

## 機械的二葉大動脈弁による大動脈流れと冠動脈流れの相関

### Correlation between aortic flow affected by the bi-leaflet mechanical valve and coronary circulation

○阿久津 敏乃介 (関東学院大) 松本 顕 (東プレ)

高橋 一仁 (関東学院大院)

Toshinosuke AKUTSU, Kanto Gakuin Univ.

Akira MATSUMOTO, Topure Inc.

Kazuhito TAKAHASHI, Graduate School of Eng., Kanto Gakuin Univ.

*Key Words:* Dynamic PIV, Prosthetic Heart Valve, Aortic Flow, coronary circulation

#### 1. 緒言

体循環系の心臓弁は、全身に血液を送り出しているため負担が大きく、特に左心室の出口となる大動脈弁周りは圧力が高くなるため損傷しやすく、機能不全を起こすことがある。そのような場合に有効な治療法の一つに人工心臓弁(人工弁)への置換手術がある。しかし、自然弁と形状の異なる人工弁に置換すると、弁による流れの変化と乱れによる血球の破壊、血小板の活性化に起因する血栓の発生、また大動脈弁出口付近に存在する冠状動脈口への流れが変化する可能性がある。

本研究は、代表的な三種の人工二葉弁を装着した場合に、弁形状が大動脈流れおよび冠状動脈流に与える影響を比較・検討するものである。

#### 2. 実験モデルおよび実験方法

Fig. 1 に三種類の機械的人工二葉弁を示す。St. Jude Medical valve (SJM 弁)は弁葉が直線的で最も古くから使用されている二葉弁であり、Edwards MIRA valve (MIRA 弁)は弁葉が円周方向に湾曲している弁で、中央オリフィスの開口面積が広いという特徴を持つ。On-X valve (On-X 弁)は弁葉の開口角度が 90° と広く、流れを妨げないように設計されている。

実験で使用した心臓拍動流シミュレーション装置および実験条件を Fig. 2 に示す。この装置は、Fig.3 に示す大動脈モデルを用い大動脈部位に設置し、コンピュータ制御のアクチュエータによって拍動流を再現する。また、大動脈のバルサルバ洞に冠状動脈を取り付け、冠状動脈部の流速を測定する。

人工弁を大動脈モデル内に Fig.4 に示す方向に装着後、実験装置に取り付け、実験をおこなった。なお、大動脈および僧帽弁両中心を通る垂直面に対し平行に位置する方向を 180° 装着方向 (Fig. 4a)、この面に垂直な方向を 90° 装着方向とした (Fig. 4b)。

流れ場の解析は、Dynamic PIV 法を用い解析を用いておこなった。解析対象領域をレーザ射出機 (DM10-527, Photonics Industries Inc, USA)を用いパルスレーザシート光を照射し、高速度ビデオカメラ (Phantom607, Vision Research Inc., U.S.A.)により 1900[frames/s]の撮影速度でイメージを記録した。得られた対の画像より Insight (TSI Inc, USA)を用い速度ベクトルデータの算出をおこない、Tecplot (Amtec Inc, USA)にて乱流応力の算出および分布の比較・検討をした。

なお、拍動流シミュレーション装置の冠状動脈内流速は超音波双方向血流計 (Smartdop45, Hadecco Inc., Japan)に

より測定をおこなった。

#### 3. 結果と考察

##### 3-1 PIV 法による流れの可視化・解析結果

実験の結果、大動脈弁周り流れを、加速期初期、加速期後期、第一減速期、ピーク期、第二減速期の五種類の流れに分類できることがわかった。流速は加速期後期、ピーク期で非常に強くなる。Fig. 5 に流れのピーク期における各弁の N 断面における速度ベクトル図および乱流剪断応力図を示す。比較的新しい MIRA 弁と On-X 弁は、中央オリフィスの流速が増加し、この部分における流れが改善されたことが窺える。しかしながら、弁開放時にディフューザの形状を示す MIRA 弁は、乱流剪断応力が下流まで及んでいることが見られた。Fig.6 に MIRA 弁のバルサルバ洞内流れに対応する L 断面における弁 180° 装着方向、および 90° 装着方向の流れのピーク期における大動脈内の速度ベクトル図を示す。全体的には弁 180° 装着方向の流れは 90° 装着方向に比べ速い傾向を示したが、バルサルバ洞内流れに限っては、90° 装着方向の方が早い循環を示した。他の弁では、この逆の傾向が見られた。

##### 3-2 超音波血流計による測定結果

超音波双方向流量計を使用し冠状動脈の流速を、各弁、各装着方向において測定した。例として、MIRA 弁 180° 装着方向の流速および 90° 装着方向の流速を示す (Fig. 7,8,9)。90° 装着方向の流速の方が明らかに速い。そのほかの弁は 180° 装着方向で流速が最大となった。今回の測定で、冠状動脈への流入は、測定条件にかかわらず一度の拍動で二回のピークがあることがわかった。最大流速は Table 1 に示すように、MIRA 弁は 90° 装着方向で最大となり、そのほかの弁は 180° 装着方向で流速が最大となった。

各弁間の若干の物理的寸法や形状の相違、特に弁葉の湾曲が、流れ場に与える影響が明らかになり、さらに、新しい二葉弁は中央オリフィスの流れに向上が見られるが、乱流応力が高い水準にあることがわかった。

PIV 法による解析の結果、冠状動脈なしのモデルに比べ、冠状動脈ありのモデルでは左バルサルバ洞内の渦や逆流が縮小することが見られた。これは、冠状動脈への流れの分岐分、主流の流量減少による変化だと考えられる。また、加速期後期とピーク期において、左バルサルバ洞で強い循環流れが発生することがわかった。

冠状動脈流速測定により、SJM 弁と On-X 弁においては 180° 装着方向で強く、MIRA 弁は 90° 装着方向で強いことがわかった。また、流れ場の観察より、この順で

左バルサルバ洞で強い循環流れが発生することがわかった。また、大動脈流れ主流部分では、SJM弁、On-X弁では180°装着方向で最大、MIRA弁は90°装着方向で最大となり、弁葉の形状が大きく関係していると考えられる。MIRA弁は弁葉湾曲のため流れが拡散し、バルサルバ洞への流れのあり方が他の弁と違い、90°装着方向のとき冠状動脈への流れを強化したと考えられる。

この結果から、加速期後期とピーク期でのバルサルバ洞の流れの強さが冠状動脈流れの強さに直接影響していると考えられる。

#### 4. 結言

弁葉の形状、装着方向が大動脈流れ場および冠状動脈流れに影響を与える

新しい二葉弁は、中央オリフィスの流れが改善されたが、MIRA弁は、比較的強い乱流剪断応力が見られた。

冠状動脈流れの強さはバルサルバ洞内の循環流れの影響を受ける

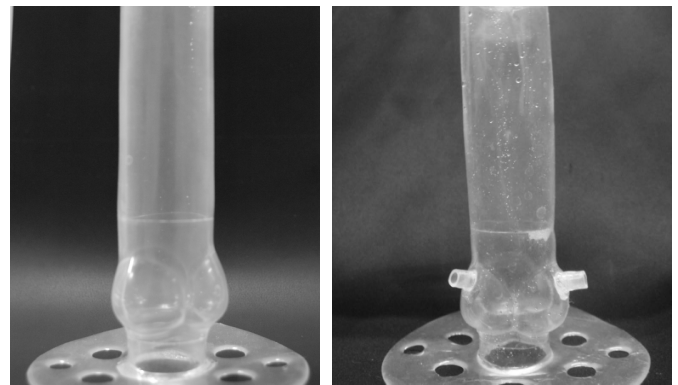


Fig.3 Photographs showing test model aorta used for this study: model without coronary (left) and model with coronary




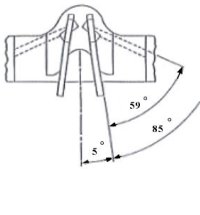
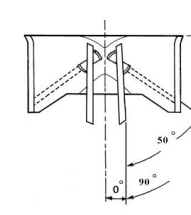
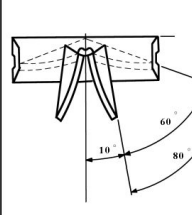
SJM	On-X	MIRA
Straight leaflet	Straight leaflet	Curved leaflet
		
Nominal dia. 29mm Inside dia. 24.3mm Outside dia. 27.2mm	Nominal dia. 27mm Inside dia. 23.5mm Outside dia. 26.3mm	Nominal dia. 27mm Inside dia. 23.4mm Outside dia. 25.4mm
		

Fig. 1 Schematic drawings showing test bi-leaflet valve used during the test program

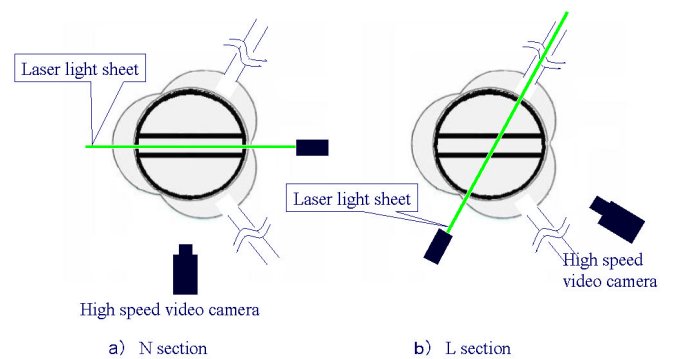


Fig.4 Laser light sheet arrangements and 180° valve installed orientations used for this study

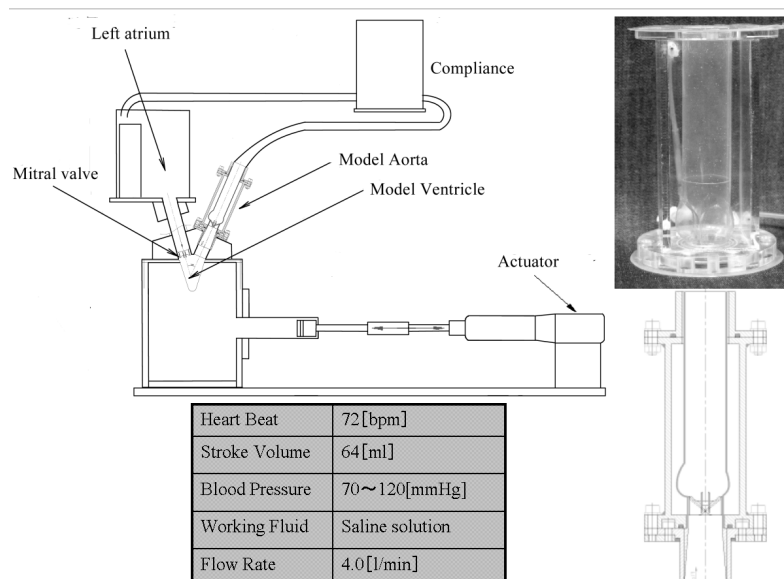


Fig.2 Pulsatile facility and test conditions used for this study

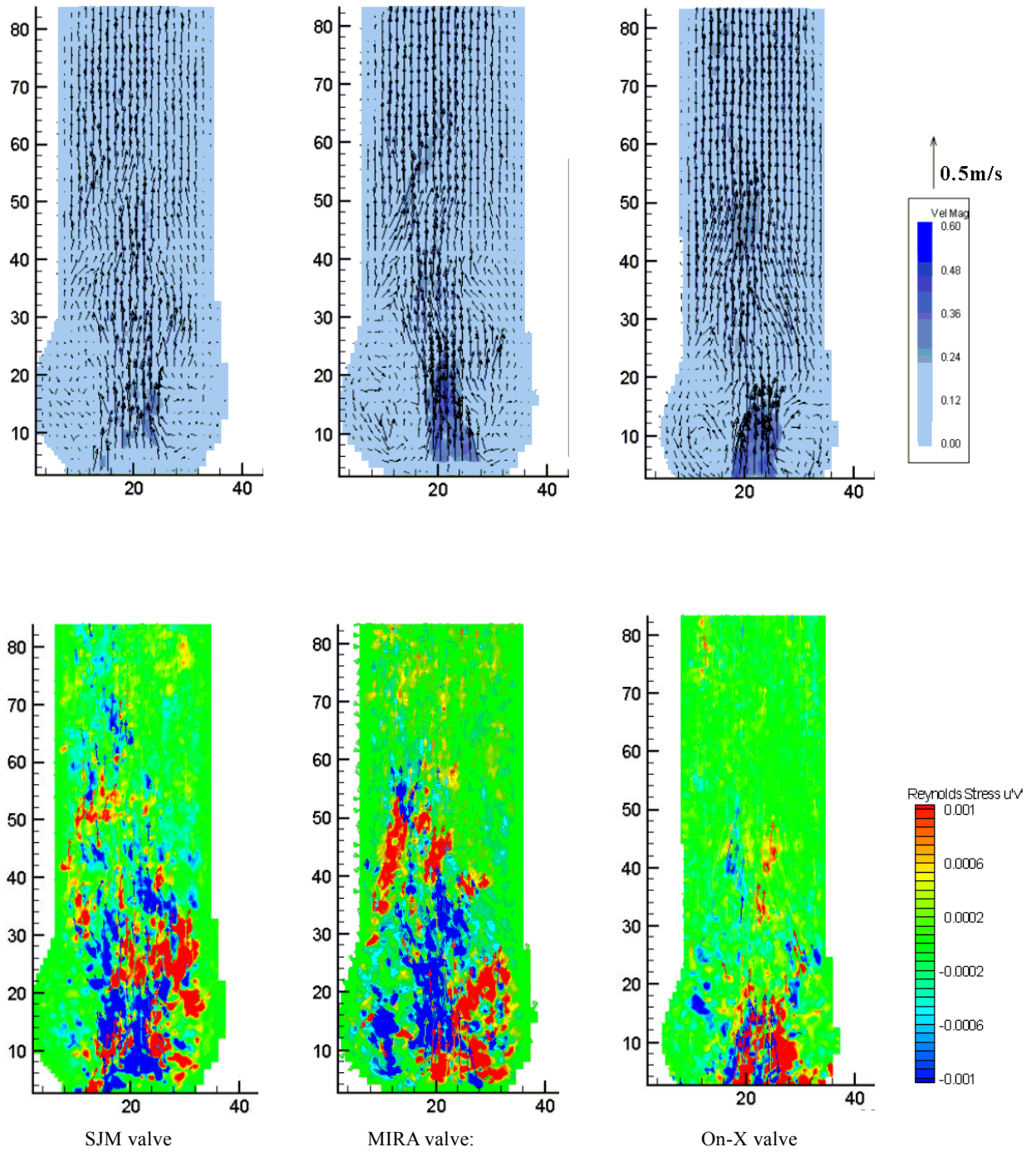
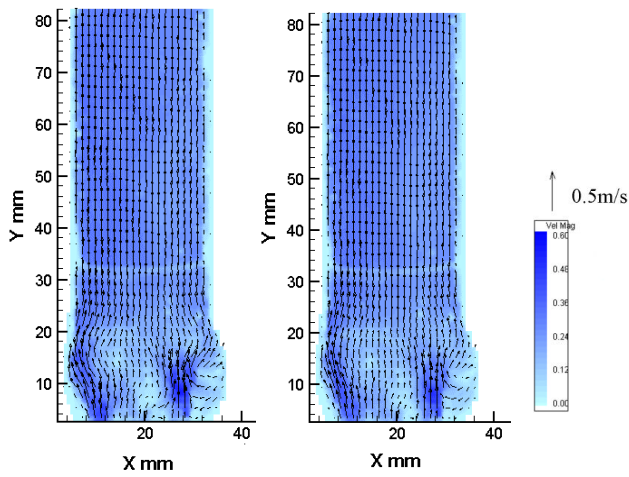


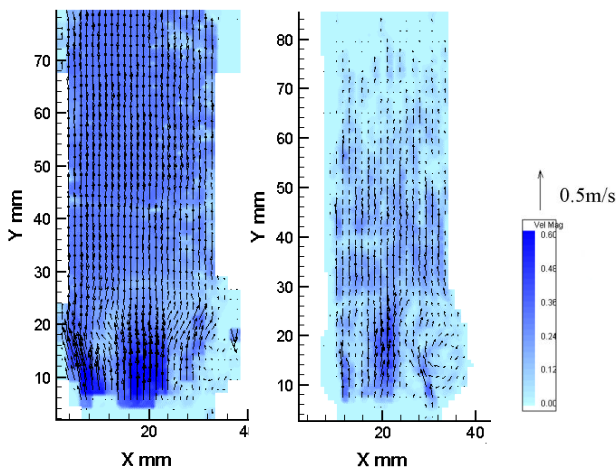
Fig5 Comparison of typical velocity vector profiles and turbulent shear stress distributions during peak flow phase at N section: 180° valve installed orientation

Table 1 Maximum velocity recorded in the coronary circulation (cm/s)

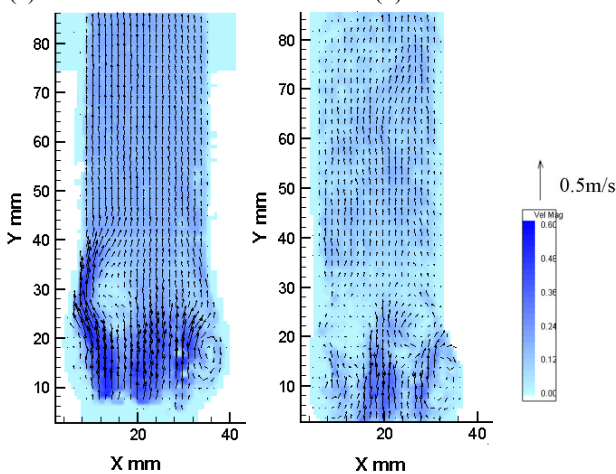
	90°orientation	180°orientation
SJM valve	44.2	47.0
MIRA valve	53.0	46.9
ON-X valve	40.7	43.7



(a) SJM valve: 180° (b) SJM valve: 90°



(c) MIRA valve: 180° (d) MIRA valve: 90°



(e) On-X valve: 180° (f) On-X valve: 90°

Fig.6 Typical velocity vector profiles during acceleration flow phase: 180° valve installed orientation (left) and 90° valve installed orientation (right)

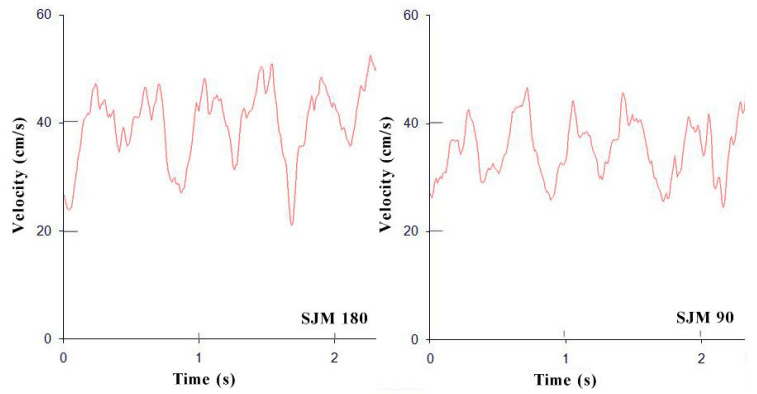


Fig.7 Typical velocity change inside the coronary circulation measured by ultrasonic blood flow meter: SJM valve was installed at 180° orientation (left) and 90° orientation (right)

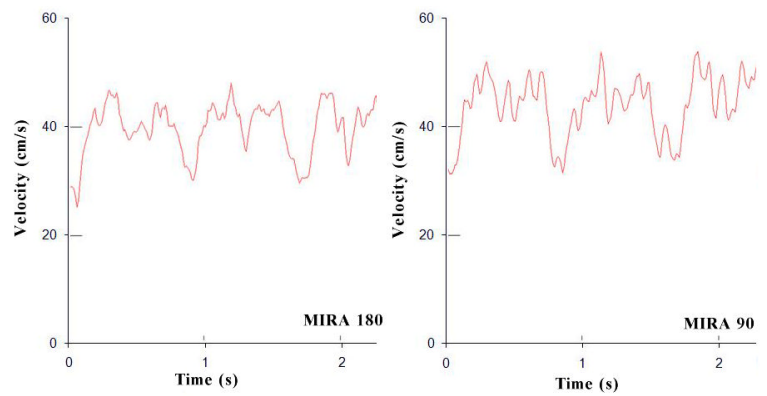


Fig.8 Typical velocity change inside the coronary circulation measured by ultrasonic blood flow meter: MIRA valve was installed at 180° orientation (left) and 90° orientation (right)

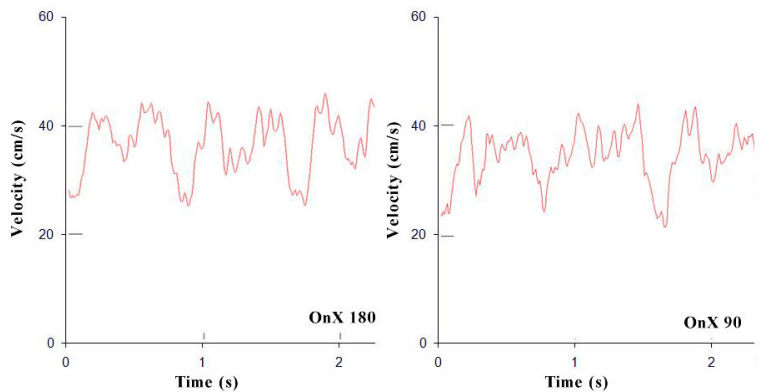


Fig.9 Typical velocity change inside the coronary circulation measured by ultrasonic blood flow meter: OnX valve was installed at 180° orientation (left) and 90° orientation (right)