

## モノピボット遠心血液ポンプにおけるインペラ出口角がポンプの諸特性に与える影響

\*<sup>1</sup>横浜国立大学大学院工学府, \*<sup>2</sup>産業技術総合研究所, \*<sup>3</sup>泉工医科工業株式会社, \*<sup>4</sup>横浜国立大学大学院工学研究科  
後藤 大輝\*<sup>1</sup>, 西田 正浩\*<sup>2</sup>, 迫田 大輔\*<sup>2</sup>, 小阪 亮\*<sup>2</sup>, 丸山 修\*<sup>2</sup>, 山本 好宏\*<sup>3</sup>, 桑名 克之\*<sup>3</sup>,  
百武 徹\*<sup>4</sup>

*Daiki GOTOU, Masahiro NISHIDA, Daisuke SAKOTA, Ryo KOSAKA, Osamu MARUYAMA,  
Yoshihiro YAMAMOTO, Katsuyuki KUWANA, Toru HYAKUTAKE*

### 1. 目的

モノピボット遠心血液ポンプは、心疾患患者の外科的治療の一つとして行われる開心手術に用いられる一方で、急性心不全に伴う経皮的心肺補助(percutaneous cardiopulmonary support, PCPS)や右心補助など様々な長期使用の用途にも期待されている。血液ポンプの長期使用を実現するためには、血栓形成の抑制や溶血の低減といった血液適合性の向上が大きな課題である。本研究では、モノピボット遠心血液ポンプにおけるインペラ流路形状を最適化し血液適合性を向上するために、インペラ流路の出口角がポンプの諸特性に与える影響を、数値流体力学(computational fluid dynamics, CFD)解析を用いて検討した。

### 2. 方法

解析対象としたモノピボット遠心血液ポンプは4本の流路をもつ4つのインペラのモデルであり、それぞれ $\beta_2 = 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ$ の出口角を有する。CFD解析には有限要素体積法に基づく3次元流体解析ソフト(STAR-CCM+, CD-adapco)を用いて、非定常解析を行った。作動流体は血液をニュートン流体と仮定し、密度 $1,050 \text{ kg/m}^3$ 、粘度 $3 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ とした。レイノルズ応力項は $k-\varepsilon$ モデルを用いた。境界条件は入口流量 $4 \text{ l/min}$ 、出口圧力 $0 \text{ mmHg}$ とし、壁面は滑りなし条件とした。インペラの回転数は体外循環を想定した揚程 $200 \text{ mmHg}$ の駆動条件から求めた。溶血特性の指標となる赤血球損傷係数(damage

index, DI)と、抗血栓性の指標となるピボット周辺の壁せん断応力が、 $5 \text{ Pa}$ 以下となるよどみ領域の表面積を算出し比較した。

### 3. 結果および考察

溶血特性について、出口角が減少するにつれてDIが減少し、溶血特性に優れることが予測された。ここで、 $\beta_2 = 22.5^\circ$ のモデルが最も溶血特性に優れ、DIは最大値を示した $\beta_2 = 90^\circ$ のモデルよりも23%小さかった。これは、流路出口における剥離が抑制され、せん断応力が低下したためであると考えられた。抗血栓性について、出口角が減少するにつれてよどみ表面積が減少し、抗血栓性に優れることが予想された。これは、出口角が減少すると、定揚程を得るためのインペラ回転数が高くなるため、裏羽根の攪拌効果が大きくなり、よどみが改善されたと考えられた。加えて、インペラ回転数の増加に伴う洗浄孔流量の増加によってもよどみが改善されたと推察された。

### 4. まとめ

モノピボット遠心血液ポンプを体外循環を想定した駆動条件で運転する場合、出口角 $\beta_2 = 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ$ 、および $90^\circ$ のモデルを比較したところ、出口角が小さくなるにつれて、せん断応力低下による溶血特性の向上、およびピボット付近のよどみの改善による抗血栓性の向上が予測された。

### 利益相反の開示

西田 正浩, 小阪 亮, 丸山 修は、泉工医科工業株式会社より研究資金を受けている。山本 好宏, 桑名 克之は、泉工医科工業株式会社の社員である。

その他の著者には規定されたCOIはない。

### ■ 著者連絡先

横浜国立大学大学院工学府システム統合工学専攻  
(〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-1)  
E-mail. goto-daiki-nr@ynu.jp