

ローラー型チューブポンプにおける輸送液体の流動特性についての研究

Basic study on discharge flow characteristics of roller tube pump

○ 佐藤 克哉 (岩手大)
正 廣瀬 宏一 (岩手大)
橋本 拓哉 (岩手大)

鈴木 順 (アイカムス・ラボ)
正 福江 高志 (岩手大)
秋富 慎司 (岩手医科大)

Katsuya SATO, Iwate University, 4-3-5 Ueda, Morioka, Iwate, 020-8551
Jun SUZUKI, ICOMES LAB Co. Ltd., 4-3-5, Ueda, Morioka, Iwate, 020-8551
Koichi HIROSE, Iwate University, 4-3-5 Ueda, Morioka, Iwate, 020-8551
Takashi FUKUE, Iwate University, 4-3-5 Ueda, Morioka, Iwate, 020-8551
Takuya HASHIMOTO, Iwate University, 4-3-5 Ueda, Morioka, Iwate, 020-8551
Shinji AKITOMI, Iwate Medical University, 19-1 Uchimarui, Morioka, Iwate, 020-8505

1. 緒言

ローラー型チューブポンプ (以下チューブポンプ) とは、図 1 に示すようなローラーと押し子でチューブを押し込みしごとくことによって輸液を行うポンプであり、化学分析や薬品輸送システムなどに使われている。チューブポンプの特徴として、ローラー部 (動力部) が流体に直接触れないため、抗菌性に優れている。また、ポンプ自体が小型であるため電力消費が小さい。

そこで著者らは、災害などの緊急時にスペースを取らない人体への輸液装置として、上記の特徴を持つチューブポンプの応用を検討している。しかしながら人体に薬液を投与する際には、治療に必要な量に対して適量を確実に輸液し、かつ人体への負荷を低減するため、精密な流量制御が必要である。とりわけ緊急時には使用する環境は選択できないため、環境を選ばず安定した輸液供給を長時間可能にしなければならない。災害地における医療機器として応用するための稼働時間の確保や信頼性の向上に向け、チューブポンプの設計最適化が重要である。とりわけ、チューブ内部の流動特性を明確化し、安定な輸液輸送を達成するための指針を得る必要がある。

そこで本研究は、災害地での緊急輸液機器への適用を目指したチューブポンプの最適化を行うことを目的とした。本稿では、特に輸液を安定して供給させるために必要なチューブポンプの設計指針を獲得するために、チューブポンプから吐出される輸液の輸送特性を検証した。特にチューブポンプの動作を司るローラーの個数や配置、輸液を供給するタンクの設置位置と、ポンプから吐出される流体の流動特性の関係を検証した。

2. 実験装置および方法

2.1 計測システム

実験装置の概略図を図 2 に示す。実験装置はチューブポンプ、貯水タンク、排水タンク、面積式流量計 (日本フローセル, SCO-4, Range: 0–30 ml/min)、シリンジ、ビデオカメラ、精密天秤 (Sartorius, TE64, Range: 0–60 g) から構成される。作動流体には水を用いた。水は貯水タンクから面積式流量計を経てチューブポンプにより吸い上げられ、ポンプを通過して排水タンクに排出される。水の体積流量は、一定時間 (30 秒間) においてポンプから流出した水の質量を精密天秤で測定し、これを密度と時間で除すことにより体積流量に変換して得た。

貯水タンクの設置位置の影響を検証するため、ジャッキを用意した。ジャッキの上に貯水タンクを設置することで、設置高さを変更した。実験中に貯水タンクの水量が低下して、貯水タンクにおける作動流体の位置ヘッドが変化する可能性があるが、本実験ではタンクの直径はチューブの内径に対して十分に大きいとし、水面高さは変わらないとした。図 3 に貯水タンク水面とポンプの位置関係を示す。貯水タンクの水面高さは、チューブポンプに挿入したチューブの中心高さを 0 mm とし、-85 mm, 0 mm, 85 mm とした。

2.2 供試ポンプ

供試ポンプとしてチューブポンプ MP-3 (EYELA) を用いた。供試ポンプの緒元について表 1 に示す。本実験では、内径 3 mm、外径 5 mm のシリコンチューブを輸液用チューブとして用いた。本ポンプの出力調整はダイヤル式となっており、出力を最大 (23 rpm) および 1/4 (5 rpm) に設定して使用し、ポンプ出力と流動特性の関係を検証した。

図 4 に本研究で用いたローラーの配置を示す。図において n は取り付けられたローラーの個数、 ψ は隣り合うローラー間の角度である。チューブをしごくローラーの配置や個数の影響を検証するため、ローラーの配置条件を 8 パターン用意し実験を行い、ローラーのしごき動作とポンプの供給流量の関係を検証した。

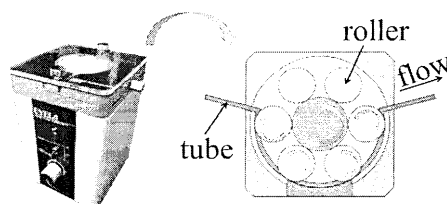


Fig.1 Image of roller type tube pump

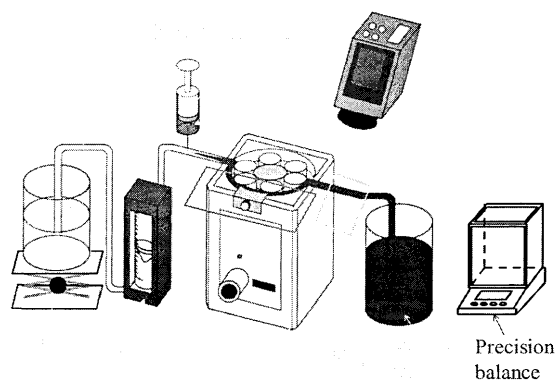


Fig.2 Measurement system of flow characteristic of roller tube pump

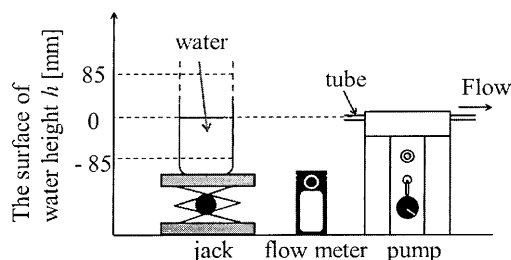


Fig.3 Position of water surface of inlet tank

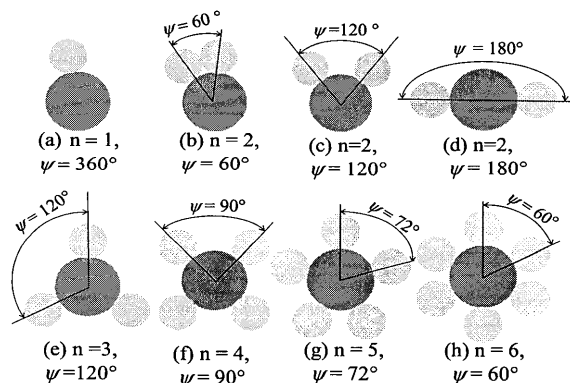


Fig.4 Mounted patterns of rollers

3. 結果と考察

まず、最大出力のダイヤル 10 に設定した場合の、貯水タンクの水面位置、ローラーの個数および配置と得られる体積流量の関係を図 5 に示す。ローラー個数が 3 個以下の場合、体積流量が大きく低下した。特にローラー個数が 1 個または 2 個でローラーが密着しており、かつ貯水タンク水面位置が低い場合は、低下の度合いが大きい。一方、図 6 に出力を 1/4 (ダイヤル 2.5) に設定した結果を示す。ダイヤル 10 の場合と同様に、ローラー個数が 3 個以下で流量が変化した。しかし図 5 では水面の位置に関わらず流量が低下するのに対し、図 6 では $h=85\text{ mm}$ のみ流量が増加している。

この原因は、個数が少なくなったりローラーの間隔が広くなったりすると、チューブが全く押しつぶされない時間帯ができることにある。チューブポンプは図 1 のように、隣り合うローラーによりチューブをしごくことで、チューブを押しつぶした位置の間に密封された流体を輸送する (図 7)。しかしローラーの個数が 3 個以下の場合、ローラー間隔が広くなり、チューブが全くつぶされない時間帯が発生する。この時間帯では、チューブの流体はローラーで止められないため、チューブ内部を自由に流れてしまう。したがって、貯水タンクの水面の位置が高ければ、貯水タンクの位置ヘッドの増加によって逆に流体が加速され、貯水タンクの水面の位置が低ければ、ローラーポンプの位置ヘッドに対して貯水タンクの位置ヘッドが低くなるため、14.7 mm の逆流が生じる (図 8 (a))。これにより、ローラー個数が少ない場合、ヘッド差によって流量にばらつきが生じると考えられる。また、ダイヤル 2.5 の場合に $h=85\text{ mm}$ で流量が増加したが、これは出力が小さい場合にローラーの回転数が小さくなることでチューブがつぶされない時間が長くなり、その間にチューブ内の流体が貯水タンクの位置ヘッドにより加速されるためと考えられる。

一方、ローラー個数が 4 個以上の場合、貯水タンクの位置によらず流量が安定することがわかった。しかし、ローラーの個数が増えると流量が低下する。これはローラーの個数が増えたことでローラーとチューブの間の摩擦力が増加し、その影響でローラーの回転数が低下したことによると考えられる。したがって、ローラーの個数には最適値があることがわかった。また、図 8 (b) に示すように、流量が安定している場合でも流れに脈動が発生する。これは、ローラーがチューブから離脱するときにチューブの形状が復元し、チューブの内部は真空になるため、その部分に水が流れこみ、その瞬間は流動が停止するためであると考えられる。したがって、ローラー個数が 4 個以上の場合、流量は貯水タンクの位置ヘッドの影響を受けないが、流れは脈動することがわかった。

4. 結言

本研究によりローラー型チューブポンプのチューブ内部の流動現象の可視化を行い以下の知見を得た。

- (1) ローラーの個数が 3 個以下の場合には、ローラー間隔が広くなり、チューブが完全に押しつぶされない区間が生じる。このようなケースでは、貯水タンクの水面位置に応じて作動流体の逆流や加速が発生してしまい、流量が変動するということがわかった。

- (2) ローラーの個数が 4 個以上になると、貯水タンクの位置の影響を受けなくなり、安定した流量が供給できるようになる。しかし、個数が増加するとチューブとの摩擦が大きくなり流量が低下するため、最適な個数がある。また、ローラーの個数が 4 個以上では、貯水タンクの位置を問わず作動流体が一旦停止することが確認できた。これは、ローラーがチューブから離脱する際のチューブの形状復元と、後部ローラーによる押し出しとの相関によるものである。

5. 参考文献

- (1) Shkolnikov, V., et al., *Sensors and Actuators A: Physical*, Volume 160, Issues 1–2, (2010), 141–146.

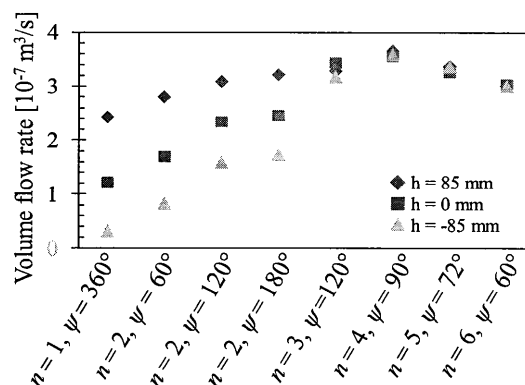


Fig. 5 Difference of volume flow rate when the dial is 10

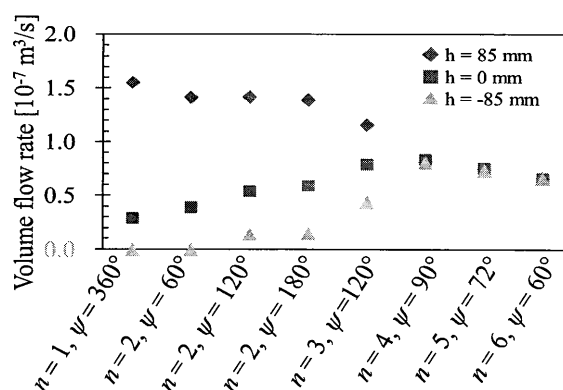


Fig. 6 Difference of volume flow rate when the dial is 2.5

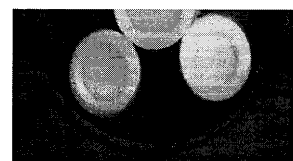


Fig. 7 Flow pattern in the roller pump

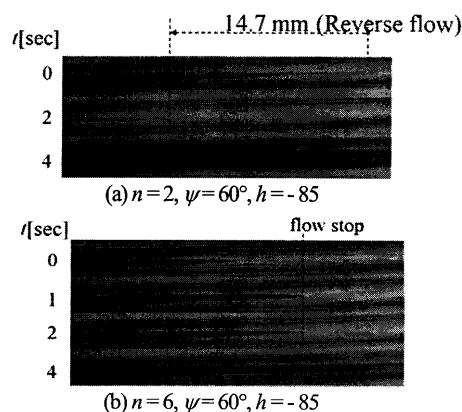


Fig. 8 Difference of flow pattern when the number of the roller is changed