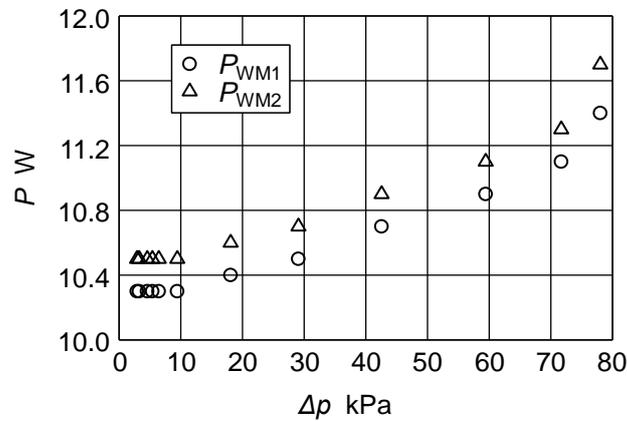


図3 ローラポンプの Δp - P グラフ ($Q = 0.5$ L/min)

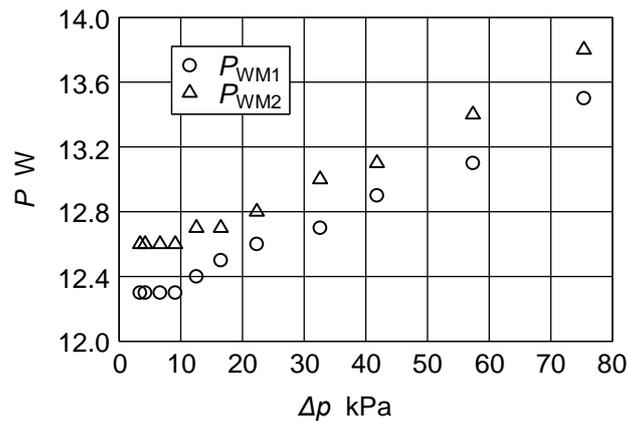


図4 ローラポンプの Δp - P グラフ ($Q = 0.75$ L/min)

参考文献

- [1] 福長一義：人工心肺装置. 臨床工学講座 生体機能代行装置学 体外循環装置 第2版, 医歯薬出版, 東京都, p.23, 2019.
- [2] 嶋津秀昭、馬淵清資：臨床工学講座 医用機械工学 第2版, 医歯薬出版, 東京都, pp.103-106, 2021.
- [3] 大場謙吉, 板東潔：流体の力学 -現象とモデル化- 第3刷, コロナ社, 東京都, pp.101-102, 2010.
- [4] 百瀬直樹：人工心肺の安全装置, 人工臓器 42 巻 3 号, pp.232-235, 2013 年

指導教員
藍野大学 医療保健学部 臨床工学科
郡 慎平