

## 先天性心疾患における術中心外膜アプローチによる リアルタイム 3D 心エコー法の有用性

小出 昌秋<sup>1)</sup>, 森 善樹<sup>2)</sup>, 渡邊 一正<sup>1)</sup>, 中畠 八隅<sup>2)</sup>  
武田 紹<sup>2)</sup>, 新垣 正美<sup>1)</sup>, 國井 佳文<sup>1)</sup>

聖隷浜松病院心臓血管外科<sup>1)</sup>, 小児循環器科<sup>2)</sup>

### Key words:

epicardial echocardiography, real-time  
3-dimensional echocardiography, in-  
traoperative diagnosis

### Intraoperative Epicardial Real-Time 3-Dimensional Echocardiography of Congenital Heart Disease: Comparison with 2-Dimensional Imaging

Masaaki Koide<sup>1)</sup>, Yoshiki Mori<sup>2)</sup>, Kazumasa Watanabe<sup>1)</sup>, Yasumi Nakashima<sup>2)</sup>, Sho Takeda<sup>2)</sup>, Masami Shingaki<sup>1)</sup>,  
Yoshifumi Kunii<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Cardiovascular Surgery and <sup>2)</sup>Division of Pediatric Cardiology, Seirei Hamamatsu General Hospital, Shizuoka, Japan

**Background:** Intraoperative echocardiography becomes a necessary tool for planning and performing safe cardiac surgery. In addition, real-time 3D echocardiography (RT3DE) has been demonstrated to be clinically useful in the assessment of several congenital heart diseases (CHD). However, few data exist about the usefulness of RT3DE in the operating room.

**Objectives:** We sought to evaluate the feasibility and additional value of intraoperative epicardial RT3DE in the assessment of the anatomic details of CHD.

**Methods:** Thirty patients with CHD were examined with epicardial RT3D, as well as 2-dimensional echocardiography (2DE). With a focus on the specific structures of interest, the diagnostic results by RT3DE were compared with surgical findings and interpretation of corresponding 2DE studies. The 3DE were graded into three categories: A. additional findings not seen on 2DE or changed diagnosis, B. equivalent to 2DE or C. inferior to 2DE.

**Results:** Optimal 3D images were obtained in 26 cases (87%). The 3DE was graded A in 22 (85%), B in 4 and C in no cases. RT3DE was especially useful in assessment of geometry of septal defects, morphology of the atrio-ventricular valve, and the spatial relationship between neighboring structures in the double-outlet right ventricle.

**Conclusions:** Epicardial RT3DE improves morphologic definition of specific lesions and provides additional information. The 3D images are helpful in providing a realistic preview of the surgical anatomy and a useful guide in surgical planning.

### 要 旨

**背景:** リアルタイム三次元心エコー法(RT3DE)が先天性心疾患の評価に有用であるとの報告がされている。しかし手術室でRT3DEを使用しその有用性を検討した報告は少ない。

**目的:** 術中の心外膜アプローチによるRT3DEと従来の二次元心エコー法(2DE)を比較し、その有用性を検討した。

**方法:** 対象は心内修復術目的で入院した先天性心疾患児30例で、年齢は中央値で1歳4カ月。開心術時胸骨正中切開後に心外膜アプローチからのRT3DEを施行し、手術所見を基本に術前の2DEと比較した。RT3DEの評価は、Aランク:2DEでは誤診しRT3DEでのみ正確な診断、または2DE診断と同様であったがRT3DEで付加情報、新しい所見があった、Bランク:2DEとまったく同等、Cランク:2DEのほうが有用であった、の3段階評価で行った。

**結果:** 30例中、RT3DE診断が可能だったのは26例であった。Aランクが22例、Bランク4例、Cランク0例であった。特に房室弁の評価、中隔欠損の部位、広がり、近接構造の空間的な関係把握にRT3DEは有用であった。

**結語:** RT3DEは房室弁の形態、中隔欠損の広がりなど、2DE以上の情報を提供し、手術室でのRT3DEの使用は診断と術式の最終確認、術者同士の情報の共有などに有用である。

2010年10月15日受付 別刷請求先: 〒430-8558 静岡県浜松市中区住吉2-12-12

2011年4月6日受理 聖隷浜松病院小児循環器科 森 善樹

## はじめに

1997年にDuke大学からmatrix-phased arrayのプローブを用いたリアルタイムの三次元心エコー法(RT3DE)が最初に報告<sup>1)</sup>されて以来、技術の進歩とともに新世代のRT3DEが開発され、研究の域を出なかったRT3DEが日常臨床の場に導入されるようになった。最近、小児循環器領域においてもこのRT3DEを用いた先天性心疾患の評価の報告が散見される<sup>2-6)</sup>。また、心臓の手術中の心エコー検査は外科医にとって手術手技の検討、術直後の評価など必要な手段となってきたが、術中RT3DEを使用した報告<sup>3, 6, 7)</sup>は本邦では少ない。そこで今回、術中の心外膜アプローチによるRT3DEの実用性、その有用性について検討を行った。

## 対 象

対象は開心術目的に当院に入院した30例。年齢は中央値で1歳4カ月(1カ月～10歳8カ月)、体重は8.5 kg(3.7～49.3 kg)であった。疾患の内訳は関心病変により、3つのグループに分けTable 1に示した。グループ1は欠損孔閉鎖目的で中隔欠損の正確な位置、大きさ、形を評価した19例、グループ2は逆流のある房室弁を評価した4例、グループ3はその他として兩大血管右室起始における心室間孔と大動脈弁との空間的位置関係など7例であった。2つのグループ、たとえ

ば1と2の両者に属する症例はグループ3に分類した。

## 方 法

心エコー装置はPhilips社製iE33で、プローブは、初期の症例では成人用X3-1を、最近の症例では小児用に開発されたX-7-2を用いた。この装置は直交する2つの2D断面を同時表示できるX-plane、また約60°(幅)と約30°(厚み)の立体型ピラミッド状の走査範囲を持つビーム内に実時間の3D画像表示が可能なりリアルタイムLive3D、約60～90°の幅と厚みのピラミッド型のビーム内に最低連続4心拍のサブボリュームデータを収集することでリアルタイムLive3Dより広域な心臓部分を3D画像にできるフルボリュームの3つ方法による表示が可能である。

すべての症例で、術前に通常の二次元心エコー法(2DE)にて、疾患の診断とともに関心病変に関する診断(たとえば単心室で房室弁逆流があれば、その原因)を行いレポートを作成した。手術室にて全身麻酔導入、胸骨正中切開後、心嚢切開前あるいは後に心臓の前面から超音波用のゲルを入れた専用滅菌カバーにプローブを入れ、胸壁アプローチ同様に2DEおよびRT3DE両者で心外膜アプローチによる記録と観察を行った。この際、心臓の圧迫による血圧の低下を来さないように注意し、必要に応じて縦隔内を温生理食塩水で満たした。通常の2DEによる観察で関心病変の診断の再

Table 1 Patient characteristics

	Numbers of patients	Age (yrs) Median	BW (kg) Median	Procedures
Group 1				
VSD or VSDs	12	1.2 (0.1-10.8)	7.4 (3.7-49.3)	ICR
CoA complex. s/p arch repair	4	1.7 (1.0-1.9)	8.8 (7.9-11.0)	ICR
ASD	3	1.1 (0.9-1.3)	9.6 (8.6-10.2)	ICR
Group 2				
Polysplenia. AVSD. s/p. ICR. MR	1	2.8	10.8	MVP
TA (Ia). s/p. B-T shunt. MR	1	0.9	6.7	BDG & MVP
Congenital MR	1	0.4	5.2	MVR
DORV. VSD. MS. Small LV. s/p. BDG. TR	1	4.0	13.0	Fonatin & TVP
Group 3				
DORV	4	1.5 (1.1-1.7)	7.6 (6.8-8.6)	ICR (2). Fontan (1), DKS& BDG (1)
DCRV. VSD	2	1.0	7.9 (7.3-8.5)	ICR
TOF. Cor triatriatum	1	2.0	8.3	ICR
Total	30	1.4 (0.1-10.8)	8.5 (3.7-49.3)	

VSD: ventricular septal defect, CoA: coarctation of aorta, ASD: atrial septal defect, AVSD: atrio-ventricular septal defect, MR: mitral regurgitation, TA: tricuspid atresia, DORV: double outlet right ventricle, MS: mitral stenosis, DCRV: double chamber of right ventricle, TOF: tetralogy of Fallot, BDG: bidirectional Glenn, ICR: intra-cardiac repair, MVP: mitral valve plasty, MVR: mitral valve replacement, TVP: tricuspid valve plasty. DKS: Damus-Keye-Stansel (s/p: status post)

確認を行った後、その関心病変の領域を選択し、リアルタイム Live3D とフルボリューム法で記録を行った。その画像はエコー装置に保存し、内蔵の専用画像処理アプリケーションにより断面の切り出し(クロッピング)を行い、病変の 3D 画像の観察を行った。手術室でのプローブの操作や心エコー装置の操作は心臓外科医が行った。

RT3DE の評価は小児循環器医と心臓外科医が行い、手術所見を基本に 2DE と経心外膜 RT3DE の診断を比較した。臨床的有用性の観点から、De Castro ら<sup>4)</sup>、Chan ら<sup>8)</sup>の方法を参考に、A ランク: 2DE では誤診し RT3DE でのみ正確な診断、または 2DE 診断と同様であったが、RT3DE では付加情報、新しい所見があった、B ランク: RT3DE では 2DE とまったく同等、C ランク: RT3DE では誤診があり 2DE のほうが有用であった、の 3 段階評価で行った。

## 結 果

全例において経心外膜エコーを血行動態の変化なく、安全に記録することができ、また術後に感染症状を呈した症例はなかった。リアルタイム Live3D とフルボリューム法両者の 3D 画像を得るまでの時間はプローブを関心領域への設定を含め約 5 分以内で、その画像をクロッピングし 3D 画像の評価までの時間は正確には測定していないが、おおよそ 20 分前後であった。

30 例中、関心病変の評価が可能な 3D 画像は 26 例に得られ、残りの 4 例は関心病変の画質不良により評価不能と判断された。そのうち、A と評価されたのは 22 例(85%)、B は 4 例(15%)、C は 0 例であった。評価 A の症例を Table 2 に示す。A と評価された付加情報、新しい所見は心房、心室中隔欠損孔の正確な位置が 14 例、心室中隔欠損孔の形態、大きさがそれぞれ 1 例、房室弁に関する情報が 4 例、大動脈と心室中

隔欠損孔との空間的配置などが 2 例であった(Table 2)。なお、1 例の中で RT3DE が 2 つ以上の付加情報があったものは特に有用と考えられた 1 つを選択し、1 例 1 つの項目として列挙した。また、RT3DE が有用と考えられ A と評価された症例のいくつかを Fig. 1 ~ 6 に示した。

グループ 1 の症例で Fig. 1 に示した症例は、術前 2DE では大きな下縁欠損と小さな卵円孔型欠損の 2 つの心房中隔欠損と診断し、RT3DE と手術所見では下縁に中隔組織があり、中央に繊維性のバンドを有した大きな卵円孔型欠損症例であった。欠損孔を 2DE では描出できない、いわゆる“en-face”に描出することが RT3DE では可能で、術野からみた所見とよく類似していた(Fig. 1)。肺動脈弁下心室中隔欠損の症例では欠損孔と肺動脈弁および大動脈弁との空間的關係がよくわかり、心房中隔欠損同様に肺動脈弁下の欠損孔の大きさ、形態、辺縁がよく描出された(Fig. 2)。傍膜様部欠損の心室中隔欠損では、右房からみた術中所見と同様の欠損孔の大きさ、形態と広がり、また三尖弁との関係がよく描出され、その伸展方向の指標となる内側乳頭筋の位置も描出された(Fig. 3, 6)。大きな傍膜様部欠損と小~中の筋性部欠損の 2 つの心室中隔欠損例で、傍膜様部欠損の閉鎖に加え、筋性部欠損を閉鎖するかの判断に RT3DE でのこの欠損孔の大きさの評価が役立った症例が 1 例あった。2DE で誤診し、RT3DE でのみ診断できたのがこのグループ 1 に 4 例あり、その内訳は肺動脈弁下心室中隔欠損で 2DE のカラードプラのジェットの位置から筋性部流出路欠損と診断していた症例が 2 例、傍膜様部欠損の伸展方向の誤診が 2 例であった。

グループ 2 の中で、弁形成術を行った房室中隔欠損術後の僧帽弁閉鎖不全の症例では、前尖の裂隙(cleft)の有無は通常の 2DE でも可能であったが、RT3DE では心房から心室方向へ弁口をのぞきこむ、いわゆる“surgeon's view”、また心室からのぞきあげる view で

Table 2 Additional findings and useful perspectives by 3DE (A rank)

Additional findings by 3DE not well delineated by 2DE	Number of patients
Precise location of ASD	1
Precise location of VSD	13
Size of VSD	1
Shape of VSD	1
Depth of cleft	1
Mechanism of MR including geometry of MV and chordal morphology	2
Mechanism of TR including geometry of TV	1
Improved perspective of spatial relationship within heart	2

ASD: atrial septal defect, VSD: ventricular septal defect, MR: mitral regurgitation, MV: mitral valve, TV: tricuspid valve

cleftの有無のみでなく、その深さがよく描出され、術後の縫合した前尖の状態もよく観察された(Fig. 4)。左室が小さい兩大血管右室起始、三尖弁閉鎖不全の症例はフォンタン型手術に加え、三尖弁形成術を施行したが、三尖弁前後尖間の交連部からの逆流と形態がよく描出され、弁形成時に非常に役立つ情報であった。術中所見として弁尖が前、後の乳頭筋に直接付着する高度の短い腱索がみられた重度の心不全を呈した2カ月の先天性僧帽弁閉鎖不全の乳児例では、術前2DEの逆流の原因診断として前乳頭筋からの短い腱索(術前の2DEでは術中所見ほどの高度の短い腱索とは予想してなかった)と、それに加え前尖の浅いcleftの存在を疑っていた。RT3DEでは心室側から弁をみあげるviewで術中にみられた前乳頭筋が直接弁尖に付着している状態がよく描出された(Fig. 5)。しかしRT3DEでもcleftと診断した部分は術中所見では接合していない前尖の部分が折れるように落ち込んでおり、cleftはなく、2DE、RT3DEともにその点に関しては正確な診断はできなかった。

グループ3の兩大血管右室起始4例のうち、大動脈弁下心室中隔欠損は2例あり、いずれも心内reroutingを含む心内修復術を施行したが、上述した傍膜様部に

ある心室間孔(心室中隔欠損)の形態と伸展方向を含めた大きさ、また心室間孔と大動脈弁および肺動脈弁、両房室弁との空間的位置関係と距離を把握することができ(Fig. 6)、術前にその画像から得られたreroutingの想定ラインと実際の心内パッチ縫合線はよく一致していた。

## 考 察

われわれは以前から経心外膜の2DEを施行して、術中診断、術直後の評価に用いてきた。術中の食道、経心外膜からの心エコー検査は現在において安全かつ確実に手術を施行するうえで、非常に有用でかつ必要な手段となっており、心外膜心エコーに関しては2007年に米国の超音波、心臓血管麻酔学会からガイドライン<sup>9)</sup>も報告された。

一方、立体画像走査をする3Dのmatrix-phased arrayのプロブの開発、進歩により、短時間にかつ容易にリアルタイムの3D画像が得られるようになり、先天性心疾患の診断の領域でもRT3DEが臨床の場で実用されるようになった<sup>2-6,10)</sup>。また欧米では経心外膜アプローチを含めた術中の心エコー法も2DEに代わり

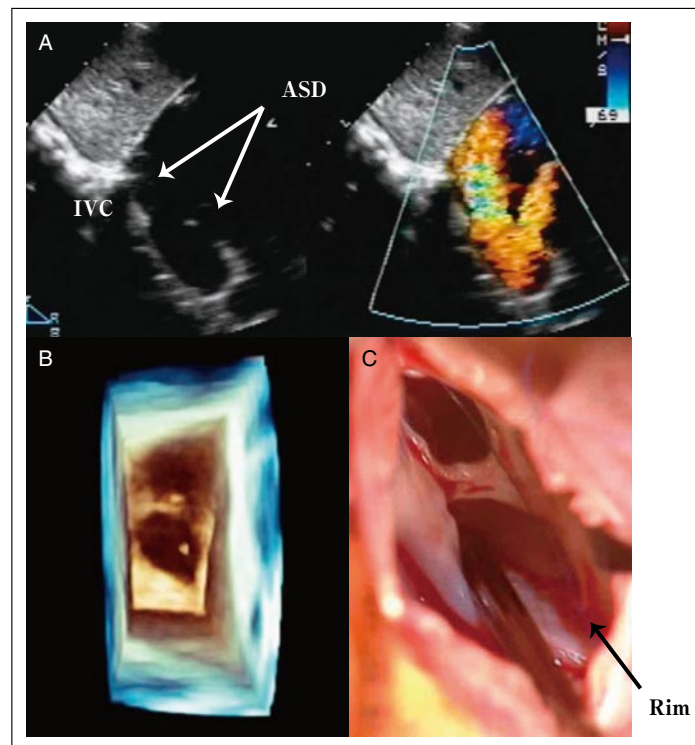


Fig. 1 Large oval fossa ASD with fibrous band  
Note that 3DE image is same as anatomy of surgical view.  
A: 2DE images, B: 3DE image. C: Picture from surgical view  
ASD: atrial septal defect, IVC: inferior vena cava

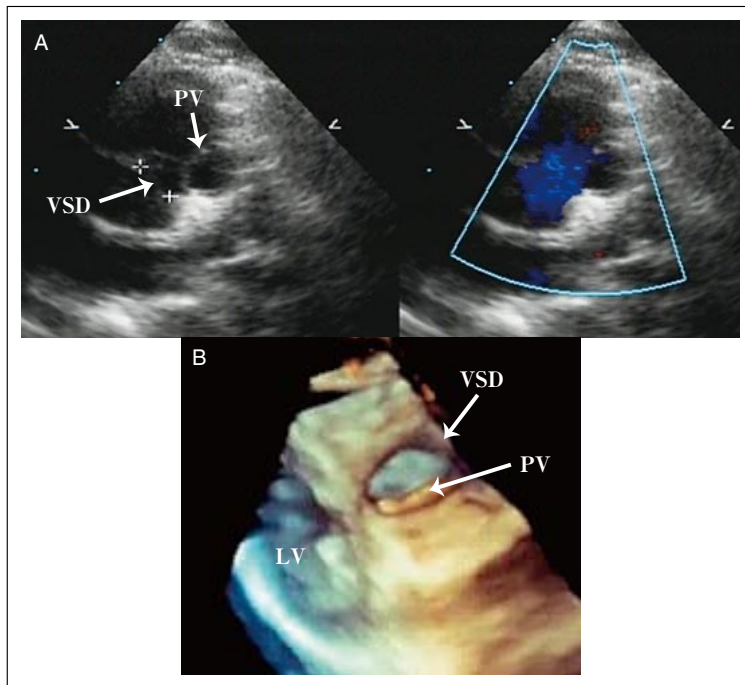


Fig. 2 A patient with subarterial infundibular VSD  
The defect is just below the pulmonary valve (PV) in the en-face 3D view of VSD. The shape and size of VSD are well recognized.  
A: 2DE images, B: RT3DE image  
VSD: ventricular septal defect, PV: pulmonary valve, LV: left ventricle

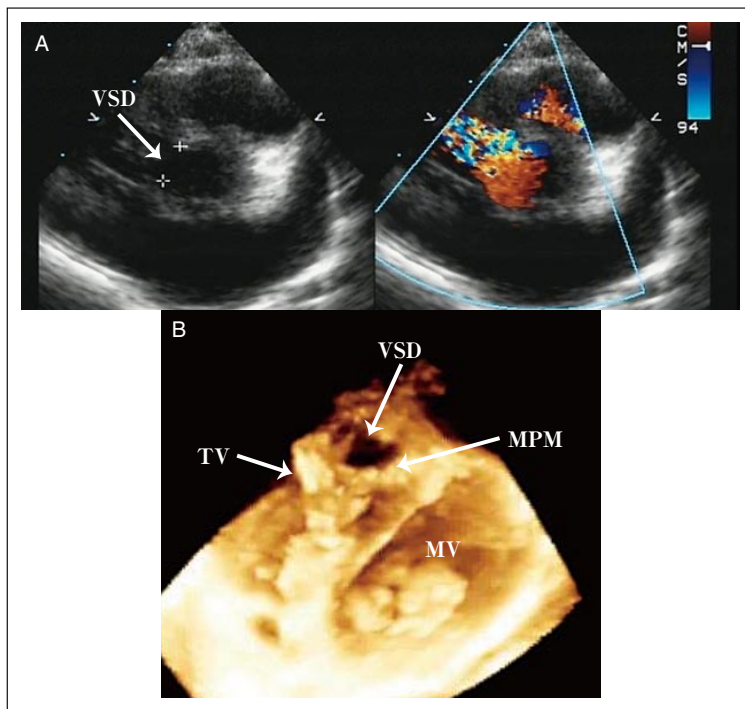


Fig. 3 2D and RT3D images in a patient with perimembranous VSD  
Note that relationship between tricuspid valve, medial papillary muscle, and VSD is well recognized in the RT3D image.  
A: 2DE images, B: RT3DE image  
VSD: ventricular septal defect, TV: tricuspid valve, MPM: medial papillary muscle, MV: mitral valve

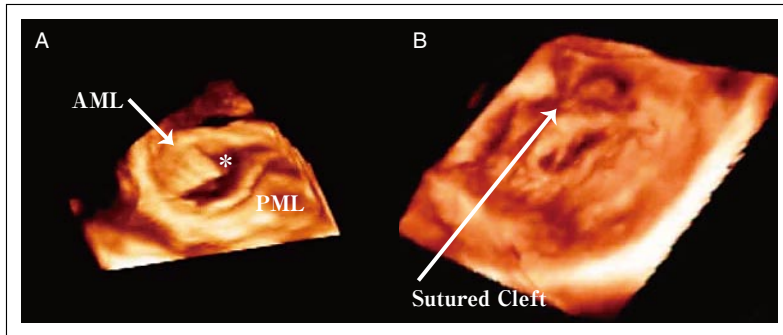


Fig. 4 RT3D images of mitral valve in a patient with incomplete AVSD  
 Note that depth of cleft is well seen.  
 A: Pre-operative image, B: Post-operative image  
 AML: anterior mitral leaflet, PML: posterior mitral leaflet, \*: Cleft

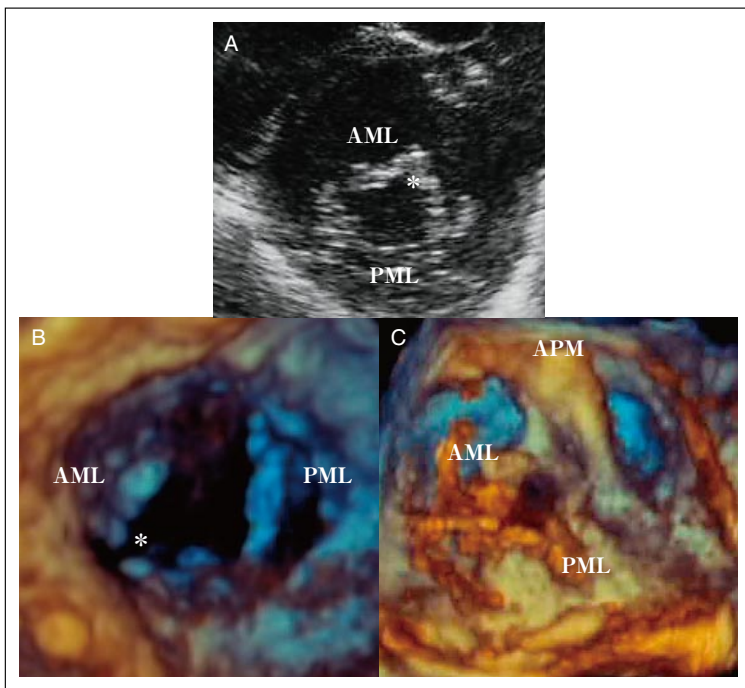


Fig. 5 2D and RT3DE images of mitral valve in a patient with congenital MR  
 A: 2DE image, B: View from LA, C: View from LV  
 Note that RT3D image shows the anterior papillary muscle (APM) attached to the mitral leaflets directly.  
 \*: Cleft like deformity  
 AML: anterior mitral leaflet, PML: posterior mitral leaflet, APM: anterior papillary muscle

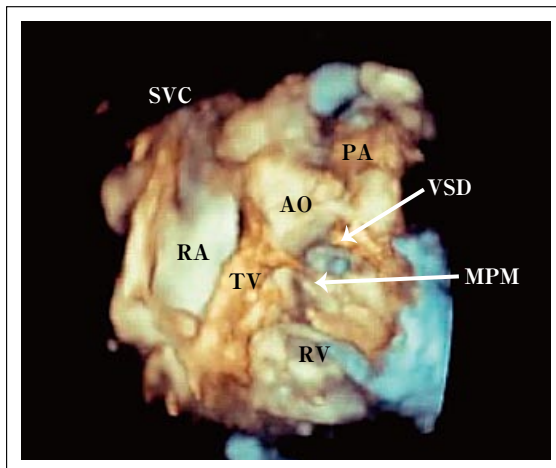


Fig. 6 3D image in patient with DORV, subaortic VSD and PS  
 Spatial relationship between aorta (Ao) and VSD (perimembranous outlet extension) is well recognized in the right ventricular en-face view. The position of medial papillary muscle (MPM) is also seen below the defect.  
 DORV: double outlet right ventricle. VSD: ventricular septal defect, Ao: aorta, PS: pulmonary stenosis, SVC: superior vena cava, RA: right atrium, TV: tricuspid valve, RV: right ventricle, MPM: medial papillary muscle

RT3DE への移行の方向性を示している<sup>11)</sup>。

## 1. 各病変(中隔欠損, 房室弁, その他)の RT3DE と 2DE との比較

2D の断層心エコー法を用いた先天性心疾患の形態診断は, 本来 3D 構造をもつ心臓をさまざまな方向でスキャンした単一断面を組み合わせ, 最終的に 3D に再構築することによって行われる。その再構築の場はわれわれの脳内であり, 時にはその再構築が困難で, しかも客観的に立体画像として残すことができない。

心房, 心室中隔欠損などの単純な心奇形の手術に必要な解剖学情報はその位置, 大きさ, 周りの構造物, たとえば半月弁との関係である。その位置に関しては従来の 2DE でも十分に評価が可能と考えられるが, 欠損孔の形態, 広がり, 辺縁の評価は従来の 2DE では困難である。特に比較的大きな傍膜様部心室中隔欠損では心尖部, 流入路, または流出路に伸展する<sup>12)</sup>が, その 2DE での術前評価, 診断は術中診断と異なることをしばしば経験した。内側乳頭筋の付着部位(心室中隔欠損の下縁であれば流出路伸展, 上縁であれば流入路伸展など)がそれを決める 1 つの指標となる<sup>12)</sup>が, 2DE ではその判別は難しい。その点, Fig. 3 に示したように RT3DE では内側乳頭筋の付着位置がよく判別でき, たとえ内側乳頭筋が描出できなくても“en-face”に欠損孔を観察でき, その広がりを含めた位置は術中の所見と一致する<sup>6)</sup>。また大きさの評価も 2DE では欠損孔の形態を円形と仮定し測定するが実際は円形でないことが多い。Cheng らは<sup>13)</sup> 2DE で計測した欠損孔の径と RT3DE での計測した孔の面積はあまり相関がないとし, また RT3DE で計測した面積は, 術中に計測したものとよく相関すると述べている。ただ単純な心奇形である心房, ないしは心室中隔欠損に関しては, 術前にこれらの情報がなくても手術中に十分対応でき, 術中, 前に RT3DE をする有用性が少ないとの意見もあると思われる。しかしわれわれは術者だけでなく, 術野がよく見えない他のスタッフと情報を共有する, また研修医に指導するなどの教育的な用途にも十分活用できる意味でも有用な方法と考えている。

一方, 房室弁の RT3DE での描出は, 従来の報告<sup>2-8)</sup> どり手術に際し非常に有用な情報であった。房室弁は半月弁と異なり, 複雑な構造をしている<sup>14)</sup>。房室弁の手術, 特に弁形成術に必要なのは, 弁尖自体の形態以外に, 乳頭筋, 腱索などの弁下組織を含めたすべての情報である。2DE では, 弁輪部の大きさは一方向のみでしか表示(四腔断面で, また長軸断面での大きさなど)できないが, RT3DE では弁輪部そのすべてが

単一断面に表示可能である。それに加え弁輪部, 弁尖, 乳頭筋, 腱索とすべての房室弁構造が心房側(いわゆる surgeon's view に相当)から, また心室側からと任意の方向でしかも瞬時に観察可能である。特に心房側から房室弁をのぞく surgeon's view は従来の 2DE では不可能である。Chan ら<sup>8)</sup>は 106 例を対象に, 従来の 2DE と比較し, RT3DE で新しい所見が得られた 7% を含め, 25% が RT3DE での画像が有用と考えられたとし, 特に僧帽弁亀裂症例では, 亀裂の有無と幅は 2DE でも評価可能だったが, 深さは RT3DE でのみ描出できたとわれわれと同様の経験を報告している。Seliem ら<sup>2)</sup>は 41 例の先天性心疾患に伴う房室弁異常を対象に RT3DE を施行し, 2DE ではよく描出できなかった弁輪部形態, 僧帽弁逸脱例での弁尖の scalloping ないしは buckling, また肥厚した弁尖, 亀裂, 穿孔した弁などの弁尖の形態異常, また腱索の付着異常を含めた弁下組織の情報などが得られたと報告している。自験例でも結果で述べた症例以外に弁形成術を施行した症例では, 細い腱索を詳細に描出することは困難であったが, 手術に必要な弁下組織の構造, 特に乳頭筋の形態や弁尖との関係, また弁輪部全体を観察するに RT3DE は有用であり, 弁形成のイメージをより良好にすることに役立った。

今回の経験した症例では, 複雑心奇形のうち両方の心室を用いての修復術症例は両大血管右室起始の 1 例のみであったが, これら複雑心奇形の心内解剖を立体的に把握することが重要な症例では, 2DE 画像からの脳内での再構築が特に難しく, RT3DE の活用が非常に期待される。Inage<sup>15)</sup>は両大血管右室起始で, 心内 reroute を行う際に重要な情報で, 2DE で評価できない心室中隔欠損の大きさ, 三尖弁と大動脈, 肺動脈との距離を含めた空間的関係などを RT3DE では提供すると報告している。われわれは大きさを測定していないが, Fig. 6 に示したように視覚的な評価のみでも十分有用であった。また Chen ら<sup>10)</sup>は 30 例の複雑心奇形の診断に, いわゆる segmental approach を用い解剖学的診断と術中所見と比較したところ, 正確な診断率は RT3DE で 75.6%, 通常の 2DE では 64.4% と, RT3DE がより正確に診断できる方法であったと結論, また Del Pasqua ら<sup>5)</sup>は 43 例に施行し, 約 1/3 の症例に 2DE では得られない情報が RT3DE では得られたと報告している。

## 2. 胸壁, 経心膜, 食道からのアプローチ

今回は術中のガイドの目的の使用で経心外膜からのアプローチでの RT3DE の画像を評価した。われわれ

と同様に経心外膜のRT3DEを施行している施設<sup>3,5,6)</sup>はすでにいくつかある。Rawlinsら<sup>3)</sup>は先天性心疾患の房室弁の外科的修復のガイドとして8例に用い有用と報告した。またKajimuraら<sup>6)</sup>は経心外膜のRT3DEを施行した22例中、95%のRT3DE画像が手術中の詳細な解剖所見と一致したと報告し、心外膜アプローチからのRT3DEが外科医の要求レベルを満足し得る方法であると強調している。最近、食道エコーのRT3DEが使用可能となった。術中の使用を考えた場合、このアプローチが心外膜アプローチにかわり得るものと考えられ、事実、すでに心房中隔欠損のカテーテル治療<sup>16)</sup>に用いられている。残念ながらプローブの関係で現在は、体重が20kg以上しか使用できないが、今後、小さなサイズのプローブの開発が望まれる。

今回用いた経心外膜からのRT3DEは、理論的に心臓とプローブとの間に邪魔な構造物がないため画質は優れている。先天性心疾患、弁膜疾患を対象にしたRT3DEの有効性を示した報告の多く<sup>2,4,5,8,10,13,15)</sup>は胸壁アプローチからのものである。しかし、今回同様の画像(画質)とその結果が胸壁アプローチで得られるかは疑問がある。同じRT3DEシステムで経胸壁と経心外膜からの画像、画質を評価しデータを示した報告はわれわれの知る限りなく、経胸壁アプローチでの画像が先天性心疾患の詳細な形態診断にどこまで臨床上使用可能か、またどのような問題点があるかなど、今後検討すべき課題と考える。

## まとめ

手術中の経心外膜アプローチによるRT3DEは、外科医にとって従来の2DEでは描出できない情報を提供し、術前に術野同様の解剖学的所見が得られ有用な手段であった。このような最新の診断モダリティを手術成績にどう結びつけていくかが、今後の課題である。

## 【参考文献】

- 1) Kisslo J, Firek B, Ota T, et al: Real-time volumetric echocardiography: the technology and the possibilities. *Echocardiography* 2000; **17**: 773-779
- 2) Sleiem MA, Fedec A, Cohen MS, et al: Real-time 3-dimensional echocardiographic imaging of congenital heart disease using matrix-array technology: freehand real-time scanning adds instant morphologic details not well delineated by conventional 2-dimensional imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2006; **19**: 121-129
- 3) Rawlins DB, Austin C, Simpson JM: Live three-dimensional paediatric intraoperative epicardial echocardiography as a guide to surgical repair atrioventricular valves. *Cardiol Young* 2006; **16**: 34-39
- 4) De Castro S, Caselli S, Papetti F, et al: Feasibility and clinical impact of live three-dimensional echocardiography in the management of congenital heart disease. *Echocardiography* 2006; **23**: 553-561
- 5) Del Pasqua A, Sanders SP, de Zorzi A, et al: Impact of three-dimensional echocardiography in complex heart defect cases: The Surgical View. *Pediatr Cardiol* 2009; **30**: 293-300
- 6) Kajimura I, Satomi G, Yasukochi S, et al: Pericardial three-dimensional echocardiography. *J Echocardiogr* 2008; **6**: 39-45
- 7) De Castro S, Salandin V, Cavarretta E, et al: Epicardial real-time three-dimensional echocardiography in cardiac surgery: A preliminary experience. *Ann Thorac Surg* 2006; **82**: 2254-2259
- 8) Chan KL, Liu X, Ascah KJ, et al: Comparison of real-time 3-dimensional echocardiography with conventional 2-dimensional echocardiography in the assessment of structural heart disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2004; **17**: 976-980
- 9) Reeves ST, Glas KE, Eltzschig H, et al: Guidelines of performing a comprehensive epicardial echocardiography examination: recommendations of the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologist. *J Am Soc Echocardiogr* 2007; **20**: 427-437
- 10) Chen GZ, Huang GY, Tao ZY, et al: Value of real-time 3-dimensional echocardiography sectional diagnosis in complex heart disease evaluated by receiver operating characteristic analysis. *J Am Soc Echocardiogr* 2008; **21**: 458-463
- 11) Sherman SK: Intraoperative three-dimensional echocardiography: ready for prime time? *J Am Soc Echocardiogr* 2009; **22**: 27A-28A
- 12) Soto B, Becker AE, Moulart AJ, et al: Classification of ventricular septal defects. *Br Heart J* 1980; **43**: 332-343
- 13) Cheng TO, Xie MX, Wang XF, et al: Real time 3-dimensional echocardiography assessing atrial and ventricular septal defects: an echocardiographic-surgical correlative study. *Am Heart J* 2004; **148**: 1091-1095
- 14) Yacoub MH, Chohn LH: Nobel approach to cardiac valve repair from structure to function; Part I. *Circulation* 2004; **109**: 924-950
- 15) Inage A, Takahashi K, Rebeyka I, et al: Real-time transthoracic three-dimensional echocardiography provides valuable management information in double outlet right ventricle: An echocardiographic-surgical correlative study. *Circulation* 2008; **118**: S911
- 16) Taniguchi M, Akagi T, Watanabe N, et al: Application of real time three-dimensional transesophageal echocardiography using matrix array probe for transcatheter closure of atrial septal defect. *Am Soc Echocardiogr* 2009; **22**: 1114-1120