

僧帽弁閉鎖不全症における経食道心エコー3D解析を用いた僧帽弁形態の評価

中川かおり 尾澤直美 陳軒 池田司 原田忠宜 太田浩雄 富田剛志

西村健二 今水流智浩 飯田充 下川智樹

帝京大学医学部附属病院 心臓血管外科

〒173-0003 東京都板橋区加賀 2-11-1

keyword: Mitral Regurgitation, Three-Dimensional image of the transesophageal echocardiography, Carpentier classification

キーワード: 僧帽弁閉鎖不全症、経食道心エコー3D解析、Carpentier 分類

背景・目的: 超音波装置等の著しい技術の進歩により、経食道心エコーの 3D 画質が向上し、複雑な僧帽弁形態の把握も可能となった。僧帽弁閉鎖不全症(MR)患者の術前経食道心エコーを 3D 解析し、病因ごとの形態学的な特徴の相違を調べた。

対象・方法: 2013 年 1 月から 2015 年 12 月までの間に、中等度以上の MR に対して手術を行い、術前に経食道 3D 心エコーを施行した 114 例を対象とした。MR の病因分類には Carpentier 分類を用い、弁尖運動正常(I 型)、弁尖逸脱 (II 型)、弁尖可動制限(III型)とし、さらにIII型を弁尖収縮(IIIa 型)と弁下組織の偏移(IIIb 型)とに分類した。各群間の経食道心エコー3D 解析測定値を比較した。

結果: 弁周囲長は I 型と比較し、II 型で有意に大きかった(I 型  $116.8 \pm 15.3$  mm、II 型  $127.9 \pm 15.6$  mm、 $p=0.02$ )。横/縦比はどの群においても差がなく、横長の楕円形を保持していた。前尖長は I 型と比較し、IIIb 型で有意に長かった(I 型  $22.6 \pm 4.4$  mm、III b 型  $26.4 \pm 5.0$  mm、 $p=0.04$ )。

結論: 弁尖逸脱による MR をきたす II 型でも弁輪は拡大した。IIIb 型で前尖長が延長することが示唆された。

はじめに

僧帽弁閉鎖不全症(Mitral Regurgitation, 以下 MR と略記)は弁膜症疾患の中でも頻度が高く、左心不全を引き起こす重要な疾患である。MR に対する外科的治療方法には、僧帽弁置換術(Mitral Valve Replacement, 以下 MVR と略記)と僧帽弁形成術(Mitral Valve Plasty, 以下 MVP と略記)とがある。以前は僧帽弁の弁膜症の病因として、リウマチ性はその多くを占めていた。リウマチ性弁膜症では、弁尖および弁下組織の肥厚や短縮・硬化を呈し、弁形成術が困難であることから、MVR が多く行われていた。しかし近年ではリウマチ性弁膜症は減少し、変性による弁尖の逸脱症が増加したため、MVP が多く行われるようになってきている。日本胸部外科学会の調査でも、日本国内の弁膜症手術のうち、MVP の比率は弁膜症手術全体の 29.8 %、僧帽弁手術のうち 59.6 %を占め、数年前と比較しても増加している<sup>1)</sup>。変性 MR に対する MVP は、MVR と比較して、術後左室機能の改善、手術死亡率、遠隔期予後、抗凝固療法による出血イベントや感染性心内膜炎などの人工弁関連合併症の回避などの点において優位であることが報告されている<sup>2)</sup>。弁輪形成、弁尖切除、人工腱索など多岐にわたる形成方法から適切な手技を選択するために、術前に詳細な僧帽弁形態を把握することが求められるようになった。また、機能性 MR に対する術式として MVR と MVP のどちらが優れているかは結論が出ていないが、弁や弁下組織まで含めた僧帽弁複合体の形態と MVP の予後とが関連しているという報告がある<sup>3)</sup>。

術前に僧帽弁の形態を評価する上で不可欠である心臓超音波検査であるが、その装置や解析ソフトウェア等における著しい技術の進歩により、経食道心エコー(transesophageal echocardiography, 以下 TEE と略記)の three-dimensional(以下 3D と略記)画像の質が向上した。このことにより two-dimensional(以下 2D と略記)心エコー

図法では評価困難であった複雑な僧帽弁の形態の測定が可能となった。

僧帽弁弁膜症手術の術式を決定する際には、弁尖の動きにより病因を分類した Carpentier 分類を使用する。しかし、これまでに僧帽弁形態が Carpentier 分類毎にどのように異なるかを述べた研究は無い。MR 手術症例を対象に、Carpentier 分類の各分類間における術前の僧帽弁形態の相違について、3D-TEE の解析結果から比較検討を行った。

## 対象と方法

### 1. 対象

2013 年 1 月から 2015 年 12 月までの 3 年間に、当院では 166 例の患者に僧帽弁手術を施行した。そのうち 41 例では、緊急手術、あるいは重症心不全といった理由で術前に TEE を施行できなかった。術前に TEE を施行した 125 例のうち、僧帽弁狭窄症が主体で僧帽弁逆流は無いか軽度であった症例、僧帽弁位生体弁置換術後の再手術症例を除外した。術前に TEE を施行できた、中等度以上の MR 患者 114 例を、今回の検討対象とした。

### 2. 方法

#### 1) 僧帽弁逆流の評価

僧帽弁逆流の重症度評価として、まず経胸壁心エコー検査を行った。カラードップラー面積が左心房面積の 40 % 以上、Vena contracta width 0.7 cm 以上、逆流量 60 ml 以上 (機能性 MR では 30 ml 以上)、逆流率 50 % 以上、有効逆流弁口面積 (Effective orifice area: ERO) 0.4 cm<sup>2</sup> 以上 (機能性 MR では 0.2 cm<sup>2</sup> 以上) のときに、高度 MR と診断した。また、カラードップラー面積が左房面積の 20-40 %、Vena contracta width

0.3-0.69 cm、逆流量 30-59 ml、逆流率 30-59 %、有効逆流弁口面積 (Effective orifice area: ERO) 0.2-0.39 cm<sup>2</sup> のときに、中等度 MR と診断した<sup>4)5)6)</sup>。中等度以上の僧帽弁逆流を疑われる症例では経食道心エコー検査を行い、その結果を優先させて重症度評価を行った。

## 2) 手術適応

僧帽弁の手術適応は、2012 年の日本循環器学会ガイドライン<sup>4)</sup>、2008 年および 2014 年のアメリカ (American College of Cardiology / American Heart Association; ACC / AHA) のガイドライン<sup>5)6)</sup>、2012 年の欧州 (European Society of Cardiology / European Association of Cardiothoracic Surgery; ESC/EACTS) のガイドライン<sup>7)</sup> に準じた。高度 MR に対しては、原則として弁形成術を第一選択としたが、虚血性心筋症や拡張型心筋症などに伴う機能性 MR の場合には、弁尖のテザリングの程度によっては弁下組織を温存した弁置換術を施行した。中等度 MR に対しては、冠動脈や大動脈弁など他の心臓疾患が手術適応である場合の同時手術として、弁形成術を第一選択として僧帽弁も手術適応とした。

## 3) MR の分類

術式を決定するための MR の病因評価は、経胸壁心エコー検査と TEE による僧帽弁および左心室の運動および形態評価と、病歴とを総合して判断した。Carpentier 分類を用いて、弁尖の動きが正常である I 型、弁尖の動きが過剰である II 型 (弁尖逸脱)、弁尖の動きが制限されている III 型、さらに III 型を弁尖自体の拘縮による IIIa 型と、弁下組織の偏位による IIIb 型の、計 4 型に MR を分類した (図 1)。

(図 1)

## 4) 3D-TEE

検査には iE33 超音波システムと X7-2t 変換器 (Phillips Medical System, Andover, MA)

を使用した。プローブは中部食道レベルで 1 心拍法にて僧帽弁全体が映るようにし、左室中部から心尖は入らないようにした。僧帽弁 3D 解析ソフトである QLAB の Mitral Valve Navigator<sup>AI</sup> (MVN<sup>AI</sup>: Philips Healthcare, Inc, Andover, MA, USA)を用いて、収集した画像をオフライン解析した。解析は全症例の全行程を 1 人で行い、先入観による測定誤差を避けるため解析時に手術所見や術中写真等の情報は閲覧せず、経食道心エコーの画像のみを参照した。TEE 画像のうちから僧帽弁短軸画像を選択し、以下に示す 8 段階の手順で解析を行った。①収縮末期フレームの確認：各時相の心エコー 2D 画像から、収縮末期の時相で僧帽弁の描出が良いフレームを選択。②画像の位置合わせ：僧帽弁の弁輪に対し、解析ソフトが指定する画に最も近くなるように、長軸像(冠状断・矢状断)と短軸像(水平断)の 3 方向で断面を設定 (Multi-Planar Reconstruction (MPR) 法)。③リファレンス・ポイントの選択：弁輪部に前交連・後交連・前尖側の弁輪の中央(前)・後尖側の弁輪の中央(後)の 4 点と、前後尖の接合部、中隔と対側の大動脈弁輪部の 2 点を決定(図 2-A,B)。④弁輪部の編集：MVN<sup>AI</sup>では自動で僧帽弁輪がトレースされるが、計測者が手動で微調整を行う。⑤交連部の編集：僧帽弁短軸像において、前交連・後交連の位置、A1・A2・A3 と P1・P2・P3 の境目を決定(図 2-C)。⑥弁尖部の編集：MVN<sup>AI</sup>では自動で僧帽弁尖の輪郭がトレースされるが、計測者は手動で微調整を行う。⑦境界の編集：解析によって僧帽弁前尖と後尖の輪郭が描かれた短軸像において再度、前交連・後交連の位置、A1・A2・A3 と P1・P2・P3 の境目を決定(図 2-C)。⑧乳頭筋先端の編集：乳頭筋の位置を選択。以上の行程を終えると、自動的に解析結果が算出される(図 2-D)。弁尖のトレースの際、MVN<sup>AI</sup>では前尖先端から垂直に下ろした線と後尖先端から垂直に下ろした線は重ならない前提となっているため、一方の弁尖の先端を決定すると対側の弁尖先端も

自動的に決定され、通常は接合部を決定することで前後尖両方の弁尖長を同時に計測できる。しかし、後尖逸脱により後尖先端が本来の接合部を超えて前尖側に張り出してしているような症例では、本来の接合部までを前尖長として決定すると、後尖長は前尖先端の垂線上までと自動決定されてしまい、前尖の弁腹上にまで伸びている実際の後尖先端の部分が計測されないことになる。その逆の場合も同様であり、一度の計測ではどちらかの弁尖の長さしか正確に測定できない。このような逸脱症例では、前尖と後尖とを2回に分けて別々に解析した(図3 A,B)。

#### 5) 評価項目

(1) Carpentier 分類ごとの患者背景を比較した。

(図4) (2) 3D-TEE での計測部位を示す(図4)。僧帽弁の横径、縦径(A-P)、弁周囲長、前尖長としてA2長、後尖長としてP2長を計測した。僧帽弁を楕円形とみなし、その形態の変化を楕円率(横径/縦径比)で評価した。また、僧帽弁の弁輪拡大率を、縦径/前尖(A2)長と弁周囲長/前尖(A2)長とで評価した。Carpentier 分類のⅢa型を除いたMR各群の3D-TEE測定値を比較した。

#### 3. 統計学的解析

統計学的解析には JMP Pro version 13.1.0 (SAS Institute Inc. Cary, NS, USA) を用いた。各数値は平均値±標準偏差で表した。3群間における有意差の検定には、多重性を考慮して、Steel-Dwass 法を使用した。検定では、 $p < 0.05$  のときに統計学的有意差ありとした。

#### 4. 倫理委員会承認

本研究は、単一施設にて施行された後向き研究である(帝京医倫理 17-194 号、2018年3月7日承認)。

## 結果

### 1. 患者背景

(表 1) 患者背景を示す(表 1)。手術時平均年齢は 68.4 歳、男性が 76 名(66.7 %)であった。既往症は、高血圧 81 例(71.1 %)、糖尿病 29 例(25.4 %)、持続性および発作性の既往を含めた心房細動 48 例(42.1 %)。Carpentier 分類では、I 型が 17 例 (14.9 %)、II 型が 60 例 (52.6 %)、IIIa 型が 13 例 (11.4 %)、IIIb 型が 24 例 (21.1 %)であり、半数以上が II 型であった。II 型のうち、後尖逸脱症例がのべ 46 例 (76.7 %)、前尖逸脱症例がのべ 26 例 (43.3 %)、交連部弁尖のみの逸脱症例が 2 例 (3.3 %)あり、多くの II 型 MR で後尖逸脱を認めた。左室駆出率 (Ejection Fraction, 以下 EF と略記) は平均 55.6 %であった。IIIb 型では、術前 New York Heart Association 心機能分類 (以下 NYHA と略記)では他群と統計学的有意差を認めなかったが、左室機能に関しては EF 37.3 %と、他群と比較して有意に低左心機能であった (I 型 vs IIIb 型、II 型 vs IIIb 型、IIIa 型 vs IIIb 型、いずれも  $P < .001$ )。

### 2. 3D-TEE 解析

(表 2) 術前の僧帽弁形態の 3D-TEE 計測結果を示す(表 2)。

II 型は I 型と比較して有意に周囲長が大きい (I 型  $116.8 \pm 15.3$  mm、II 型  $127.9 \pm 15.6$  mm、 $p = 0.02$ ) が、弁輪拡大率では I 型との間に有意差はなかった (縦径/A2: I 型  $1.5 \pm 0.2$  mm、II 型  $1.5 \pm 0.4$  mm、 $p = 0.83$ 、周囲長/A2: I 型  $5.3 \pm 0.7$  mm、II 型  $5.5 \pm 1.5$  mm、 $p = 1.00$ )。

楕円率 (横径/縦径) はすべての群で平均 1.1 から 1.2 であり、どの病因による MR でも僧帽弁輪はわずかに横長の楕円形をしていることが示された。楕円率は各群間に有



意差を示さなかった(I型 vs II型:  $p=0.66$ 、I型 vs IIIb型:  $p=0.74$ 、II型 vs IIIb型:  $p=1.00$ )。

IIIb型はI型と比較して有意に前尖長が延長していた(I型  $22.6\pm 4.4$  mm、IIIb型  $26.4\pm 5.0$  mm、 $p=0.04$ )。IIIb型の弁輪拡大率は、縦径/A2 および周囲長/A2 とともに、他の2群どちらと比較しても有意に小さかった(縦径/A2: I型 vs IIIb型:  $p<0.001$ 、II型 vs IIIb型:  $p=0.01$ 、周囲長/A2: I型 vs IIIb型:  $p=0.03$ 、II型 vs IIIb型:  $p=0.05$ )。

後尖長はI型とIIIb型と比較しII型で有意に長かった(I型  $12.7\pm 3.7$  mm、II型  $17.4\pm 5.6$  mm、IIIb型  $14.0\pm 5.9$  mm、I型 vs II型:  $p=0.01$ 、II型 vs IIIb型:  $p=0.02$ )。

## 考察

僧帽弁手術、とくに僧帽弁形成術においては、Carpentier 分類によって手術方法を決定するといっても過言ではない<sup>8)</sup>。人工弁輪、弁尖切除、人工腱索、乳頭筋接合あるいは乳頭筋吊り上げなどの手術手技の組み合わせは、ほぼ病因によって決まってくるからである。弁形成術の成績を向上させるために、3D-TEE による術前の僧帽弁の解析が推奨されるようになってきているが<sup>6)8)</sup>、今回の検討は、MR 患者における術前の弁の形態を、Carpentier 分類のタイプごとに 3D-TEE 解析した初めての報告である。Carpentier II型では、弁尖逸脱によって逆流が生じる群であるが、I型と同様に僧帽弁前尖に比して約1.5倍の弁輪を呈していた。このことから、人工弁輪を用いた弁輪形成術において、リモデリングと同様に縫縮することが肝要であり、術前の 3D-TEE 解析でのリングサイズ決定の可能性が示唆された。

一般的に Carpentier IIIa型はリウマチ性が多く、弁輪や弁尖に石灰化変化を起こし、

3D-TEE 解析誤差が生じるため、正確な評価が困難であるとされる。また、Carpentier IIIa 型は術式として弁置換術を選択することがほとんどであり、今回の検討においても II 型は 91.7% に弁尖操作を加えた MVP を行ったのに対し、IIIa 型では 92.3% に MVR を施行した。第一選択として弁形成術を考慮するのは、I 型・II 型・IIIb 型であると言える。このため、今回は Carpentier IIIa 型を除いた I 型・II 型・IIIb 型の 3 群の比較検討を行った。

#### 弁輪拡大

病変の無い僧帽弁の弁周囲長は 102~114 mm との報告があり<sup>9)10)11)</sup>、今回の研究においてすべての群で上述の値を上まわっており、手術治療を要する MR 症例では正常な僧帽弁と比較し、弁周囲長が拡大していた。各群の比較でみると、弁尖運動に問題のない I 型の病因は、感染性心内膜炎などによる弁尖の穿孔でなければ弁輪拡大が主であるため、I 型で弁周囲長は拡大すると予測した。しかし、実際には II 型のほうが、I 型に比較して有意に弁周囲長が長かった。最近、心房細動 (atrial fibrillation, 以下 af と略記) にともなう左房拡大が MR の原因であるという報告が多くみられる<sup>12)13)</sup>。Machino-Otsuka らは af 患者の僧帽弁周囲長が MR の重症度に比例して拡大傾向を示すと述べている<sup>12)</sup>。今回測定した弁周囲長を、I 型の af 症例のみ (n=9、平均 124.5cm ± 17.0 mm) と、II 型および IIIb 型とで多重比較したところ、いずれの組み合わせにおいても有意差を認めず、af のある I 型 MR では、他群と同様に弁周囲長の拡大を認めた。また、II 型の MR は弁尖の逸脱に起因するが、弁周囲長も MR によって二次的に拡大していく。弁尖逸脱のある症例のうち、MR のある症例のほうが MR のない症例よりも弁周囲長が大きいことが報告されている<sup>14)</sup>。拡大した弁輪をもとの径に戻すことが僧帽弁形成手技の大きな柱の一つであり、Carpentier 自身も、ほぼすべて

の MR 症例に人工弁輪を用いた弁輪形成を行うべきだと述べている<sup>15)</sup>。Gillinov<sup>16)</sup>や De Bonis<sup>17)</sup>らは人工弁輪を使用しなかった変性による MR の弁形成術は遠隔期に再発が多いと報告しており、David らはほぼすべての症例に人工弁輪を用いて良好な遠隔成績を得られたと報告している<sup>18)</sup>。David らは、変性 MR のうち、fibroelastic deficiency (FED)は弁輪も弁尖も小さいため僧帽弁狭窄のリスクを危惧して人工弁輪を使用しなかったところ、多変量解析で人工弁輪非使用が有意な MR 再発リスク因子となった<sup>19)</sup>。当院ではこれまでも全ての僧帽弁形成手術で人工弁輪を使用してきたが、弁輪拡大が直接病因ではない II 型 MR に対しても人工弁輪の使用が妥当であったと考えられる。また、今回の検討では弁輪拡大として弁周囲長の絶対値および弁輪拡大率(縦径/A2、弁周囲長/A2)を比較した。弁周囲長の絶対値の比較では、II 型で有意な延長を認めた。しかし大動脈弁輪径に個人差があるように、僧帽弁輪の大きさにも個人差があるはずである。Barlow disease では、弁周囲長がコントロールや FED 症例と比較して大きくなるが、弁尖面積も大きく<sup>20)21)</sup>、MR を来たす前から弁周囲長の絶対値は拡大していると考えられる。弁輪の拡大率を評価するために、今回は一般的に大きさがあまり変化しないと言われる前尖長を用いて、縦径と前尖長の比率および弁周囲長と前尖長の比率を算出した。前尖長として、A2 長を用いた。拡大率を各群間で比較すると、I 型も II 型も有意差が無く、約 1.5 倍の拡大率を呈した。これは、弁輪形成に際して、拡大した弁輪をもとの径に戻すためには、I 型でも II 型でも弁周囲長実測値の 1/1.5、つまり 2/3 の全長をもつ人工弁輪がサイズの目安となることを示唆する。

#### 弁輪の形態

当院の MR 手術症例では、弁輪の楕円率(横径/縦径)は各群間で有意差がなく、やや横径が大きい楕円形を保持できていた。しかし、I 型や II 型 MR では弁輪の楕円

率が対照群(健常群)と有意差がなかったという報告がある一方で<sup>12)21)</sup>、II型のうちFEDは対照群と有意差がないがBarlow diseaseでは縦径の拡大が大きく楕円率1.06と正円に近くなるという報告や<sup>20)</sup>、IIIb型では対照群よりも正円に近くなるという報告<sup>10)11)</sup>がある。Carpentierは僧帽弁輪の拡大は交連と後尖弁輪に起こり、前尖部弁輪には影響せず、横径より縦径が大きくなるように弁輪の形を変性させるとしている<sup>22)</sup>。病変のない僧帽弁の前尖弁輪長と後尖弁輪長は、Vergnatらは $38.2 \pm 1.2$  mmと $64.1 \pm 2.3$  mm<sup>9)</sup>、Jassarらは $39.44 \pm 5.18$  mmと $63.01 \pm 9.06$  mm<sup>23)</sup>と報告している。そしてVergnatらもJassarらも、虚血によるIIIb型MRでは、健常群と比較して後尖弁輪長のみが有意に延長すると述べている<sup>9)23)</sup>。また、Jassarらによれば、II型MRでは健常群と比較して前尖弁輪長も後尖弁輪長も有意に延長するが、後尖弁輪長の拡大はIIIb型のほうがII型よりも有意に大きい。そして全体の弁周囲長はII型とIIIb型とに有意差はないが、どちらも健常群よりは拡大している<sup>23)</sup>。つまり、弁尖逸脱によるMRでは前尖弁輪も後尖弁輪も拡大し、虚血性MRでは後尖弁輪が主に拡大する。II型MRで前尖弁輪も後尖弁輪も同様に拡大するのであれば、縦径と横径が同時に拡大して楕円率はそのまま保持されると思われ、今回当院のII型MRの計測で楕円を保持していたことが説明できる。IIIb型でも楕円を保持していたが、最近、僧帽弁輪の垂直方向の動きの縮小や弁輪の扁平化がMRに関与しているという報告があり<sup>24)21)</sup>、3D解析を生かした垂直方向の評価も加えていく必要があると思われる。

#### 弁尖の長さ

IIIb型は、I型と比較して有意に前尖長が延長していた。afに伴うI型MRや変性によるII型MRで弁尖の面積が健常群よりも広くなるという報告はあるが<sup>12)25)</sup>、Chaputらは虚血性心筋症および拡張型心筋症の症例で、MRの有無にかかわらず、健常群と

比較して前尖も後尖も長さが変わらないと報告しており<sup>26)</sup>、これまでⅢb型MRで前尖が長くなるという報告はない。今回のⅢb型24例のうち、虚血性MRが21例であり、弁尖の tethering と弁尖の延長に関係があるかもしれない。症例数を増やして、弁尖が延長する条件などを、今後さらに検討していく必要がある。

また、Ⅱ型において後尖がⅠ型よりもⅢb型よりも有意に長くなっていたが、これは今回検討した症例のうち、Ⅱ型では後尖逸脱症例が多かったことが関係していると考えられる。

### Limitation

今回の研究では、対象症例数が全体で114例と少なく、とくにⅠ型とⅢ型は症例数が不十分であった。また、TEEという侵襲を伴う検査であるため、弁膜症が無い患者には検査を施行しておらず、対照群のデータがない。僧帽弁膜症を持った弁の間でのみの比較となっており、正常状態からの変化率についての検討ができなかった。

Carpentier分類は心エコー所見の形態で行っており、MRの罹病期間が長くなってafや左室拡大および左室機能低下を来してきた場合の分類は困難であった。また、症例によって手術のタイミングが異なるため、罹病期間に比例して進行する弁尖の変性や弁輪拡大などに差が出た可能性は否定できない。

この研究の目的は、術前の僧帽弁形態の特徴を捉えらえることであったため、今回得られた結果と術後結果との比較を行っていない。今回得られた結果と実際の手術結果との関連についての検討が今後の課題である。

### 結語

弁尖逸脱による MR をきたす II 型でも弁輪は拡大した。IIIb 型で前尖長が延長することが示唆された。

謝辞: 稿を終えるにあたり、ご指導ご校閲頂きました帝京大学医学部心臓血管外科学講座 下川智樹主任教授に深甚なる謝意を表す。また、終始多大なるご指導ご校閲頂きました同講座 尾澤直美先生、帝京大学医学部循環器内科学講座 片岡明久先生、統計学 酒井美良先生、心エコー室 白倉和代様に深謝の意を表す。

## 参考文献

1. Committee for Scientific Affairs, The Japanese Association for Thoracic Surgery. Thoracic and cardiovascular surgery in Japan during 2014 -Annual report by The Japanese Association for Thoracic Surgery-. Gen Thorac Cardiovasc Surg 2016;64(11):665-697.
2. McNeely CA, Vassileva CM. Long-term outcomes of mitral valve repair versus replacement for degenerative disease: a systematic review. Curr Cardiol Rev. 2015;11(2):157-62.
3. Lancellotti P, Moura L, Pierard LA, et al. European Association of Echocardiography recommendations for the assessment of valvular regurgitation. Part 2: mitral and tricuspid regurgitation (native valve disease). Eur J Echocardiogr. 2010 May;11(4):307-32.
4. 大北裕, 岡田行功, 尾辻豊, ほか. 循環器病の診断と治療に関するガイドライン (2011 年度合同研究班報告) 弁膜疾患の非薬物治療に関するガイドライン (2012 年改訂版) [http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2012\\_ookita\\_h.pdf](http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2012_ookita_h.pdf). (オンライン)
5. Bonow RO, Carabello BA, Chatterjee K, et al. 2008 focused update incorporated into the ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines J Am Coll Cardiol. 2008 Sep 23;52(13):e1-142.
6. Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, et al. 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease; A Report of the American

College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol.* 2017 Jul 11;70(2):252-289.

7. Vahanian A, Alfieri O, Andreotti F, et al. Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012): the Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur J Cardiothorac Surg* 2012;42:S1-44.

8. Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J.* 2017 Sep 21;38(36):2739-2791.

9. Vergnat M, Jassar AS, Jackson BM, et al. Ischemic mitral regurgitation: a quantitative three-dimensional echocardiographic analysis. *Ann Thorac Surg.* 2011 Jan;91(1):157-64.

10. Khabbaz KR, Mahmood F, Shakil O, et al. Dynamic 3-dimensional echocardiographic assessment of mitral annular geometry in patients with functional mitral regurgitation. *Ann Thorac Surg.* 2013 Jan;95(1):105-10.

11. Naoum C, Leipsic J, Cheung A, et al. Mitral Annular Dimensions and Geometry in Patients With Functional Mitral Regurgitation and Mitral Valve Prolapse: Implications for Transcatheter Mitral Valve Implantation. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2016 Mar;9(3):269-80.

12. Machino-Ohtsuka T, Seo Y, Ishizu T, et al. Novel Mechanistic Insights Into Atrial Functional Mitral Regurgitation - 3-Dimensional Echocardiographic Study. *Circ J.* 2016 Sep 23;80(10):2240-8.



13. Ring L, Dutka DP, Wells FC, et al. Mechanisms of atrial mitral regurgitation: insights using 3D transoesophageal echo. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2014 May;15(5):500-8.
14. Lee AP, Hsiung MC, Salgo IS, et al. Quantitative analysis of mitral valve morphology in mitral valve prolapse with real-time 3-dimensional echocardiography: importance of annular saddle shape in the pathogenesis of mitral regurgitation. *Circulation*. 2013 Feb 19;127(7):832-41.
15. Carpentier A. Cardiac valve surgery--the "French correction" *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1983 Sep;86(3):323-37.
16. Gillinov AM, Tantiwongkosri K, Blackstone EH, et al. Is prosthetic anuloplasty necessary for durable mitral valve repair? *Ann Thorac Surg*. 2009 Jul;88(1):76-82.
17. De Bonis M, Lapenna E, Maisano F, et al. Long-term results ( $\leq 18$  years) of the edge-to-edge mitral valve repair without anuloplasty in degenerative mitral regurgitation: implications for the percutaneous approach. *Circulation*. 2014 Sep 9;130(11 Suppl 1):S19-24.
18. David TE, Ivanov J, Armstrong S, Christie D, et al. A comparison of outcomes of mitral valve repair for degenerative disease with posterior, anterior, and bileaflet prolapse. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2005 Nov;130(5):1242-9.
19. David TE, Armstrong S, McCrindle BW, et al. Late outcomes of mitral valve repair for mitral regurgitation due to degenerative disease. *Circulation*. 2013 Apr 9;127(14):1485-92. .

20. Chandra S, Salgo IS, Sugeng L, Weinert L, et al. Characterization of degenerative mitral valve disease using morphologic analysis of real-time three-dimensional echocardiographic images: objective insight into complexity and planning of mitral valve repair. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2011 Jan;4(1):24-32.
21. Apor A, Nagy AI, Kovács A, et al. Three-dimensional dynamic morphology of the mitral valve in different forms of mitral valve prolapse - potential implications for annuloplasty ring selection. *Cardiovasc Ultrasound*. 2016 Aug 15;14(1):32.
22. Carpentier A, Chauvaud S, Fabiani JN, et al. Reconstructive surgery of mitral valve incompetence: ten-year appraisal. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1980 Mar;79(3):338-48.
23. Jassar AS, Vergnat M, Jackson BM, et al. Regional Annular Geometry in Patients With Mitral Regurgitation: Implications for Annuloplasty Ring Selection. *Ann Thorac Surg*. 2014 Jan;97(1):64-70. .
24. Lee AP, Fang F, Jin CN, et al. Quantification of mitral valve morphology with three-dimensional echocardiography--can measurement lead to better management? *Circ J*. 2014;78(5):1029-37. .
25. Pouch AM, Jackson BM, Lai E, et al. Modeling the Myxomatous Mitral Valve With Three-Dimensional Echocardiography. *Ann Thorac Surg*. 2016 Sep;102(3):703-710.
26. Chaput M, Handschumacher MD, Guerrero JL, et al. Mitral leaflet adaptation to ventricular remodeling: prospective changes in a model of ischemic mitral regurgitation. *Circulation*. 2009 Sep 15;120(11 Suppl):S99-103.

図 1 Carpentier 分類

図 2 3D 解析画面(QLAB)

- (A) 僧帽弁長軸像(冠状面)で弁輪の前交連(AL)・後交連(PM)を決定する。
- (B) 僧帽弁長軸像(矢状面)で前尖側の弁輪の中央(前; A)・後尖側の弁輪の中央(後; P)を決定する。前後尖接合部(Nadir)を決定する。
- (C) A1・A2・A3 と P1・P2・P3 の境界の決定。
- (D) 3D 解析を基にしたカラー図。弁輪より左心室側ほど青く、左心房側に逸脱するほど赤く表示される。

図 3 僧帽弁逸脱により前尖と後尖が被る症例

- (A) 前尖の計測。後尖は途中までしかトレースされない。
- (B) 後尖の計測。前尖は途中までしかトレースされない。

図 4 僧帽弁計測位置

The evaluation of the mitral valve anatomy used Three-Dimensional image of the transesophageal echocardiography analysis in the patients with Mitral Regurgitation.

Kaori Nakagawa, Naomi Ozawa, Tsukasa Ikeda, Tadanori Harada, Hiro Ota,

Tsuyoshi Tomita, Kenji Nishimura, Tomohiro Imazuru, Mitsuru Iida,

Tomoki Shimokawa

Department of Cardiovascular Surgery, Teikyo University School of Medicine

Objective: Three-Dimensional image of the transesophageal echocardiography improved, and the remarkable technological changes such as ultrasound devices allowed the complicated grasp for the mitral valve anatomy. We analyzed Three-Dimensional echocardiographic images in the preoperative Mitral Regurgitation (MR) patients and checked the difference in morphologic characteristic every etiology.

Methods: We reviewed the records of 114 patients who had over moderate MR and underwent Three-Dimensional echocardiographic images before mitral valve surgery, between January, 2013 to December, 2015. We used Carpentier classification for an etiology of the MR and classified as the normal leaflet motion is type I, the leaflet prolapse is type II, the restricted leaflet motion is type III, and classified type III in leaflet retraction is type IIIa and apical displacement is type IIIb. We compared three-Dimensional echocardiographic analysis measurements between each group.

Results: The perimeter of annulus was significantly bigger in type II than type I. The

wide / length ratio had a difference in no groups and maintained the form of oblong oval. The length of anterior cusp was significantly longer in type IIIb than type I. The length of posterior cusp was significantly longer in type II than type I and type IIIb. But, among type II, the meaningful extension of the anterior cusp in the anterior cusp prolapse group did not accept it, and even posterior cusp prolapse group did not recognize extension of the posterior cusp in comparison with other groups.

Conclusions: The perimeter of annulus extended in type II by the leaflet prolapse, and the anterior cusp extended in type IIIb by apical displacement.

表 1 患者背景

	全体	Carpentier 分類			
	(n=114)	I 型 (n=17)	II 型 (n=60)	IIIa 型 (n=13)	IIIb 型 (n=24)
年齢(歳)	68.3 ±11.3	75.3 ±7.8	65.6 ±11.8	70.5 ±10.1	69.5 ±10.7
男性	76 (66.7 %)	9 (52.9 %)	45 (75.0 %)	3 (23.1 %)	19 (79.2 %)
高血圧	81 (71.1 %)	11 (64.7 %)	42 (70.0 %)	10 (76.9 %)	18 (75.0 %)
糖尿病	29 (25.4 %)	4 (23.5 %)	12 (20.0 %)	2 (15.4 %)	11 (45.8 %)
心房細動	48 (42.1 %)	9 (52.9 %)	23 (38.3 %)	9 (69.2 %)	7 (29.2 %)
NYHA <sup>#1</sup>					
I	14 (12.3 %)	2 (11.8 %)	11 (18.3 %)	0 (0.0 %)	1 (4.2 %)
II	47 (41.2 %)	6 (35.3 %)	26 (43.3 %)	5 (38.5 %)	10 (41.7 %)
III	42 (36.8 %)	8 (47.1 %)	20 (33.3 %)	6 (46.2 %)	8 (33.3 %)
IV	11 (9.6 %)	1 (5.9 %)	3 (5.0 %)	2 (15.4 %)	5 (20.8 %)
BSA <sup>#2</sup> (m <sup>2</sup> )	1.6 ±0.2	1.5 ±0.2	1.6 ±0.2	1.5 ±0.1	1.6 ±0.2
EF <sup>#3</sup> (%)	55.6 ±13.1	57.8 ±7.6	62.3 ±8.1	57.2 ±8.3	37.2 ±10.8
MVP <sup>#4</sup>	89 (78.1 %)	14 (82.4 %)	55 (91.7 %)	1 (7.7 %)	19 (79.2 %)
弁尖操作あり	70 (61.4 %)	6 (35.3 %)	54 (90.0 %)	0 (0.0 %)	10 (41.7 %)
MAP <sup>#5</sup> only	19 (16.7 %)	8 (47.1 %)	1 (1.7 %)	1 (7.7 %)	9 (37.5 %)
MVR <sup>#6</sup>	25 (21.9 %)	3 (17.6 %)	5 (8.3 %)	12 (92.3 %)	5 (20.8 %)
MICS <sup>#7</sup>	23 (20.2 %)	1 (5.9 %)	20 (33.3 %)	2 (15.4 %)	0 (0.0 %)

#1: NYHA (New York Heart Association); 心機能分類

#2: BSA (Body Surface Area); 体表面積

#3: EF (Ejection Fraction); 左室駆出率

#4: MVP (Mitral Valve Plasty); 僧帽弁形成術

#5: MAP (Mitral Valve Annuloplasty); 僧帽弁弁輪形成術

#6: MVR (Mitral Valve Replacement); 僧帽弁置換術

#7: MICS (Minimally Invasive Cardiac Surgery); 小切開心臓手術

表 2 3D-TEE 計測値及び多重比較

	I 型 (n=17)	II 型 (n=60)	IIIb 型 (n=24)
横径 (mm)	36.4 ±4.1	40.3 ±5.6*	38.1 ±4.9
縦径 (mm)	32.7 ±4.7	35.3 ±5.6	33.0 ±4.2
周囲長 (mm)	116.8 ±15.3	127.9 ±15.6*	124.2 ±15.0
前尖 A2 (mm)	22.6 ±4.4	24.6 ±6.3	26.4 ±5.0*
後尖 P2 (mm)	12.7 ±3.7	17.4 ±5.6*	14.0 ±5.9 <sup>†</sup>
横径／縦径	1.1 ±0.1	1.2 ±0.1	1.2 ±0.1
縦径／A2	1.5 ±0.2	1.5 ±0.4	1.3 ±0.2* <sup>†</sup>
周囲長／A2	5.3 ±0.7	5.5 ±1.5	4.8 ±0.9* <sup>†</sup>

\*p<0.05 vs I 型

<sup>†</sup>p<0.05 vs II 型

弁の動き	弁の形態	異常部位	病因
Carpentier I型 弁尖運動正常 		弁輪拡大 弁尖の穿孔 弁尖の亀裂	心房細動 先天性 感染性心内膜炎
Carpentier II型 弁尖逸脱 		粘液腫性変性 腱索延長・断裂 乳頭筋延長・断裂	変性疾患 FED Barlow 症候群 Marfan 症候群
Carpentier IIIa型 弁尖拘縮 		弁尖後退 腱索後退 交連癒合 左室繊維性変化	リウマチ熱 カルチノイド症候群 放射線療法 SLE エルゴタミン使用者
Carpentier IIIb型 弁下組織の偏移 		弁尖のテザリング 乳頭筋間距離の延長 左室拡大 左室瘤 左室線維性変化	虚血性心筋症 拡張型心筋症

図 1



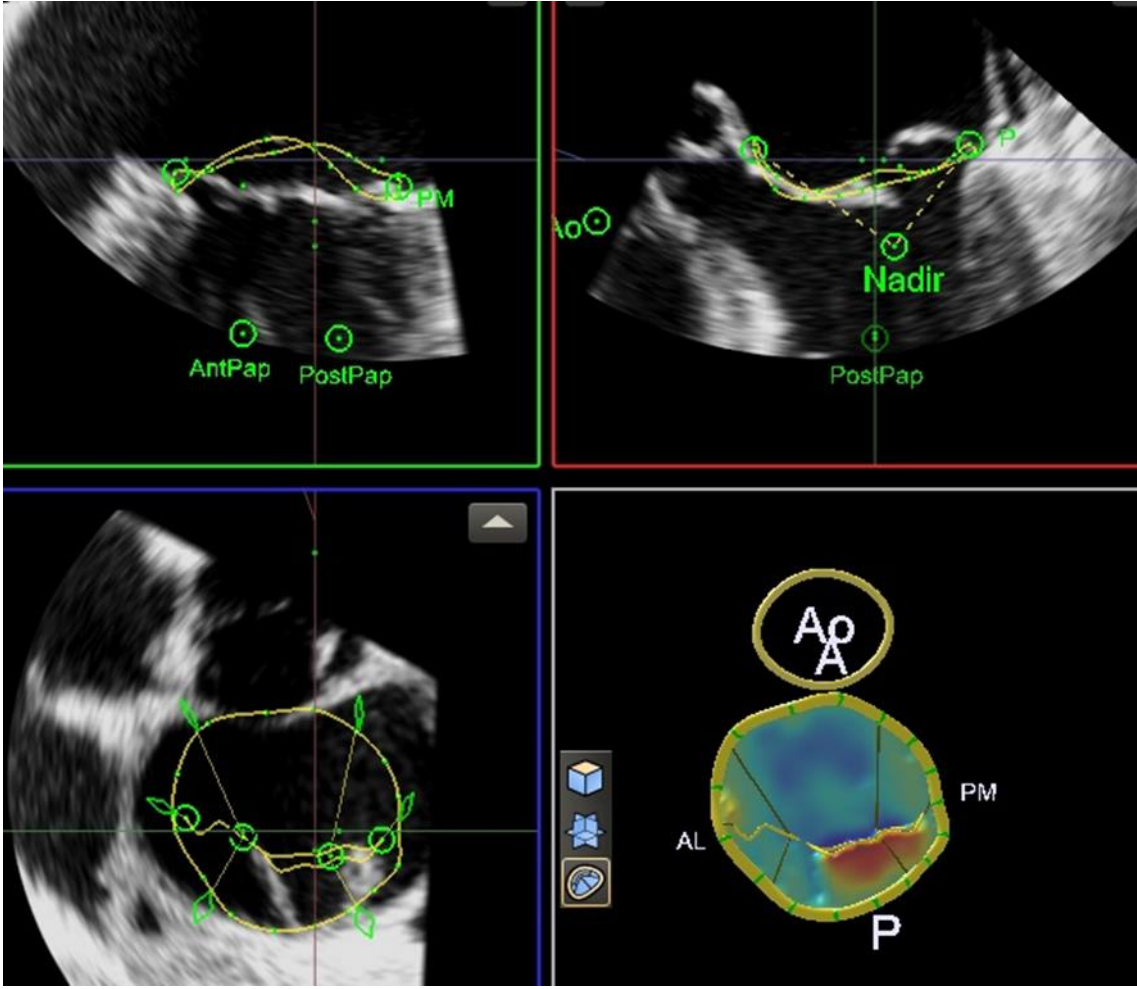


图 2

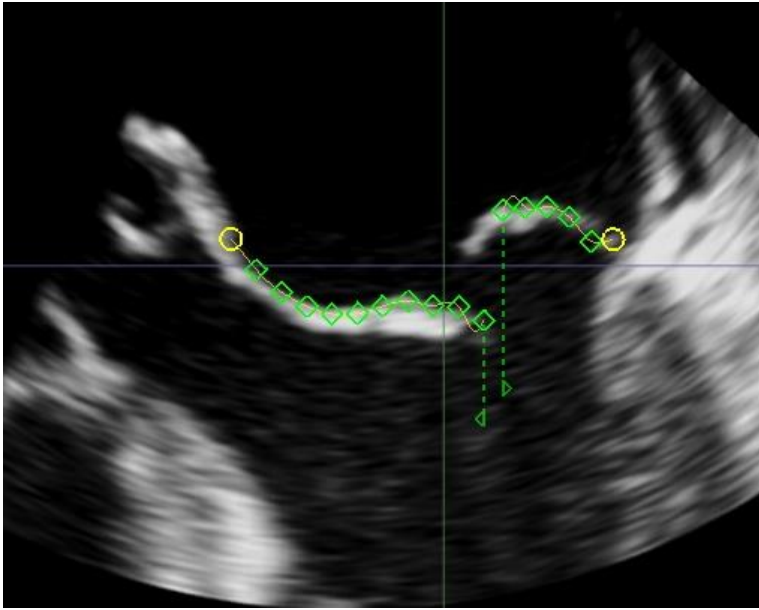


图 3 (A)

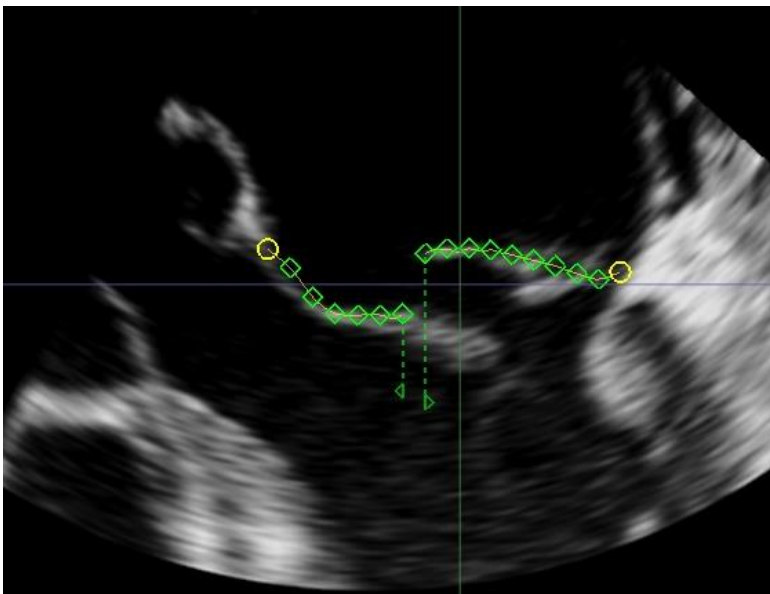


图 3 (B)

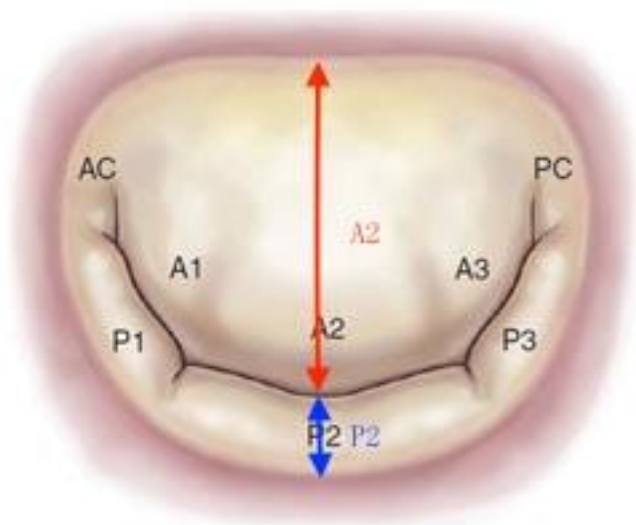
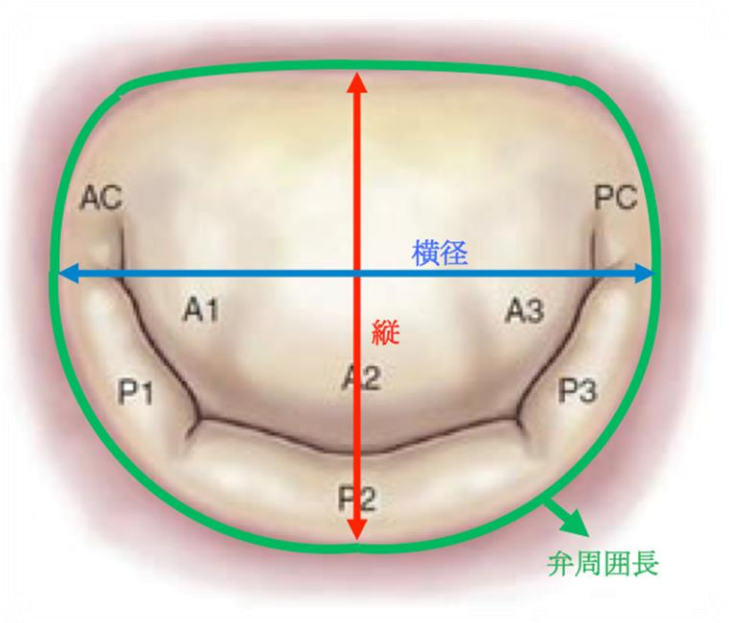


図 4