

可搬型除水システムに使用する小型遠心ポンプの開発

Development of a small centrifugal pump for a portable ultrafiltration system

○山根隆志¹、山本洋敬¹、若本亮介¹、小阪 亮²、西田正浩²、丸山 修²、山本健一郎³、松田兼一⁴
¹ 神戸大学大学院工学研究科、² 産業技術総合研究所、
³ 東京女子医科大学臨床工学科、⁴ 山梨大学医学部救急集中治療医学講座

Takashi Yamane, Hiroataka Yamamoto, Ryosuke Wakamoto; School of Engineering, Kobe University
 Ryo Kosaka, Masahiri Nishida, Osamu Maruyama; National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
 Kenichiro Yamamoto; Tokyo Women's Medical University
 Kenichi Matsuda; Yamanashi University

Abstract: A small centrifugal pump has been developed for a portable ultrafiltration system. Regarding the newly developed centrifugal pump, DP2, the impeller diameter is 30 mm and the inlet/outlet inner diameter is 3.4 mm. Hemolysis test was conducted at rotational speed of rotational speed of 1500 rpm (or pressure of 30mmHg) and flow rate of 50 mL/min. The plasma free hemoglobin (PFH) was 77.3 mg/h, which was almost a quarter of commercial BioPump's PFH, 290 mg/h, at 200mmHg and 4L/min. In vitro thrombogenicity test was also conducted using low flow circuit with a bifurcation to a booster pump circuit. After the test thrombus formation was not observed except for a line behind the O-ring.

Key Words: Centrifugal pump, Dialyzer

1. 緒言

心不全のために心血管系に水が貯留し、緊急に除水が必要とするうっ血性心不全患者や、溢水となり緊急に除水が必要とする透析患者から、簡便かつ安全に除水する可搬型除水システムの新規開発を行っている。小型遠心ポンプ及び末梢静脈へのバスキュラーアクセス（カテーテル）を用いた、体外循環血液ろ過装置である。本装置の開発により、現在は透析施設の備わった病院でしか治療できなかった症例に対して、透析施設の伴わない一般病院においても血液浄化を安全に施行することを可能にする効果をもたらす。さらに本装置は、大量の透析液を必要としないため、災害時において透析施設が機能不全に陥った場合に、簡易血液浄化装置としても役立つものである。

2. 方法

羽根直径30mm、出入口径3.4mmの遠心ポンプ(DP2、図1)を試作し、性能試験と溶血試験を実施した。性能試験では回転数1500rpmで、圧力30mmHg、流量0.05L/minが達成できることが確認された(図2)。溶血試験では、ウシ1日保存血(クエン酸加全500mL)を管内径3.4mmのポンプ回路に充填し、上記ポンプ条件で4時間37°Cに維持した。

また、模擬血栓試験として、ウシ保存血500mLを管内径3.4mmの回路に充填し、分岐した管内径10mmの回路に血栓形成の起さないブースタ・ポンプ(HH300)を置いて血液を攪拌し続けた。上記と同じポンプ条件で、クエン酸と塩化カルシウムで調整しながら、血液凝固能をACT=170-190sとなるよう、37°Cに2時間維持し、試験後分解して血栓を観察した。

3. 結果と考察

DP2ポンプを、圧力30mmHg、流量0.05L/min(回転数1500rpm)のポンプ条件で回し、市販体外循環ポンプBPX80を別回路でポンプ条件200mmHg、4.0L/min

で回して、単位時間に発生する遊離ヘモグロビン総量を比較した(図3)。さらに図中にDDRとあるのはDP2ポンプの出入口径を10mmに変更し、人工心臓と同じ体循環抵抗(圧力30mmHg、流量2.7L/min)を想定して、回転数1500rpmで回した場合を示している。

DP2, DDR, BPX-80ポンプの溶血を、単純に見た目の色に相当する遊離ヘモグロビン濃度増分 ΔHb で比較すると、4時間でそれぞれ、0.492, 2.45, 1.86 g/Lであった。これを血液総量0.5Lについて遊離ヘモグロビン総量の時間あたり増加率($\Delta\text{Hb} \times V/T$)を算出すると、それぞれ、61.5, 306, 233 mg/hとなった。つまりDP2はBPX-80に比べて、溶血率が20%に過ぎないことが分かる。(なお人工心臓で使用する溶血指数NIHは、血液100Lあたりの ΔHb を見るので、この場合、評価指標にならない。)

同じく圧力30mmHg、流量0.05L/minのポンプ条件で実施した模擬血栓試験の後に、ポンプを分解したところ、低流量に起因する血栓形成が懸念されたが、実際はオーリング隅以外に血栓は観察されなかった(図4)。



図1 試作した遠心血液ポンプ(DP2)

4. 結言

ろ過方式の可搬型除水システムをめざして、小型遠心ポンプを試作し、最低限のポンプ性能と溶血特性と抗血栓性を確認できた。

参考文献

- 1) 松田兼一・平澤博之、血液浄化法の基礎知識、メディカル・サイエンス・インターナショナル(1996)
- 2) 松田兼一・平澤博之・平山陽、第 17 章血液浄化法、改訂新版図解 ICU— 循環管理編、真興交易医書出版部 p.286-321 (2002)

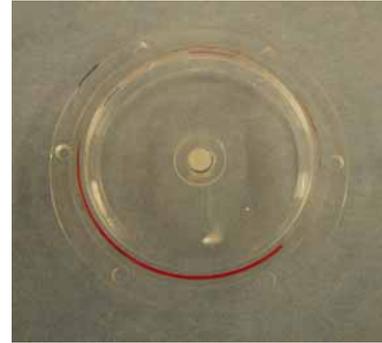


図4 模擬血栓試験結果(DP2)
圧力 30mmHg、流量 0.05L/min、2 時間 37℃

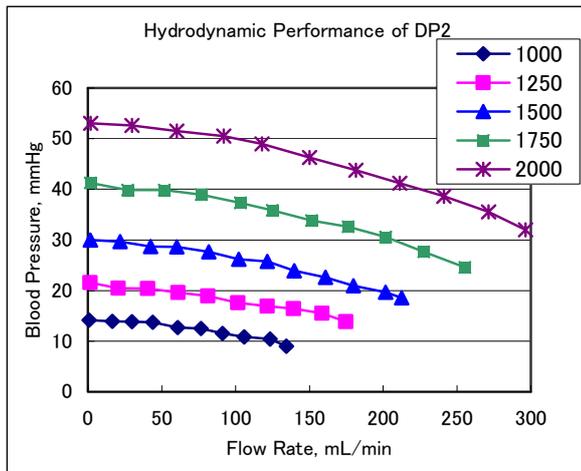


図2 ポンプ性能試験結果(DP2)

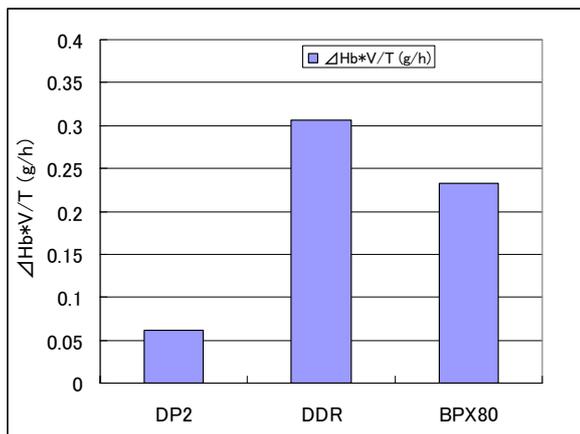


図3 溶血試験結果(血漿中遊離ヘモグロビン総量)

DP2: 圧力 30mmHg、流量 0.05L/min;

DDR: 圧力 30mmHg、流量 2.7L/min;

BPX80: 圧力 200mmHg、流量 4.0L/min