

OS2-1

遠心ポンプ内における血液状態の特性評価

Characterization of blood state in centrifugal pump

○ 松本健 (電機大 先端科学技術研究科) 野中一洋 (電機大)

幡多徳彦 (電機大 フロンティア共同研究センター) 福井康裕 (電機大) 舟久保昭夫 (電機大)

Takeshi MATSUMOTO, Tokyo Denki University Graduate School of Advanced Science and Technology

Kazuhiro NONAKA, Tokyo Denki University Graduate School of Science and Engineering

Norihiko HATA, Tokyo Denki University Frontier Research and Development Center

Yasuhiro FUKUI and Akio FUNAKUBO, Tokyo Denki University Graduate School of Science and Engineering

Abstract: With the prolonged use of percutaneous cardiopulmonary support system (PCPS), a thrombus form in the blood circulation pump. The detachment of thrombus from circulation pump causes. The serious symptoms such as stroke and myocardial infarction in medical practice. However, the long-term use of centrifuge pumps are required on the cost front. The flow rate was measured to evaluate the blood state in circulation pump. The advance warning system of thrombus was examined with aim of the present study.

Key Words: Thrombus, circulation pump

1. はじめに

近年、重症肺疾患に対する最終的な治療として肺移植が挙げられる。1997年に臓器移植法が施行されてから年間数十例ほどの移植手術が行われているが、慢性的なドナー数不足により移植待機患者の増加や、待機期間の長期化などの問題が挙げられる。そこで肺移植に変わる新たな治療法として Bridge to Transplantation を目指した長期使用型人工心肺の研究・開発が行われている。またそれに併用し長期使用を目的とした経皮的心肺補助システム (PCPS) などの血液状態の監視・制御の研究開発などが行われている。

PCPS などの長期使用での問題の一つとして、血液循環用ポンプで血栓が出来てしまうことがある。これまでの研究で、流体解析による遠心ポンプ軸受付近のシミュレーションでは、血液の淀みが出来やすいことが分かっている^[1]。

血液の淀み領域や乱流の発生している箇所、せん断速度の小さいところには赤血球の凝集を招くため、軸受付近で血栓が出来やすいことが示唆される^[2]。本稿では軸受付近の変化を測定したいと考えたが、非侵襲で測定出来る事を考え、流量の変化を測定することで血液凝固を測定することの検討を行った。

2. 方法

2-1 血栓と血液粘度関係

血栓が出来る過程で、血液粘度が上昇することが知られている。血液粘度は血液中のヘマトクリット値(Ht)と赤血球指数の違いによって血液粘度が微妙に変化する。この変化の関係を式で表すと

$$\frac{\eta_s}{\eta_p} = \frac{1}{1 - \alpha\phi} \quad \dots \textcircled{1}$$

η_s : 浮遊液粘度 η_p : 血漿の粘度

ϕ : 赤血球の体積分率

α : 赤血球の形態学的な定数

と表現され、赤血球間に相互作用がない場合に成立する^[3]。

2-2 水における遠心ポンプ変化の測定

血栓形成過程を測定する為、まずリアルタイムで血液粘度測定を行う事を考えた。そのため、ポンプ内に水を満たし、急激に流量を変化をさせた場合の変化が見られるのか測定を行った。流量の測定には Transonic 社製 TS410 を使用した。

今回は粘度の測定を目的としている為、モータに粘度の影響が出やすくなる様にモータ回転数を 0~100rpm までのようにモータ回転を ON OFF させ、急激に変化させ、その時の流量変化の傾きを見た。

また、実験を 100rpm から 10rpm ごとに変化させて行った。

実験装置を Fig.1 に示す。

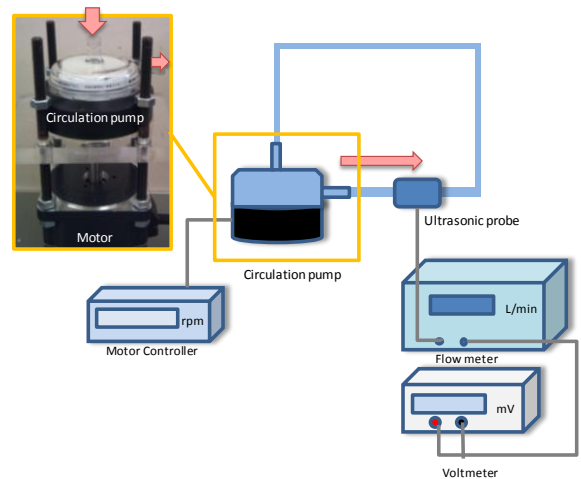


Fig.1 Schematic diagram of experimental circuit

2-3 血液における遠心ポンプ変化の測定

次に 2-1 と同じ回路と実験方法で、液体を水から牛血液に変え実験を行った。血液の状態を Table.1 に示す。

Table.1 Conditions of the bovine blood

Temperature[°C]	Hematocrit[%]	Viscosity[cP]
37	36	6.3

3. 結果

0rpm から 100rpm の様にモータ回転を ON OFF させ、回転数を急激に変化させた時の流速を波形にしたものを Fig.2 に示す。Fig.2 から傾きを求めるため、Fig.2 の赤く囲った流量の立ち上がり部分のみを選択し、傾きを求めた波形を Fig.3 に示す。牛血液で行った実験結果から、同様にして傾きを求めたものを Fig.4 に示す。

実験結果から求めた傾きをグラフにまとめたものを Fig.5 に示す。

2-2 では、回転数が 40rpm を下回ると、流量が 0L/min となってしまった。2-3 でも同様に 60rpm を下回ったところで、流量が落ちた為、今回のデータは 70rpm までとなっている。また、2-3 では得られたデータにノイズが大量に入っていたため、ノイズ除去を行った。

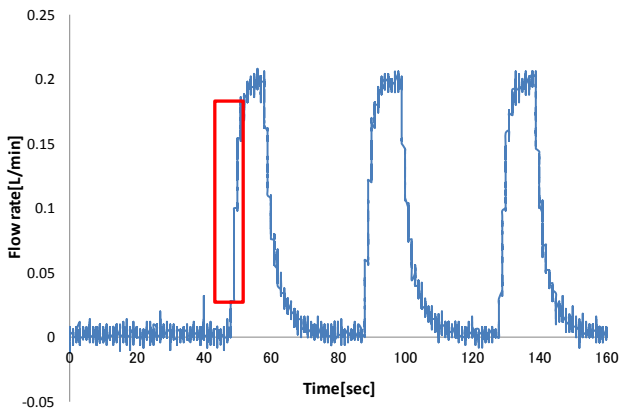


Fig.2 Flow rate and time results

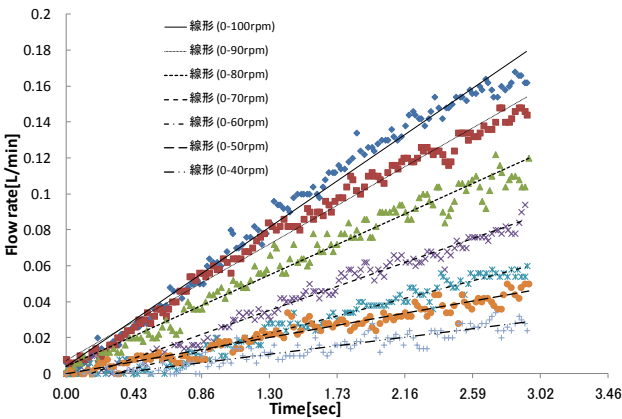


Fig.3 Effect of water test results

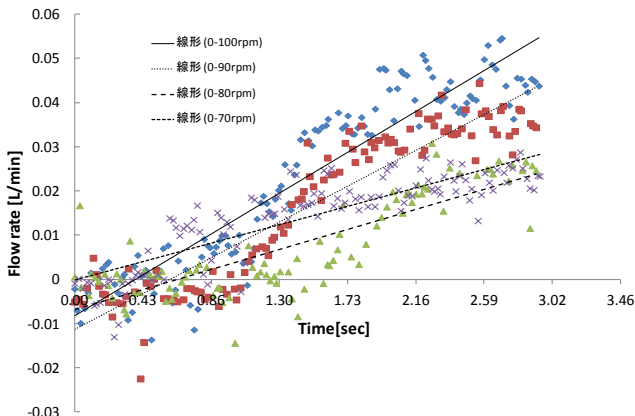


Fig.4 Effect of bovine blood results

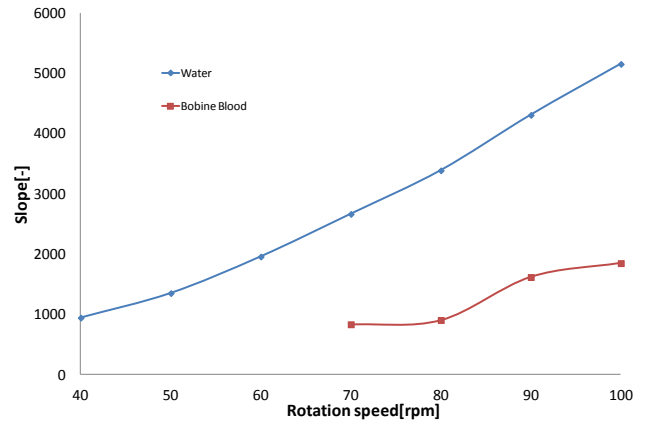


Fig.5 Bovine blood and the slope

4. 考察

Fig.3 と Fig.4 を比較すると、水の場合よりも血液で実験を行った場合の方が流量の減少があることが確認された。これは、粘度が上昇することで、モータに負荷が掛り、流量に影響が出たのだと思われる。Fig.5 を見ると、0rpm から 100rpm へと急激に回転数を変化させた場合、流量増加の傾きが変化している事が読み取れた。さらに、水と血液粘度では同じ回転数であっても傾きに大きな差が表れた。

このことから、流量の急激な変化における傾きを求めることで、血液粘度のリアルタイム測定が可能であると示唆された。

血液実験の測定では、測定波形にノイズが入っていて、70rpm 以下の回転数の解析することが出来なかった。このノイズの原因として考えられるのが、モータの近くに測定器を置いてしまった事が原因だと思われるため、ノイズ対策をする事で防げると思われる。

今後は様々な粘度で同様の実験を行い、ある粘度に対する流量の傾きの変化の測定を行う必要があることが示唆された。

5. まとめ

モータの回転数を 0rpm から 100rpm の様に、回転数に急激な変化を与えたところ、水の場合と血液の場合では流量の傾きに差異が現れた。この事から粘度によって流量の傾きに変化が現れることが確認された。

また、水から血液に変えたところ、粘度による影響の為に流量が下がることが確認できた。

これらの事から、血液粘度と急激な流量変化の傾きと流量を測定する事で、リアルタイムに血液粘度の測定が可能だと示唆された。これらを応用することで、リアルタイムに血栓形成前の血液粘度上昇の警告が出来ることが示唆された。

6. 参考文献

- [1]山根隆志・丸山修・西田正浩・小坂亮・木暮尚人・河村洋・桑名克之・山本好宏・山海嘉之・筒井達夫,補助循環用モノポット遠心ポンプの抗血栓性と耐久性,日本機械学会第 20 回バイオエンジニアリング講演論文集,p.277,2008
- [2]舟久保昭夫・福井康裕,赤血球可視化による血液の流れの解析と血栓形成の検討,日本 ME 学会 応用電子と生体工学 Vol.30 No.4 別冊,1992
- [3]菅原基晃・前田信治,血液のレオロジーと血流,日本エム・イー学会編 ME 教科書シリーズ,コロナ社,P16