B307

オープンインペラ遠心式人工心臓の流れの可視化解析

杉山大介[○](東京理科大学), 山根隆志(産業技術総合研究所),
河村 洋(東京理科大学), 宮越貴之(サンメディカル技術研究所),
山崎健二(東京女子医科大学)

Flow visualization of a centrifugal artificial heart with an open impeller
Daisuke SUGIYAMA, Takashi YAMANE, Hiroshi KAWAMURA,
Takayuki MIYAKOSHI, Kenji YAMAZAKI

ABSTRACT

The aim of this study is the evaluation of the fluid dynamic characteristics regarding the blood compatibility of a centrifugal artificial pump developed by Sun Medical Technology Research Corp. Visualized sections were the centrifugal vane, the inducer and the transition regions, and outlet region. 4time-step tracking method and spring model method were used for particle tracking velocimetry. Smooth flow around curved vanes, sufficient shear flow around shaft and steady flow with low shear in the outlet were verified through the present study.

Keywords: Particle tracking velocimetry, Centrifugal blood pump

1. 序論

埋込み型人工心臓の内部では、低剪断領域での血栓形成(血液凝固)や高剪断領域での溶血(血球破壊)を防止しなければならない。本研究では、体内埋込みを目指した人工心臓の血液適合性に対して、流体力学的観点からポンプ内の流れを可視化し粒子画像流速測定法を用いて解析をした。

2. 実験方法

可視化対象としては、㈱サンメディカル技術研究所開発の補助人工心臓EVAHEARTの亚克力製3倍模型(Fig.1)を用いた。直径40mm、4枚羽根を有する遠心ポンプである。Arイオンレーザ(4[W])を照明に、高速度ビデオカメラ(毎秒 4500 コマ)により撮影した。可視化解析には四時刻粒子追跡法及び、バネモデル法を用いた。作動流体には亚克力と屈折率の等しい 64wt%ヨウ化ナトリウム水溶液を使用し、追跡粒子は作動流体と比重の等し

い平均粒径 150 μm の二酸化ケイ素粒子(比重 1.9)を適用した。可視化断面には、遠心羽根部、過渡形状部、インデューサ部、出口部(水平・垂直)を選んで実験を行った。(Fig.2)

3. 実験結果

3.1 遠心羽根部

まず、遠心羽根部内での断面について、分布を示す。この断面では、オープンインペラであるにもかかわらず、流れは羽根の曲線に良く沿っていることがわかる。ケーシング壁近傍の剪断分布に関しても、溶血の経験的判定基準としている 100,000 s^{-1} に十分な余裕を持っていることが明らかになった。ここで、ポンプ底面を 4 つの領域に分け(Fig.3)、各々の領域での半径方向流出量を算出し、比較した。その結果、流出口直前の図中第 1 領域、第 2 領域の流出量が大部分を占めており、第 3 領域の流量変化が大きいことがわかった。

3.2 過渡形状部

本血液ポンプでは、遠心羽根部とインデューサとの間に過渡形状羽根部が存在している。この部分は羽根の根元に切り欠きを有しており、これにより軸周りの剪断上昇をねらっている。可視化結果によりでも軸周りに十分な剪断分布を保っていることが明らかになった。(Fig.5)

Fig.1 Experimental apparatus

3.3 出口部

この断面では、出口形状の異なる2つのモデルについて比較を行った。舌部形状が鋭い方は、出口の流れの様子が非定常に乱れているが、滑らかな方では、非定常な乱れがほとんどないことがわかった。剪断速度の分布は、いずれも溶血限界の $100,000\text{ s}^{-1}$ に十分な余裕を持っていた。(Fig.6)

4. 結論

曲率を持ったオープンインペラでも、流体力学的剥離が少なく、半径流量は出口に至る前の半周に集中する傾向がわかった。また、切り欠き部が存在することで、シャフト周りに高い剪断を誘導している。出口部は舌部が鋭いものより、滑らかな方が非定常乱れを防止できることが観察できた。これらの血栓対策の効果及び、流体力学的特性の改善が可視化計測により明らかになった。

参考文献

- 1) K. Yamazaki et al., Artificial Organs, 22 (1998) pp.466-474
- 2) 宮本他: 日本機械学会バイオエンジニアリング講演会 (2001) pp. 199-200

Fig.2 Visualized sections

Fig.3 Segment flow rates

Fig.4 Centrifugal vane region

Fig.5 Relative velocity at Transitional section

Fig.6 Velocity distribution of outlet section