

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：32704

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25462151

研究課題名(和文) 右室流出路再建に用いるePTFE弁の弁開閉メカニズムの基礎研究

研究課題名(英文) Basic research of valve opening-closing mechanism of ePTFE valve conduit used for right ventricular outflow tract (RVOT) reconstruction

研究代表者

阿久津 敏乃介 (Akutsu, Toshinosuke)

関東学院大学・理工学部・教授

研究者番号：90231852

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、小児右室流出路再建に良好な京都府立大学山岸正明教授らの膨らみを有するePTFE弁内の弁葉形状、bulging sinus形状が、弁開閉に与える影響を検証することにある。初年度は模擬大動脈を用い、弁開口面積の変化に対する膨らみの影響と、最適寸法について検討し、流れ場解析により、膨らみ内の渦の重要性、弁葉形状変化の影響を検討した。研究2年目は、膨らみ具合に変化を加えた実験を実施し、実験範囲の拡大を図った。最終年度は、実寸法のePTFE弁モデルを使用し、更に精度の高い実験を実施し、大動脈モデルでの結果に類似した結果が得られ、膨らみ内の渦の動きにかなりの違いがあることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Purpose of this research is to evaluate the leaflet and bulging sinus profile effect on valve opening-closing mechanism of ePTFE valve introduced by Prof. Yamagishi of Kyoto Prefectural Medical University. This valve has bulging sinus and good clinical record for Right Ventricular Out Flow Track Reconstruction. First year research was to evaluate bulging sinus size on valve opening area change using aorta as working model. Importance of vortex inside the bulging sinus and leaflet profile shape were observed and analyzed using Dynamic PIV flow field analysis. Second year research included more finely varied bulging sinus size aiming to broaden the scope of research. Final research was to execute experiment using live-sized ePTFE valve model and facility. Similar results were obtained using new model and facility. Results also clarified that movement of vortex inside the bulging sinus of new model behaved differently.

研究分野：心臓外科(人工臓器)

キーワード：人工心臓弁 ePTFE弁 PIV

1. 研究開発当初の背景

小児における右室流出路再建時に良好な結果を示している京都府立大学山岸正明教授らの bulging sinus を有する ePTFE 弁¹⁾の弁開閉メカニズムの流体力学的解明は極めて少なかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ePTFE 弁内の流れ場、特に弁葉形状、bulging sinus 形状が、弁開閉に与える影響を実験的に検証さらには膨らみ形状の最適化をすることにある。

3. 研究の方法

(1) 初年度の研究

初年度における研究の最初のシリーズは、ePTFE 弁のバルサルバ洞状の膨らみの大きさの程度に注目し、膨らみの大きさが弁開閉に与える影響の検討を目指し、研究第一段階として、全体的な形状も膨らみも類似で、すでに製作経験がある大動脈に置き換え、これを拡大モデルとして用い、実験により弁の開閉面積を直接観察し比較・検討することにより、膨らみ具合が弁開閉に与える影響のメカニズムを解明することが主たる目的である。

実験で使用した人工心臓弁モデル (Fig.1)²⁾は、先行研究³⁾を参考に、PVC(ポリ塩化ビニール樹脂)を用いて製作した。ステント付のモデルである。

実験に用いた導管モデルは (Fig.2)²⁾、バルサルバ洞状の膨らみの大きさが、弁開口面積に与える影響の比較をおこなうため、先の大動脈弁研究に用いた大動脈モデルを基本に、1.0 倍モデル、0.5 倍モデル、1.5 倍モデルを 3D プリンターにて製作し、シリコン大動脈製作の型として用いた。

モデルは、透明なシリコンにより、内部の流れ観察を可能とし、心臓拍動流シミュレーション装置に取り付け、拍圧を成人男性の安静時を模擬し実験をおこなった。

弁開閉は、デジタルカメラ(CASIO EX-F1)によるハイスピード動画(300 frames/s, 512x384pixel)で記録し開口面積解析をおこなった。

モデル内流れ場の様子は、循環流体に、トレーサー粒子(PCV, 50 μ m)を混濁し、レーザー射出機(DM10-527, Photonics Industries Inc, U.S.A)によって、レーザーシート光を照射し、



ハイスピードビデオカメラ

Fig.1 Photographs showing test valve with strut model used for this study²⁾



Fig.2 Photographs showing test aorta models used for this study: 50% Sinus of Valsalva (left), Normal Sinus of Valsalva (center), and 150% Sinus of Valsalva (right)²⁾

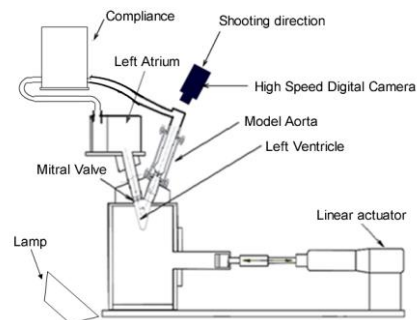


Fig.3 Pulsatile facility and test conditions used for this study³⁾

(Phantom607, Vision Research inc, U.S.A, 解像度 1024x512pixel, 1900[frames/s])により記録した.

解析は Insight (TSI Inc, U.S.A) にて速度ベクトルの算出を行い, 流れ場の比較を行った.

その結果 (Fig. 4)⁴⁾ 流れの加速期において作動流体に水を用いた時の弁直下流における弁近傍流れ場の比較では, バルサルバ洞がある場合 (Fig. 4(right)) と膨らみがない場合 (Fig.4(left)) では, 渦の位置に大きな影響を与えた. 膨らみ具合が渦中心位置に与える影響は, 膨らみが大きいほど弁葉位置に近くに渦が位置することが明らかになった (Fig.5)⁵⁾. 渦の中心は, 低圧であり, 渦の位置が弁葉の開きに大きな影響を与えていると思われる.

弁葉開口面積の時系列変化 (Fig. 6) によれば, バルサルバ洞状の膨らみが大きいほど開口面積が大きいことが観察された. このことから, 膨らみ有りの弁葉先端部に集中的に発生した渦流が, 弁の開閉の開口面積, 速度に影響を与えていることが確認できた.

その結果は, 関東学院大学理工/建築・環境学会研究報告, 第 51 回日本人工臓器学会大会/第 5 回国際人工臓器学術大会, 第 40 回ヨーロッパ人工臓器学会および The 15th ICBME2013, Singapore にて発表された.

(2) 研究 2 年目

研究 2 年目は, 更に精度の高い実験結果の獲得と膨らみ具合および弁葉形状に変化を加えた実験を実施し (Fig.7,8)⁵⁾, 初年度の結果の確認と実験範囲の拡大を図った (Fig. 9,10)⁵⁾.

また, 肺動脈を模擬したモデルと循環系による実験的研究の装置の作製と, これを用いた初期の実験を実施した. この結果は, 第 52 回日本人工臓器学会大会, ヨーロッパ人工臓器学会 (The 41th Congress of the ESAO, Rome,

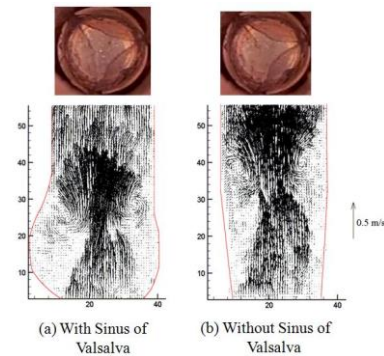


Fig. 4 Figure shows the typical velocity vector immediately after the valve open for the Aortic flow with (left) and without (right) Sinus of Valsalva⁴⁾

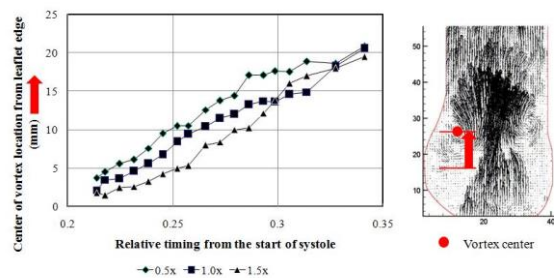


Fig. 5 Vortex center movement as affected the sinus of valsalva: Glycerol-water solution⁴⁾

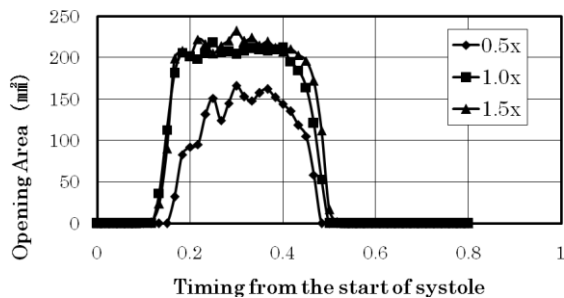


Fig. 6 Opening area comparison for the aortic flow various sinus of valsalva: water solution, pressure set at 120/90 mmHg⁴⁾

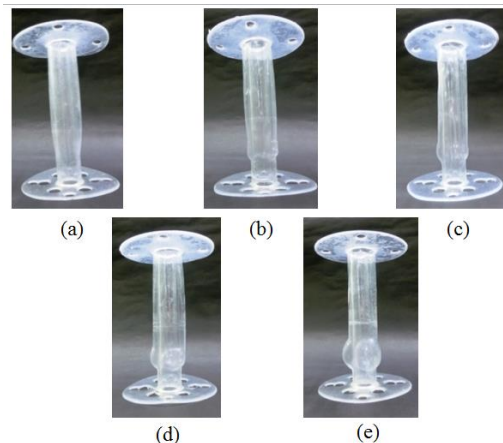


Fig.7 Photographs showing test aorta models used for this study: (a)Straight, (b)25% reduced model,(c) 50% reduced model, (d)Normal model, and (e)150% model⁵⁾

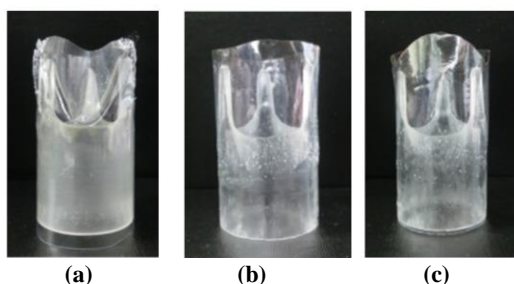


Fig.8 Photographs showing test valve with strut model used for this study: (a) variable size valve with unfan-shaped leaflet, (b) fix size valve with unfan-shaped leaflet, (c) fix size valve with fan-shaped leaflet⁵⁾

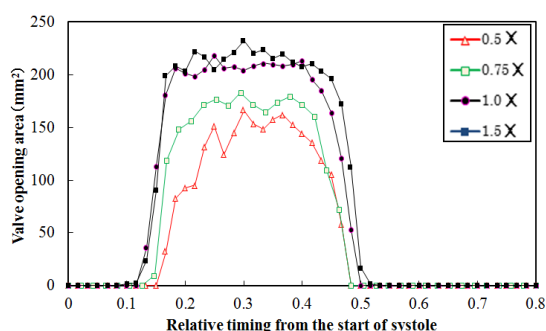


Fig. 9 Opening area comparison for the aortic flow with different degree of bulging sinuses: variable size valve with unfan-shaped leaflet ; Water solution⁵⁾

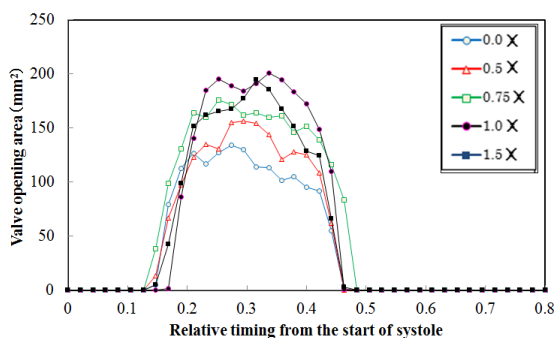


Fig. 10 Opening area comparison for the aortic flow with different degree of bulging sinuses: fix size valve with unfan-shaped leaflet; Water solution⁶⁾

Italy)にて発表された.

このシリーズで用いた膨らみの程度は、通常の大動脈部のバルサルバ洞を1とした場合、0, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5 倍の5種類を用意した。人工弁の新たに製作したものを用いた。

(3) 最終年度の研究

最終年度は、実寸法の ePTFE 弁モデルを使用し、大動脈モデルでの結果に類似した結果が得られ、さらに、膨らみ内の渦の動きにかなりの違いがあることを明らかにした。この結果は、第 53 回日本人工臓器学会大会、第 27 回バイオエンジニアリング講演会、ヨーロッパ人工臓器学会 (The 42th Congress of the ESAO, Lueuven, Belgium), 14th World Congress in Mechanism and Machine Science, Taipei, Taiwan にて発表された。また関東学院大学理工/建築・環境学会研究報告にて発表された。

実物大モデルにおいても膨らみ変化が弁開閉に与える影響を検討した。

用いた弁は、自作した PVC 製人工心臓弁モデル (Fig. 11)⁶⁾で、弁葉先端が平らな弁でストラット部外径は 18mm とし、透明な PVC(ポリ塩化ビニル樹脂)を用いて作製をおこなった、膨らみの程度は、通常の大動脈部のバル

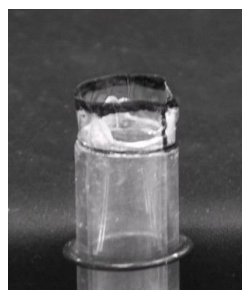


Fig. 11 Homemade PCV valve with strut: unfan-shaped leaflet⁶⁾



Fig. 12 Silicone ePTFE valve conduit model used for this experimental study: 1.0x Bulging sinus (left), 0.75x Bulging sinus (middle), 0.2x Bulging sinus(right)⁶⁾

サルバ洞の膨らみ具合を 1 とした場合、0.2, 0.75, 1.0 倍の 3 種類を用意した。人工弁は ePTFE valve conduit モデル(Fig. 12)⁶⁾の膨らみの下部に装着した。

弁葉先端が平らな弁を用意し、弁葉部のストラット部外径は 18mm とし、透明な PVC(ポリ塩化ビニル樹脂)を用いて作製をおこない、PIV 法を用いた可視化実験に用いた。また、弁葉の挙動を撮影するために ePTFE valve conduit モデル内の弁葉の真上にあたる位置に撮影用の透明パイプを取付け(Fig. 13)⁶⁾、デジタルカメラ (FINEPIX HS50 EXR) による高速撮影 (240 frames/s, 解像度 512x384pixels) にて記録した。

この実験では、トレーサー粒子(PCV, 50 μ m)を混濁させた試供流体中に、レーザー射出機(グリーンレーザ, カトウ光研, 相模原)によって発生された強力なレーザーシート光を照射し、可視化された供試流体中トレーサーの動きを、高解像度高速度ビデオカメラ(HAS500, カトウ光研, 相模原, 解像度 1024x512pixels または 640x480pixels)を用い、撮影速度 1000[frames/s]で連続撮影を行い記録した。

この画像データを FlowExpert (カトウ光研, 相模原) にて PIV 法を用い時系列的速度ベクトルの算出を行い、比較検討をおこなった。

Fig. 14⁶⁾ に示す典型的な弁葉開口面積の時系列変化によれば、バルサルバ洞状の膨らみが大きいほど開口面積が大きいことが観察された。これは、膨らみ有りの弁葉先端部に集中的に発生した渦流の存在が、弁葉の開閉動作に影響し、その結果、弁の開口面積に影響を与えていることが示唆された。基本的に、大動脈モデルを用いた結果と同様な傾向を示し、さらなる詳細な検討が求められ、その結果より、以下のことがわかった。

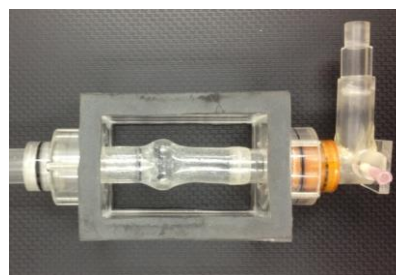


Fig. 13 Assembled ePTFE valve conduit model used for this experimental study⁶⁾

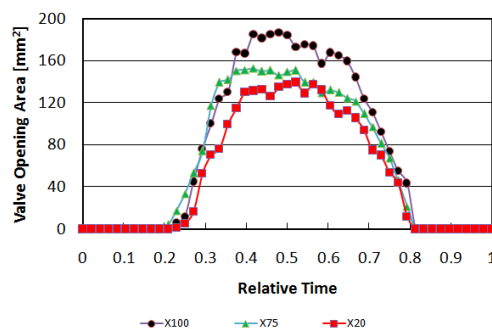


Fig. 14 Opening area comparison for the ePTFE valve conduit with different degree of bulging sinuses: fix size valve with unfan-shaped leaflet ; Water solution⁶⁾

4. 研究成果

先の直線状の模擬大動脈を用いた実験結果同様、実物大 ePTFE 弁においても、バルサルバ洞的な膨らみの程度は、膨らみが大きいほど、弁開口面積が大きい傾向が見られた。

<引用文献>

- ① 宮崎隆子, 山岸正明, 中島淳博, 深江浩司, 中野俊秀, 薬角秀秋: 右室流出路再建時における bulging sinus を有する ePTFE 弁の研究, 胸部心臓血管外科学会, 134-2, pp327-332 (2007),
- ② 阿久津敏乃介, 大貫達也, 奥山晃一, 大動脈の膨らみが弁開閉に与える影響, 関東学院大学理工/建築・環境学会研究報告, 57 巻, 1 号, pp1-5, (2013)
- ③ 阿久津 敏乃介, 鴨下 幸広, 奥山 晃一, 高田 政宏: 大動脈におけるバルサルバ洞の有無が弁の開閉に与える影響, 関

東学院大学工学部研究報告, 56-1, pp13-19, (2012)

- ④ K. Okuyama, and T. Akutsu, Influence of the Bulging sinus size of the ePTFE valve conduit on the flow and opening area of the valve conduit, IFMBE (The proceedings of the 15th International Conference on Biomedical Engineering) , 43 (CDROM) , pp.734-737, 2013
- ⑤ 阿久津敏乃介、奥山晃一, 右室流出路再建に用いる ePTFE 弁の膨らみが流れ場と弁開閉に与える影響, 関東学院大学理工/建築・環境学会研究報告, 58 巻, 1 号, pp1-6, (2015)
- ⑥ 阿久津 敏乃介, 柿崎 熙, 右室流出路再建に用いる ePTFE 弁の膨らみおよび弁葉形状が流れ場に与える影響 (実寸法モデルによる弁開口面積の解析), 日本機械学会 第 28 回バイオエンジニアリング講演会 [2016.1.9-10]講演論文集、15 巻, 69 号, USB No.1A15

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① 阿久津敏乃介, 奥山晃一, 右室流出路再建に用いる ePTFE 弁の膨らみが流れ場と弁開閉に与える影響, 関東学院大学理工/建築・環境学会研究報告, Vol. 58, pp.1-6, (2015)
- ② T. Akutsu, and K. Okuyama, High speed video study of the valve leaflet motion of the ePTFE valve conduit: influence of the bulging sinus size of the valve conduit on the valve opening area and flow field, Proceedings of The 14th World Congress in Mechanism and Machine Science, Taipei, Taiwan, 25-30 October, PS1-006, 4pages, (2015)

- ③ K. Okuyama, and T. Akutsu, Influence of the Bulging sinus size of the ePTFE valve conduit on the flow and opening area of the valve conduit, IFMBE (The proceedings of the 15th International Conference on Biomedical Engineering) , 43 (CDROM) , pp.734-737, 2013

[学会発表] (計 4 件)

- ① 阿久津敏乃介, 右室流出路再建に用いる ePTFE 弁の膨らみが弁の開閉に与える影響: 実物大モデルによる検証, 人工臓器, 第 53 回日本人工臓器学会大会予稿集, 44, 2, O27-3, s-160, 2015, 東京
- ② 阿久津敏乃介, 奥山晃一, 右室流出路再建に用いる ePTFE 弁の膨らみおよび弁葉形状が流れ場に与える影響: PIV 法による流れ場の解析, 第 27 回バイオエンジニアリング講演会, (新潟), 1 月 9~11 日, (2015), 第 27 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, Vol. 14, No.67, pp.545-546
- ③ 阿久津 敏乃介, 奥山 晃一, 右室流出路再建に用いる ePTFE 弁の膨らみおよび弁葉形状が流れ場と弁開閉に与える影響, 第 52 回日本人工臓器学会大会人工臓器 (第 52 回日本人工臓器学会大会予稿集), 札幌, 10 月, (2014), 人工臓器 (第 52 回日本人工臓器学会大会予稿集) Vol. 13, No.2, S103

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿久津 敏乃介 (AkutsuToshinosuke)
関東学院大学・理工学部・教授
研究者番号: 90231852