機械的人工僧帽弁形状と下流乱流応力場の関連

Correlation between the mechanical mitral bi-leaflet prostheses and the associated downstream turbulent field.

○齋藤 淳, 阿久津 敏乃*

関東学院大学大学院工学研究科

*関東学院大学工学部機械工学科

Jun SAITO, Graduate school of Engineering, Kanto Gakuin University

Tosinosuke AKUTU, Dept. of Mechanical Engineering, Kanto Gakuin University

1. 緒言

心臓弁の役割は血液を一方に制御することにあるが、様々な弁膜症により正常でなくなると、心臓が機能不全に陥る。そのため必要に応じ、機械的人工心臓弁（以下、人工弁）等への置換手術が用いられている。人工弁は、人工臓器の中でも臨床的に成功している人工臓器の一つであるが、生体弁に比べ溶血や血栓などの問題を抱えており、次世代の人工弁の開発や血行動態・抗血栓性・溶血等の問題を解決する上で流体力学的検討が重要である。

本研究は代表的な二葉弁の SJM 弁と、JR 弁、MIRA 弁、ON-X 弁を用い、異なるデザインの弁が形成する心室内流れの影響を、真の時系列解析が可能な高度な可視化手法である Dynamic PIV 法¹⁾(Time resolved-Particle Image Velocimetry)を使用し、取得した連続画像を基に速度ベクトルの比較や、溶血を引き起こす原因の一つであると考えられる乱流成分について比較、検討した。

2. 実験装置、実験モデル概要

実験装置は Fig.1 に示す装置を使用し、透明なアクリルケース内のモデル左心室の上部に各種人工弁を取り付け、コンピュータ制御されたアクチュエータを稼働させ、機械的に拍動流を作り出すことで、心室内の流れを模擬した。内部に形成される流れを高解像度高速度ビデオカメラ(Phantom606, Vision Research Inc., USA)とパルスレーザ(DM10-527, Photonics Industries Inc., U.S.A.)を用い、可視化実験を行った。

3. 実験方法

人工弁の装着方向は、実際の僧帽弁と同様の方向を Anatomical orientation、その向きから、90° 弁葉を回転させ装着した方向を Anti-anatomical orientation とし、それぞれの場合の心室内流れに P.C.V.トレーサ粒子を混入し、レーザーシート光で照射された部分を、高解像度高速度ビデオカメラで連続撮影を行った。

Fig. 1 Schematic drawing of the Pulsatile flow facility used during experimental program

4. 実験結果

心室内の流れ場を加速期初期、加速期後期、ピーク期、減速期の 4 つに分類し検討した。Fig.2 に流れの加速後期における各弁の速度及び乱流応力分布図を示す。加速期後期では心室に流入する流れが最も強くなり、二葉弁の特徴である中心オリフィスからの流れが強くなっていく。しかしながら、直線的な弁葉を持つ SJM, ON-X に対し、湾曲した弁葉を持つ JR, MIRA はそれほど強い中心流れを形成しておらず、流れは拡散する傾向にあるのが分かる。

また、直線的な弁葉を持つ SJM, ON-X を比較すると、ON-X の方がより直線的な流れ場を形成しているのがわかる。

5. 結言

- 1) 弁形状のデザインの違いにより心室内の流れ場が大きく変化し、応力分布に大きな違いが生じた。
- 2) 弁葉が直線的な人工弁は心室内に直線的な流れを形成しやすく、安定した応力分布であると言える。

参考文献

- 1) 齋藤 淳：機械的人工僧帽二葉弁まわりの Dynamic PIV による流れ解析，2004 年度関東学院大学卒業論文，(2004) pp.2-4, pp.16-20

Fig.2 Figure shows stress area obtained for the SJM, the ON-X, the JR and the MIRA valves by using Dynamic PIV system. (during accelerating flow phase, anatomical orientation, B-B section)