MERAモノピボット遠心ポンプの血液適合性と内部流れ Flow Analysis of MERA monopivot centrifugal blood pump

○西田正浩¹, 木暮尚登², 山根隆志¹, 丸山修¹, 小阪亮¹, 河村洋², 山本好宏³, 桑名克之³, 山海嘉之⁴, 筒井達夫⁴

1. 産業技術総合研究所, 2. 東京理科大学, 3. 泉工医科工業株式会社 4. 筑波大学

○Masahiro. Nishida¹, Hisato Kogure², Takashi Yamane¹, Osamu Maruyama¹, Ryo Kosaka¹, Hiroshi Kawamura²

Yoshihiro Yamamoto³, Katsuyuki Kuwana³, Yoshiyuki Sankai⁴, Tatsuo Tsutsui⁴

1. National Institute of AIST, 2. Tokyo University of Science

3. Senko Medical Instrument Mfg. Co., Ltd., 4 University of Tsukuba

1. 緒言

補助循環用および開胸手術用として、手術後2週間程度の循環補助を行うことができる遠心ポンプを開発している。本ポンプは、4本の矩形断面の直線流路を有する直径 50 mmのクローズドインペラが、1点のピボット軸受とラジアル型の磁気カップリングで支持されている。プライミング量は 22 mLと小さく、ピボット軸受付近の洗い流しには、軸受付近に4枚の裏羽根を取り付けている¹⁾。

本ポンプの開発において、ポンプの内部流れは、血液適合性に深く関連するため、数値流体力学解析および流れの可視化解析を用いて、プロトタイプポンプの内部流れを解析し、評価した。

2. 解析方法

数値流体力学解析では、血液部分をおよそ 800,000 セルの格子に分割し、有限体積法により、血液の密度を 1,000 kg/m³、粘度 0.003 Pa・s とし、境界条件として流入境界条件およびインペラ壁境界とし、k-εモデルによる乱流解析かつスライディングメッシュ法による解析とした。解析条件としては、圧力 300 mmHg および流量 4 L/minを実現する、インペラ回転数 3,290 rpmとした。

CFD の妥当性の検証として、実物のポンプ性能と CFD 解析結果によるポンプ性能を比較したところ、発生圧力の誤差は 20 %程度であった。しかしながら、3 倍拡大模型、レーザライトシートおよび高速ビデオカメラを用いた流れの可視化解析では、Fig. 1 に示すように速度誤差は 5 %程度であり、速度分布に関する解析の妥当性が示された。

3. 解析結果

インペラ内の直線流路内の流れは、インペラの回転により周方向への速度成分を持ち、ボリュート内の流体を回転させた。ここで、ボリュート幅は 5 mmと余裕を持たせたため、インペラ回転数 3,290 rpmにおいても、インペラ端からの噴流がケーシングに達しておらず、ケーシングの壁せん断応力の流れの可視化解析結果は 240 Pa程度であった。本ポンプの牛血による溶血試験結果²⁾は、市販ポンプBPX-80 よりも低溶血であり、高せん断となりがちなケーシング壁近傍でのせん断の低さが一因として考えられた。

モノピボット遠心ポンプのインペラ後面を支持するピボットの周りは、回転半径が小さく、通常淀み易い領域であるため、インペラの後面隙間においてボリュートから回転中心への圧力差から生じる内向きの二次流れを利用することにより、ピボットの周りの洗い流すことができる³⁾。

本ポンプでは、インペラの後面隙間を 1.3 mmと若干大きく取ることにより、インペラの後面隙間を通過する二次流れの流量を 2.5 L/minとし、インペラ後面を支持するピボットの周りの洗い流しを促進するようにした。さらに、ピボットの周りには4枚の裏羽根を設け、Fig. 2 に示すように、そのため形成される裏羽根に区切られた4つの渦により、ピボット周りの洗い流しをさらに促進した。インペラ後面隙間流れおよび支持小羽根により形成される渦により、ピボ

ット付近の洗い流しが良い。そのため、本ポンプのIn vitro抗血栓試験では支持小羽根隅に血栓が形成された²⁾が、形状の変更のみで抗血栓性が示された。

4. まとめ

本ポンプ内流れについて

1. インペラ端からの噴流がケーシングに達しておらず、ポンプの低溶血を実現している。
2. インペラ後面隙間流れおよび支持小羽根により形成される渦により、ピボット付近の洗い流しが良い。そのため、模擬試験で形成された裏羽根隅の血栓は改善できた。

5. 参考文献

- (1) 山根他 8 名. 第 45 回日本生体医工学大会論文集 2006; 44-suppl.1:221.
- (2) 木暮他 9 名. 第 4 回生活支援工学系学会連合大会講演予稿集 2006;43:837.
- (3) 西田他 9 名. 第 19 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集 2007;06-65:56.

Fig. 1 Velocity distribution around the casing

Fig. 2 Velocity distribution around the pivot