235 各種機械的人工僧帽二葉弁デザインが心室内三次元流れ場に与える影響

Influence of the several mechanical bi-leaflet prosthetic mitral valve designs on the three dimensional flow field inside the ventricle

○正 阿久津 敏乃介 (関東学院大), 齊藤 淳 (関東学院大院), 福田 孝将 (関東学院大院), 今井 亮太 (関東学院大院), 森 一将 (関東学院大院)

Toshinosuke AKUTSU, Kanto Gakuin Uni., 1-50-1 Mutsuura-Higashi, Kanazawa-ku, Yokohama

Jun SAITO, Graduate School of Kanto Gakuin Uni., 1-50-1 Mutsuura-Higashi, Kanazawa-ku, Yokohama

Takamasa FUKUDA, Graduate School of Kanto Gakuin Uni., 1-50-1 Mutsuura-Higashi, Kanazawa-ku, Yokohama

Ryota IMAI, Kanto Gakuin Uni., 1-50-1 Mutsuura-Higashi, Kanazawa-ku, Yokohama

Kazumasa MORI, Kanto Gakuin Uni., 1-50-1 Mutsuura-Higashi, Kanazawa-ku, Yokohama

Key Words: Artificial organs, Artificial heart valve, Flow visualization, Dynamic PIV

1. 緒言

人工心臓弁の歴史は50を越し、現在では最も成功している人工臓器の一つであるが、血栓形成は溶血などの問題はまだ解決できていない。このため、次世代人工弁の開発のため流体力学的評価が重要とされている。本研究では、代表的な機械的人工心臓僧帽二葉弁であるSt. Jude Medical弁 (SJM弁), Jyros弁 (JR弁), On-X弁を模擬左心室に装着し、弁形状や装着方向の違いが心室内流れへ与える影響を時系列解析が可能なDynamic PIV法を用いて実験的評価を行ったものである。

2. 実験モデル及び実験装置

実験で用いた実験装置をFig. 1に、人工心臓弁をFig. 2に示す。人工弁は以下の機械的二葉弁を使用した。

- (1) St. Jude Medical Valve, (SJM, 29mm, Opening angle=85°, St. Jude Medical Inc.)
- (2) Jyros Valve, (JR, 27mm, Opening angle=80°, Manley-Western, Ltd.)
- (3) On-X Valve, (OX, 27mm, Opening angle=90°, Medical Carbon Research Institute)
- (4) Edwards MIRA Valve, (MIRA, 27mm, Opening angle=80°, Edwards, Ltd.)

実験条件は、心拍数 71 BPM, 一回心拍出量(Stroke Volume) 64 ml, 流量 4 l/minであり、成人男性の安静時を模擬し、供試流体は生理食塩水を用いた。

3. 結果および考察

Fig. 2では各実験弁をAnti-anatomical orientationに装着し、B-B断面における速度ベクトルと乱流応力値を示す。乱流応力値は色の濃淡により流れの乱れの大きさを確認できる。すべての弁の解析結果の検討より、心室内流れの特徴として流れの加速期初期、加速期後期、ピーク期、減速期の4つに分類ができる。

Figure 1 The experimental facility

Figure 2 Photographs showing the test valves: (1) the SJM valve, (2) the JR valve, (3) the OX valve, (4) the MIRA valve

SJM弁装着時の流れ場は、加速期初期には左右オリフィスより心室壁面へ向かう流れが形成されるが、中央オリフィスからの流れはほとんど無い。加速期後期になると中央オリフィスの面積増加に伴い流れが強くなり、左右からの流れと共に心室下部に向かう直線的な流れになった(Fig 3(a))。

JR弁装着時の流れ場は、加速期初期より左右オリフィス及び弁葉の湾曲のため心室壁面に向かう強い流れが形成され、加速期後期、ピーク期にかけてその流れが継続されている。また中央オリフィスからの流れがほとんど確認されなかった。ピーク期にはこの流れが大きな渦として心室内に形成されることが分かった(Fig. 3(b))。

On-X弁装着時の流れ場は、弁開放直後は左右に偏流することが見られたが、SJM弁・JR弁と違い、加速期初期から中心を形成する流れが強く、中央オリフィスからの直線的な流れが形成された。加速期後期とピーク期にかけて継続することが分かった。弁入口のフレアーの形状、大きな開放角が影響したものと思われる。さらに、他の弁より乱流応力値が小さいことも確認できた(Fig. 3(c))。

MIRA弁は、弁開放直後は左右に偏流することが見られ、加速するにつれ、偏流は残るが同時に中心オリフィスの面積も大きくなり、その結果比較的一様な下向き流れが形成された、しかしながら、加速後期とピーク期にかけて中心オリフィス以外の流れが外側に拡散するように偏流する事が見られた(Fig. 3(d))。

4. 結 言

- 1) 各弁のデザインの違いが、流れ場、流速、乱流応力に大きく影響することが分かった。
- 2) すべての弁において弁直下の流れの速い所、また大きな渦を形成する所で高い乱流応力値が確認できた。
- 3) 比較的新しいOn-X弁とMIRA弁は、中心オリフィスの流れが改善された。

Figure 3 Typical figures showing the typical velocity and turbulent stress distribution at B-B section inside the simulated ventricle with the mitral valves in the antianatomical position during the peak flow phase: (a) the SJM valve, (b) the JR valve, (c) the OX valve, and (d) the MIRA valve (72BPM)