

症例報告

Melody valve 留置術後 9 年目に valve-in-valve を実施した 一成人例

松裏 裕行¹⁾, 直井 和之¹⁾, 池原 聡¹⁾, 高月 晋一¹⁾,
中山 智孝¹⁾, 原 英彦²⁾, 佐地 勉¹⁾, Farhouch Berdjis³⁾

¹⁾ 東邦大学医療センター大森病院小児科

²⁾ 東邦大学医療センター大森病院循環器内科

³⁾ Cardiac Catheterization Lab, CHOC Children's Hospital

A Case of Valve-in-valve Procedure 9 years after Initial Melody Valve Implantation

Hiroyuki Matsuura¹⁾, Kazuyuki Naoi¹⁾, Satoshi Ikehara¹⁾, Shinichi Takatsuki¹⁾, Tomotaka Nakayama¹⁾,
Hidehiko Hara²⁾, Tsutomu Saji¹⁾, and Farhouch Berdjis³⁾

¹⁾ Department of Pediatrics, Toho University Omori Medical Center, Tokyo, Japan

²⁾ Department of Cardiology, Toho University Ohashi Medical Center, Tokyo, Japan

³⁾ Cardiac Catheterization Lab, CHOC Children's Hospital, Orange, CA, USA

A 32-year-old American man visited our outpatient clinic for a chief complaint of exertional dyspnea. His medical history was remarkable for the diagnosis of d-TGA, Rastelli operation, right ventricular outflow tract (RVOT) reimplantation of the conduit twice, and plastic surgery for a thoracic deformity. Because of the progression of RVOT stenosis, a Melody valve was implanted when he was 24 years old and living in New York. On physical examination, harsh systolic ejection murmur of Levine 3/VI at his third left sternal border was audible. Chest X-ray demonstrated three metal plates bridging his bilateral thorax. Echocardiography revealed paradoxical movement of the interventricular septum, flattened left ventricular cavity, and 55–60 mmHg pressure gradient due by tricuspid regurgitation. The stenotic site of his RVOT was not apparent because of the artifact. The plasma hANP and BNP levels were 54.1 and 54.7 pg/ml, respectively. Because of his past medical history of multiple cardiovascular and thoracic surgeries, surgical reconstruction of his stenotic RVOT was assessed to be too risky. A Melody valve-in-valve implantation was performed in Los Angeles, California, and he returned to our hospital 1 month later. His quality of life has significantly improved, and his heart murmur changed to a soft murmur. During the procedure, the stent fracture was confirmed to be responsible for RVOT restenosis, although the frontal view chest X-ray failed to reveal it. Approval is awaited for clinical use of the Melody valve in Japan.

Keywords: melody valve, valve-in-valve, catheter intervention, right ventricular outflow tract stenosis

症例は米国籍の 32 歳男性で、息切れを主訴に来院した。米国で出生し完全大血管転位の診断で Rastelli 手術、2 度の右室流出路再建術および胸郭形成術の既往がある。その後再び右室流出路狭窄が高度になったため、24 歳の時ニューヨークで Melody valve 留置術を受けた後に来日した。当院受診時、第三肋間胸骨左縁を最強点とする Levine 3 度の収縮期駆出性雑音を聴取し、胸部単純 X 線では胸郭形成術の際に植え込まれた 3 枚の金属プレートを確認した。心エコーでは心室中隔の奇異性運動と圧排された左室を認め、右室-右房圧較差は 55–60 mmHg であった。血漿 hANP と BNP は各々 54.1, 54.7 pg/mL と軽度上昇していた。数度の手術歴から外科的右室流出路再建術は危険性が高いと考えたが、幸いロサンゼルス

2016 年 3 月 3 日受付, 2016 年 11 月 4 日受理

著者連絡先: 〒143-8541 東京都大田区大森西 6-11-1 東邦大学医療センター大森病院小児科 松裏裕行

doi: 10.9794/jspccs.32.527

で valve-in-valve 法による Melody valve 再留置術を受けることができ、1ヶ月後に再度来院した。術前胸部単純 X 線正面像では明らかではなかったが、カテーテルインターベンション時にステント損傷が右室流出路再狭窄の原因であることが確認された。本邦においても Melody valve の認可が待たれる。

はじめに

重篤な先天性心疾患の手術成績が格段に向上し先天性心疾患患者に占める術後患者の割合が急速に増多しつつある。ファロー四徴症に代表される右室流出路 (RVOT) 狭窄性病変を伴う疾患の術後遠隔期には、右室流出路再狭窄 (RVOTS) や逆流を呈し再治療介入を要することも稀ではない。今回、米国で経皮的 Melody valve 留置術 (PMVI) を受けた後来日し、再度増悪した RVOTS に対する治療方針に苦慮した症例を経験した。今後類似の症例が増えると予想され、文献的考察を加え報告する。

症例提示

症例：32 歳，男性（米国籍）

主訴：労作時息切れ

現病歴：米国内で出生し、完全大血管転位の診断で 3 歳の時に Rastelli 手術を受けた。詳細な経過は明らかではないが、8 歳の時 RVOT 導管置換術、15 歳で導管弁形成術を受けた後、手術による胸郭変形に対して 18 歳の時胸郭形成術を受けた。

その後 RVOTS が再度増悪したため、24 歳の時 PMVI を米国コロンビア大学で受けた後に 27 歳で来日し、現在に至るまで都内に居住している。米国からの紹介状によれば心エコーで計測した右室-右房圧較差 (TRPG) は来日直前まで約 40 mmHg で推移し、当院初診時に計測した時点でも 41 mmHg であった。内服薬はアスピリンを PMVI 後 1 ヶ月間のみ服用したが以後は無治療のまま経過していたので、当院においても投薬せずに経過観察した。1 年半前に施行した心エコーでは、左室流入血流速度における拡張早期最大流速 (peak E 波)、心房収縮期最大流速 (peak A 波)、E 波減衰時間 (DcT) は各々 89.4 cm/sec、46.7 cm/sec (E/A 比=1.92)、218 msec で拡張障害を示唆していた。さらに半年前からは労作時息切れが増悪し 2 階まで階段を上がるのも辛くなってきたと訴えるようになった。

診察所見

身長 184 cm、体重 70 kg、血圧 118/66 mmHg、心拍数 70/分・整。チアノーゼ・ばち状指は認めなかつ

た。呼吸音清、1 音正常、2 音は幅広く分裂し、胸骨左縁第 3 肋間に最強点を有する粗な収縮期駆出性雑音 (Levine 3/VI 度) を聴取したが拡張期雑音は聴取しなかった。その他、特記すべき所見はなかった。

検査結果

末梢血算には特記すべき異常を認めなかった。生化学検査では、軽度の黄疸と肝逸脱酵素の上昇 (T. Bil 2.4 mg/dL, AST 63 U/L, ALT 42 U/L) を認め、尿潜血陽性であった。また血漿 hANP 54.1 pg/mL, BNP 54.7 pg/mL と軽度の上昇を認めた (Table 1)。

胸部単純 X 線では胸郭形成時に留置した金属製プレート 3 本が左右胸郭を跨ぐように存在していた。CTR 44.3%、肺血流量は正常で左右差がなく、心陰影にも特記すべき異常を認めなかった (Fig. 1)。心電図は心拍数 67 回/分、正常洞調律で不整脈なく、QRS 平均電気軸 -55 度、不完全右脚ブロックパターンを示した。QRS 幅は 108 msec で QTc 432 msec であった (Fig. 2)。

心エコーでは心室中隔の奇異性運動と左室扁平化を認め、TRPG は 55~60 mmHg であった。アーチファクトのため RVOT は描出困難で、正確な狭窄部位の同定と流速測定はできなかったが左右肺動脈分岐部には明らかな狭窄病変を認めなかった。計測上、左室拡張末期容量 107.0 mL、左室収縮末期容量 38.6 mL、左室駆出率 63.89%、左室内径短縮率 34.8%、心拍出量 68.4 mL であった。

経過

上述のごとく心エコーによる狭窄部位の同定はできず、MRI は金属プレートのため不可能なので造影 CT 施行を検討したが、患者の了解が得られなかった。しかし聴診所見や心エコー所見などから、約 9 年前に留置された Melody valve のステント内ない上縁に狭窄があり、右室圧亢進を来していると考えられた。有意な右室圧亢進と労作時息切れなどの自覚症状を認めることから狭窄解除術の適応であるが、過去数回の手術に加え胸郭形成術に用いられた 3 本のプレートのため再度の開心術は危険性が高いと判断された。したがって再度の PMVI が最も有用だが本邦では実施できないため対応に苦慮していたところ、突然米国内での実施が決まり、2015 年 12 月 23 日に再度 PMVI を

Table 1 Laboratory data

Blood Cell Counts	
WBC	7700/mm ³
	Neutr 69.8%, Lymph 21.0%, Mono 4.7%
	Eos 4.1%, Baso 0.1%
RBC	447×10 ⁴ /mm ³
Hgb	14.2g/dL
Hct	41.5%
Plt	17.5×10 ⁴ /mm ³
Biochemistry	
T.P.	7.0g/dL
Alb	4.4g/dL
T. Bil	2.4mg/dL
AST	63 U/L
ALT	42 U/L
γ-GTP	19 IU/L
CK	188 U/L
T. Chol	132 mg/dL
T.G.	63 mg/dL
BUN	16 mg/dL
Creat	0.75 mg/dL
UA	3.9 mg/dL
hANP	54.1 pg/mL
NT-proBNP	97 pg/mL
BNP	54.7 pg/mL
Coagulation & Fibrinolysis	
PT	12.6 sec
PT INR	1.0
PT %	96%
APTT	26.6 sec
APTT cont	30.0 sec
Fibrinogen	196 mg/dL
FDP	<2.5 μg/mL
AT III	99%
Urinalysis	
pH	7.0
Sugar	negative
Protein	negative
Occult blood	2+
Acetone	negative
Bilirubin	negative
Urobilinogen	negative
Specific Gravity	1.020
Urine sediments	
Red blood cell	>100/HPF
White blood cell	1-4/HPF

いわゆる valve-in-valve 法^{1,2)}で受けることができた。

即ち、鼠径部の局所麻酔後に静脈に 7F、動脈に 5F シースを挿入し両心カテ・造影検査を行った。その結果、Melody valve ステント内における 37 mmHg の圧較差を確認し、造影所見から Melody valve の肥厚とステント損傷による狭小化（最小径 16 mm）を確認した。そこで静脈シースを 10F シースに入れ替えた後、Atlas Gold PTA 用カテーテル（22 mm, 4 cm）を用い

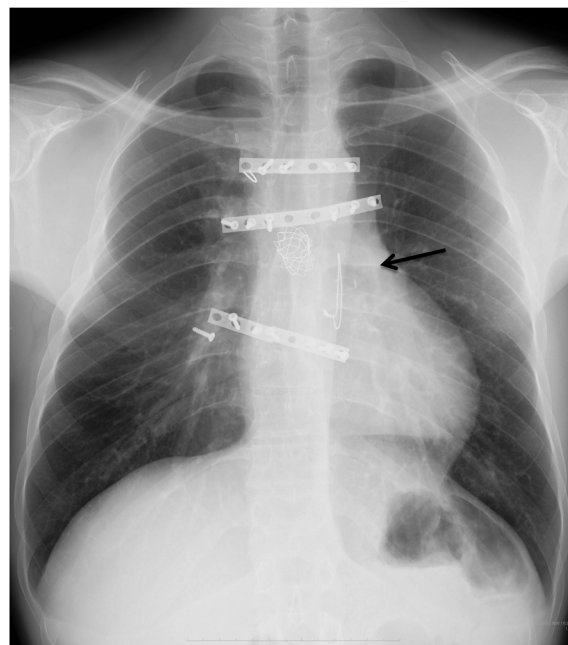


Fig. 1 The chest X-ray at the time of initial visit

Chest X-ray demonstrated three metal plates bridging the bilateral thorax in addition to the stent of the initial Melody valve (the arrow). The cardiothoracic ration was 44.3%.

て 7 気圧で拡張後、12F シースに入れ替えて Palmaz P3110 ステントを挿入して 3 気圧で拡張した。次に段階的にサイズアップしてシースを 22Fr に入れ替えた後、専用のデリバリーシステムを用いて 22 mm の Melody valve を留置し 3 気圧で拡張した。最後に圧測定を行い右室圧の有意な低下を確認して手技を終了した。透視時間は 15.6 分、手技時間は 3 時間 16 分、ACT は 181~198 秒であった（Table 2, Fig. 3）。

その後、再来日して術後 4 週目に当院を受診したが術後経過は順調で運動耐容能も著しく改善し、TRPG は 25 mmHg に減少していた。また Hgb 14.8 g/dL, T. Bil 1.2 mg/dL, AST 22 U/L, ALT 17 U/L, 血漿 BNP 17.9 pg/mL と血液生化学検査が正常化した。一方、心エコー指標では peak E 波, peak A 波, E/A 比と DcT は各々 71 cm/sec, 55 cm/sec, 1.29, 150 msec であった。

考 察

かつては致死率の高かった先天性心疾患も早期診断と的確な治療介入、外科的修復術の著しい成績向上により先天性心疾患を有する患者の半数が成人である時代を迎えた³⁾。しかし術後遠隔期には再手術やカテー

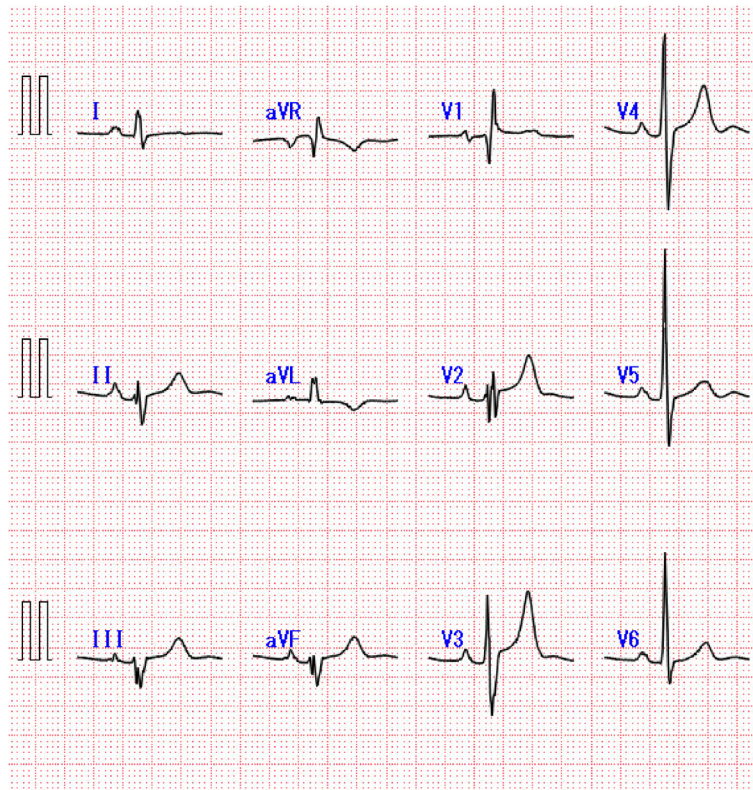


Fig. 2 The electrocardiogram at the time of initial visit

ECG shows normal sinus rhythm heart rate of 67 beats/min, QRS axis of -55° , and incomplete right bundle branch block.

Table 2 Summary of the hemodynamic results

Pre-reimplantation			
RA	a/v/m	6/5/3	mmHg
RV	s/d/ed	54/3/7	
mPA	s/d/m	17/7/9	
LV	s/d/ed	88/0/7	
Ao	s/d/m	100/56/74	
Post-reimplantation			
RV	s/d/ed	16/1/2	mmHg
mPA	s/d/m	10/0/3	

Ao: aorta, LV: left ventricle, mPA: main pulmonary artery, RA: right atrium, RV: right ventricle

テルインターベンションを必要とする症例も少なくない。術後 RVOTS や逆流に対して欧米では弁付きステント留置術がしばしば実施され現在 Melody valve と Edwards Sapien valve などが使用されているが本邦では未だ認可されていない。Melody valve により再開心術を回避できるメリットは大きいですが、デバイスサイズを理由とした体格の制限、高い難易度、ステント損傷による再狭窄の危険性、比較的高頻度な感染性心内膜炎併発率等の点に注意が必要である⁴⁾。米国 FDA

では体重 30 kg 以上の小児への使用が認可されたが、Berman らは体重 20 kg 未満の 10 症例を含む小児 25 例（最小 3.4 kg, 13.8 kg）に対し Melody valve の有効性と安全性を報告しており⁵⁾、今後デバイスの改良と共に適応範囲が広がると期待される。

本症例における再インターベンションの適応

当院初診時の TRPG は米国内での検査結果と同じ約 40 mmHg であったが、最近半年間で労作時息切れが増悪し、心エコー上の TRPG も約 60 mmHg 程度にまで上昇していた。CT や心臓カテーテル検査について本人の同意が得られなかったが、米国からの紹介状で高度の肺高血圧は否定的であったこと、収縮期駆出性雑音を認めるものの拡張期雑音を聴取しなかったことなどから右室圧上昇の原因は RVOTS の進行と推測した。結果的に今回の valve-in-valve 法施行時の所見から、推測通り Melody valve 内の狭窄が右室圧亢進の原因と確認できた。

一般に、先天性心疾患術後の RVOT に対するインターベンションの適応は症状を有する場合には RVp > 60 mmHg, TR velocity > 3.5 m/sec, 中等度以上の肺

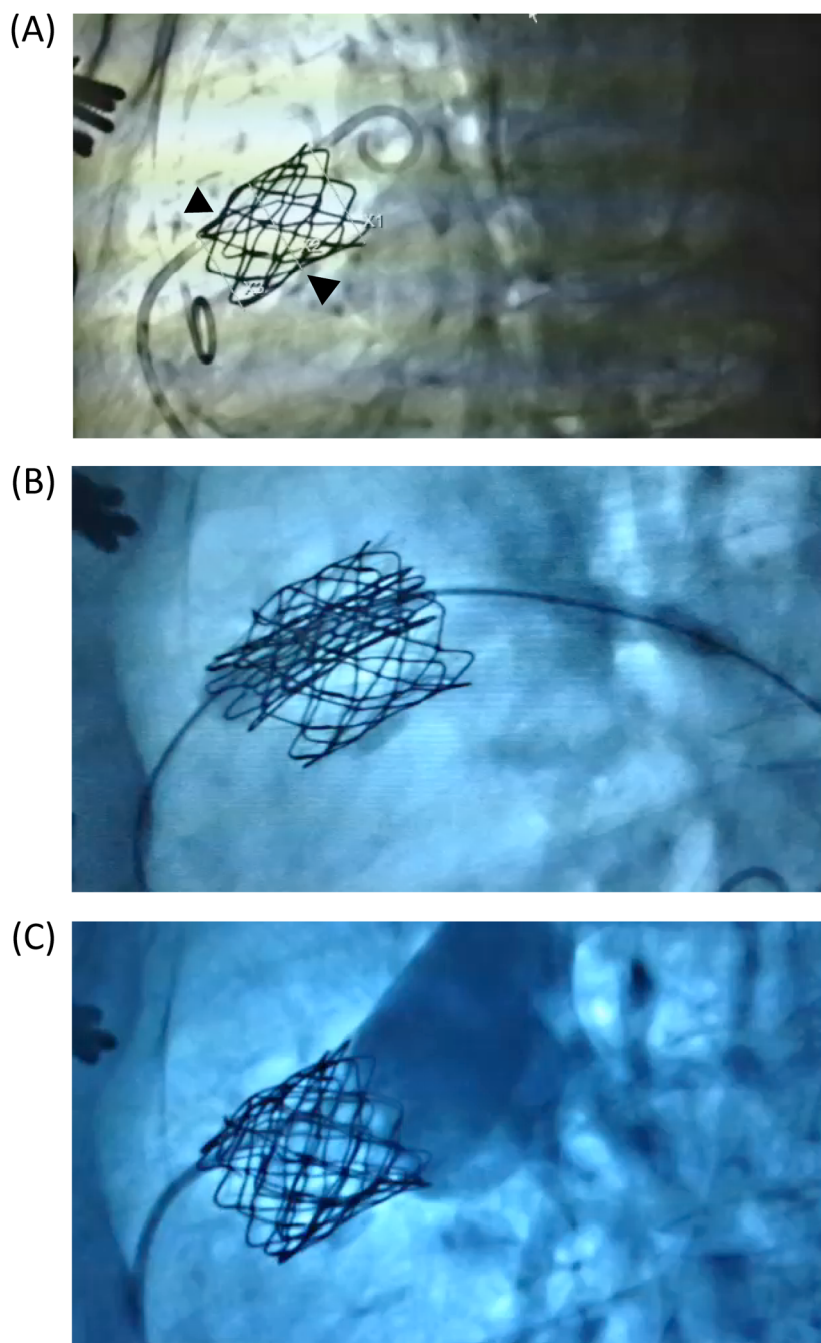


Fig. 3 Valve-in-valve procedure using the Melody valve

(A) Before reimplantation. Stent deformity is apparent (arrowheads). (B) After placing the second stent. (C) After reimplantation of the Melody valve. The second stent is placed in the pre-existing stent (valve-in-valve implantation).

動脈弁逆流がある時などとされている^{3,4,6)} (Table 3). 本症例においては, TRPG から計算される推定右室圧は少なくとも 60mmHg 以上と評価され, かつ階段を登るなどの労作でも息切れを訴えることから治療介入が必要と判断された. 数度の開胸・開心術に加え, 胸骨裏面に留置された 3 本の金属プレートの存在などから, 再度の導管置換術は極めて危険性が高いと判断さ

れ, 可能であれば経皮的インターベンションを選択すべきであると考えた. しかし本邦では PMVI は事実上不可能であるばかりか, 渡米しての治療は多額の費用を要するため患者本人の説得に苦慮していた. 米国内の主治医にコンタクトをとったところ「使用していた Melody valve が FDA 認可直前である初期の製品であったから」との理由 (後述) で, 幸いにも入院費・

Table 3 Indication and contraindication of Melody valve implantation

Indication	1. Symptomatic RVp>60mmHg TR velocity>3.5m/sec Moderate to severe pulmonary regurgitation 2. Asymptomatic Severe RVOTS and/or pulmonary regurgitation Decreased exercise tolerance Progressive RV volume overload, deterioration of RV dysfunction and TR RVp>80mmHg Sustained ventricular or atrial arrhythmia	Absolute or relative contraindication Preoperative RVOTS RVOTS after patch repair Small RVOT conduit <16mm Active infection Central venous occlusion Possible coronary compression by the stent
------------	--	---

RV: right ventricle, RVOT: right ventricular outflow tract, RVOTS: right ventricular outflow tract stenosis,
RVp: right ventricular systolic pressure, TR: tricuspid regurgitation

治療費の本人負担を免除され PMVI を施行することができた。

PMVI の転帰

PMVI の転帰は最長 7 年の中期成績が報告され、再インターベンション回避率は 1 年 90%，2 年 80～86%，4～5 年 70～80% 程度と報告されている^{7,8)}。しかしステント損傷回避率は 1 年 80%，2 年 79%，3 年 60% とされ、かついったんステント損傷が生じると約半数は 2 年以内に再インターベンションが必要になるなど課題も多い^{9,10)}。

米国内で PMVI を実施した医師 (FB) により、本症例の Melody valve 狭窄はステント損傷が原因であることが確認された。一般にステント損傷は PMVI 症例の～30% 程度に認められ¹¹⁾、初回 PMVI を行う理由が狭窄である場合は逆流を理由とする場合よりステント損傷が多く、特に胸骨直下に留置された場合および狭窄が高度な症例で多いとされる^{9,10)}。一方、初期の Melody valve ではステントのバルーン拡張術後にステントの中心が凹みステント部分と内部の人工血管の間に隙間が生じる hammock effect の頻度が高いとされ¹²⁾、本症例で 24 歳の時に使用された Melody valve も FDA 認可直前の初期製品の 1 つを Rastelli 術後の導管狭窄に対し用いたことが再狭窄の主な原因と推測された。

ステント損傷の有無はその重症度によりタイプ I～III に分類されるが¹³⁾、本症例のステント損傷はステントの基本構造が維持されているタイプ I に分類され、胸部単純 X 線正面像のみでは判定困難であった。右室圧が亢進し RVOTS の進行が疑診される場合には透視下での確認が特に重要であると考えられた。

Valve-in-valve

PMVI 後のステント破損による狭窄を原因とする再インターベンションには、ステント中央部に 2 個目の Melody valve を挿入する、いわゆる valve-in-valve 法が行われることが多く、本例でも再渡米後に実施された⁴⁾。興味深いことに 2 個目の留置後のインターベンション回避率は 2 年 89.4% で初回と同等以上に予後良好とされている¹⁴⁾ が、原理的にプレステンティング¹⁴⁾ と同じ効果が得られるからと推測される。本症例では 9 年前に留置された Melody valve の変形が強かったため Palmaz ステントをまず挿入・拡大後、その内側に Melody valve 再留置が行われた。手技は煩雑になるものの、Melody valve の狭窄部通過が容易になるだけでなく再留置した Melody valve の耐性がより増すことが期待できると言えよう。

ステント狭窄は通常ステント損傷によるが Melody valve に用いられた生体弁そのものの機能は遠隔期まで維持できるか十分わかっていない⁸⁾。本例では開心術後や PMVI 後のアスピリン投与が僅か 1 ヶ月間で終了し、ステント損傷と相まって狭窄が比較的早期に進行した可能性は否定できない。血栓やパンプスが感染性心内膜炎の危険因子である^{5,10)} ことを考慮すると、右心系の生体弁についても抗血小板療法や抗凝固療法を比較的長期に行うことを検討する余地があるかもしれない。また本症例では肝逸脱酵素は正常化し Hgb も 14.8mg/dL へと上昇、総ビリルビン値は術前 2.4mg/dL から術後 1.2mg/dL へと正常化していたことなどから、RVOTS により生じていて機械的溶血が術後解消されたと考えられた。

4. 心不全に関する考察

米国からの報告では、PMVI 後の効果は術後早期に明らかで RVEF や BNP など客観的指標の改善よりも

運動耐容や自覚症状の改善が顕著であるが、右室のみならず左室駆出率の改善など寄与すると報告されている¹⁵⁾。さらに PMVI 後には右室駆出率が有意な変化がなくても右室後負荷の軽減、心室中隔ストレインの軽減とそれによる右室-左室間の干渉の改善などがあいまって時間経過と共に NYHA 機能分類の一層の改善が期待できる^{9, 16)}。本症例では再 PMVI 前に心エコーでの十分な心機能評価を実施しえておらず、PMVI 前後での詳細な比較はできなかった。しかし再 PMVI 後には自覚症状がほとんどなくなり血漿 BNP も正常化していただけでなく、再 PMVI 1 年半前と施行後 1 ヶ月では E/A 比の改善、DcT の短縮傾向を認め拡張能が改善したと考えられた。しかし再インターベンションで心筋のリバースリモデリングが生じる訳ではないので、RVOTS や逆流が進行した症例では比較的早期に再インターベンションに踏み切るのが妥当であるとされ、再インターベンションの至適時期を検討する必要がある⁴⁾。

結 語

先天性心疾患術後の RVOTS に対し本邦で認可されていない Melody valve の再留置術を米国で受けた症例を経験した。PMVI を含めたステント留置術は先天性心疾患に伴う大血管に対する重要な治療戦略の一角を占め、ガイドラインでもクラス I 推奨とされている¹⁷⁾。本邦では未だ先天性心疾患に対して薬事承認されたステントがないが、早期に認可され使用が可能になる日が待たれる。

利益相反

本論文について、開示すべき利益相反 (COI) はない。

付 記

この論文の電子版にて動画を配信している。

引用文献

- 1) Gillespie MJ, Rome JJ, Levi DS, et al: Melody valve implant within failed bioprosthetic valves in the pulmonary position: A multicenter experience. *Circ Cardiovasc Interv* 2012; **5**: 862-870
- 2) Gillespie MJ, McElhinney DB, Kreutzer J, et al: Transcatheter pulmonary valve replacement for right ventricular outflow tract conduit dysfunction after the ross procedure. *Ann Thorac Surg* 2015; **100**: 996-1002
- 3) Baumgartner H, Bonhoeffer P, De Groot NM, et al: ESC Guidelines for the management of grown-up congenital heart disease (new version 2010). *Eur Heart J* 2010; **31**: 2915-2957

- 4) Ansari MM, Cardoso R, Garcia D, et al: Percutaneous pulmonary valve implantation: Present status and evolving future. *J Am Coll Cardiol* 2015; **66**: 2246-2255
- 5) Berman DP, McElhinney DB, Vincent JA, et al: Feasibility and short-term outcomes of percutaneous transcatheter pulmonary valve replacement in small (<30 kg) children with dysfunctional right ventricular outflow tract conduits. *Circ Cardiovasc Interv* 2014; **7**: 142-148
- 6) Feltes TF, Bacha E, Beekman RH 3rd, et al: Indications for cardiac catheterization and intervention in pediatric cardiac disease: A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2011; **123**: 2607-2652
- 7) Lurz P, Coats L, Khambadkone S, et al: Percutaneous pulmonary valve implantation: Impact of evolving technology and learning curve on clinical outcome. *Circulation* 2008; **117**: 1964-1972
- 8) Cheatham JP, Hellenbrand WE, Zahn EM, et al: Clinical and hemodynamic outcomes up to 7 years after transcatheter pulmonary valve replacement in the US melody valve investigational device exemption trial. *Circulation* 2015; **131**: 1960-1970
- 9) McElhinney DB, Hellenbrand WE, Zahn EM, et al: Short- and medium-term outcomes after transcatheter pulmonary valve placement in the expanded multicenter US melody valve trial. *Circulation* 2010; **122**: 507-516
- 10) McElhinney DB, Cheatham JP, Jones TK, et al: Stent fracture, valve dysfunction, and right ventricular outflow tract reintervention after transcatheter pulmonary valve implantation: Patient-related and procedural risk factors in the US Melody Valve Trial. *Circ Cardiovasc Interv* 2011; **4**: 602-614
- 11) Nordmeyer J, Lurz P, Khambadkone S, et al: Pre-stenting with a bare metal stent before percutaneous pulmonary valve implantation: Acute and 1-year outcomes. *Heart* 2011; **97**: 118-123
- 12) 麻生 健:【心臓血管手術における心血管エコー検査の役割】New Device Melody valve を用いた経皮的肺動脈弁置換術. *心エコー* 2011; **12**: 972-977
- 13) Nordmeyer J, Khambadkone S, Coats L, et al: Risk stratification, systematic classification, and anticipatory management strategies for stent fracture after percutaneous pulmonary valve implantation. *Circulation* 2007; **115**: 1392-1397
- 14) Nordmeyer J, Coats L, Lurz P, et al: Percutaneous pulmonary valve-in-valve implantation: A successful treatment concept for early device failure. *Eur Heart J* 2008; **29**: 810-815
- 15) Lurz P, Muthurangu V, Schuler PK, et al: Impact of reduction in right ventricular pressure and/or volume overload by percutaneous pulmonary valve implantation on biventricular response to exercise: An exercise stress real-time CMR study. *Eur Heart J* 2012; **33**: 2434-2441
- 16) Moiduddin N, Asoh K, Slorach C, et al: Effect of transcatheter pulmonary valve implantation on short-term right ventricular function as determined by two-dimensional speckle tracking strain and strain rate imaging. *Am J Cardiol* 2009; **104**: 862-867
- 17) 2012-2013 年度合同研究班報告: 2014 年版 先天性心疾患, 心臓大血管の構造的疾患 (structural heart disease) に対するカテーテル治療のガイドライン. http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2014_nakanishi_h.pdf (2016 年 11 月 16 日)