

リアルタイム三次元心エコー図による僧帽弁テント化の三次元解析

渡邊 望, 吉田 清

Watanabe N, Yoshida K: 3D quantification of mitral valve tenting by real-time 3D echocardiography. J Jpn Coron Assoc 2007; 13: 151-153

I. はじめに

最近開発された三次元心エコー図装置を用いることにより、非侵襲的かつ簡便に心臓全体をリアルタイムにスキャンし、画像を取り込むことが可能となった。三次元心エコー画像では、外科医が心臓を見るのと同じように心筋・弁膜などの構造を観察することができ、これまでの二次元画像による診断に比べて詳細な術前診断ができることが期待されている。しかし、この三次元画像を用いた三次元解析・計測は未だ困難であり、実際の詳細な形態や位置関係を定量化することができないため、三次元心エコー図は臨床的に実用化されていないのが現状である。われわれの施設では医用工学教室との共同研究により、臨床的意義の大きい弁膜とくに僧帽弁を中心に三次元心エコー図の画像からその形態変化を定量解析できるソフトの開発に成功した¹⁾。この方法により、これまで明らかではなかった僧帽弁逆流の解剖学的・機能的メカニズムを定量的に評価することができると同時に、さらに三次元心エコー図がそれぞれの疾患、また個人における最適な術式を決定するための新たな診断法として確立することが期待される。

II. 僧帽弁の三次元解析の臨床的意義

僧帽弁逆流(僧帽弁閉鎖不全)は弁膜疾患の中でも頻度が高く、重症の逆流例では左心不全を引き起こす重要な疾患である。

重症僧帽弁逆流の治療は基本的に外科治療であり、従来は人工弁を用いた僧帽弁置換術が行われてきた。しかし、人工弁置換後には心機能の低下や抗凝固療法に伴う合併症などの問題が多く、自己弁を温存する僧帽弁形成術が最近広く行われるようになってきた。僧帽弁形成術は僧帽弁輪・弁尖・腱索などのうち逆流の原因となっている部分を選択的に外科的成形する方法であり、その成功のためには心エコー図検査による術前の正確な病因・病変診断が不可欠である。しかし、現在広く用いられている心エコー図検査は二次元画像による診断を行うものであり、三次元的に

複雑な構造をしている僧帽弁と僧帽弁周囲の解剖学的・位置関係の明らかにすることは困難であった。つまり、鞍馬型の曲線を描く弁輪や、精巧なカーブを有する弁尖・弁葉、さらに腱索から乳頭筋・左室に至る弁下部支持組織でなされる僧帽弁の機能的複合体(僧帽弁機構)の立体的な構造を把握するためには、二次元画像では不十分であり、三次元的な画像診断が必要と思われてきた。臨床的にはとくに、弁そのものには異常がないにもかかわらず弁支持組織との位置関係のずれによって逆流を生じる「機能性僧帽弁逆流」のメカニズム解明はいままでの二次元エコーシステムでは不可能であった。

III. 三次元心エコー図画像からの僧帽弁輪・弁葉の形状解析¹⁾

1. リアルタイム三次元心エコー図での画像収集

経胸壁リアルタイム三次元心エコー図法(Philips, SONOS 7500, IE33)を用いて心尖部アプローチで僧帽弁を含む心臓の立体構造を記録する。Bi-plane modeで角度を変えながら、探触子の位置が心尖部に位置することを確認する。探触子の位置を決定した後にfull volume modeで心臓全体の画像を取り込む。この際、弁輪構造が安定に描出できるように、僧帽弁開口部中心軸が断層画像内中心部で安定した状態で観測できるように超音波探触子を保持しながら三次元データ収集を行う。

2. 僧帽弁輪形状の評価

弁輪部の検出を行うため、得られた三次元データをもとにして、心尖部から僧帽弁輪開口部中央を結ぶ心長軸を回転中心軸とする心断層像(10度ごと、18枚)を再合成し、僧帽弁輪・弁葉構造を含む断層像を作成する(図1)。画像解析には弁形状解析ソフトREAL VIEW(YD)を用いる。この方法では、任意のフレームの三次元心エコーデータから、それぞれ18枚の回転断層像を作成することができる。各フレームの断層像から、弁輪・弁葉位置を目視により用手的に抽出しトレースする。REAL VIEWを用いてこれらの形状を三次元再構築し、三次元データから、弁輪面積・弁輪長を算出する。また、僧帽弁輪は平坦ではなく鞍馬型の立体構造(saddle shape)を呈していることから、弁

川崎医科大学循環器内科(〒701-0192 岡山県倉敷市松島577)

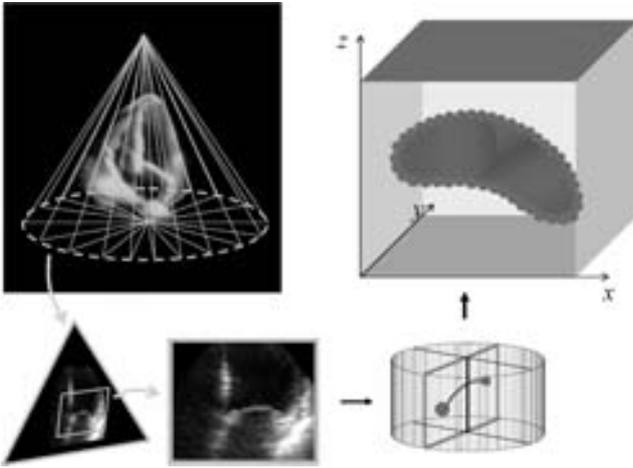


図1 経胸壁リアルタイム三次元心エコー図法を用いて、心尖部アプローチで僧帽弁を含む心臓の立体構造の得られた三次元データを記録する。心尖部から僧帽弁開口部中央を結ぶ心長軸を回転中心軸とする心断層像(10度ごと, 18枚)を再合成し、僧帽弁輪・弁葉構造を含む断層像を作成する。弁輪・弁葉位置を目視により手動的に抽出しトレースし、これらの形状を三次元再構築する。(文献1より引用)

輪形状の平坦度をサドルの頂点部と底面部の高低差(非平坦度, non-planer index)により評価する。

IV. 弁葉形状の評価

僧帽弁の弁葉は、弁輪同様に REAL VIEW を用いて再構築され、ソフト上で高低差によるカラーグラデーションで表示される。曲面である弁輪面を底面とし、弁輪面と弁葉で囲まれる部分を僧帽弁 tenting 部分とした。三次元データセットから tenting volume, tenting height を計測し、機能性僧帽弁逆流での僧帽弁 tenting の程度を評価した(図2, 3)。さらに、弁の高低を心尖部側からみた等高線として表し、弁輪面から心尖部より最も牽引されている部分(maximum tenting site)を表示する。

V. 虚血性僧帽弁逆流における僧帽弁・弁輪形態の定量解析

1. 僧帽弁輪形態の三次元定量解析

正常例では僧帽弁輪は鞍馬型(saddle shape)を示していた。つまり、大動脈弁側の前弁輪と後弁輪が最も左房側に、前交連・後交連側が最も左室側に位置し、カーブを描いていた。左室機能の低下した虚血性心筋症患者での弁輪形態を観察すると、正常に比べ弁輪は拡大し、平坦化していた。なかでも虚血性僧帽弁逆流患者ではさらに弁輪拡大と平坦化が著明であった²⁾。虚血性僧帽弁逆流患者のうち前壁梗塞患者と下壁梗塞患者を比較すると、下壁梗塞では前壁梗塞に比べ弁輪拡大・平坦化の程度は小さかった〔control: circumference 9.9±0.7 cm, area 9.6±0.5 cm², height 5.0±0.7 mm, inferior MI: circumference 11.5±1.2 cm (p<0.01 compared with control), area 11.4±2.0 cm² (p<0.05 compared with control), height 3.5±1.6 mm (p<0.05 compared

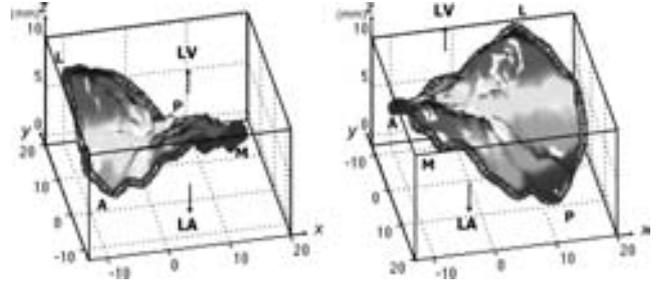


図2 健常成人の僧帽弁輪・弁葉の三次元画像(文献1より引用)
弁輪は鞍馬型を呈し、弁葉は弁輪面にそってカーブしている。
LV:左室側, LA:左房側, A:前弁輪, P:後弁輪, M:medial側, L:lateral側

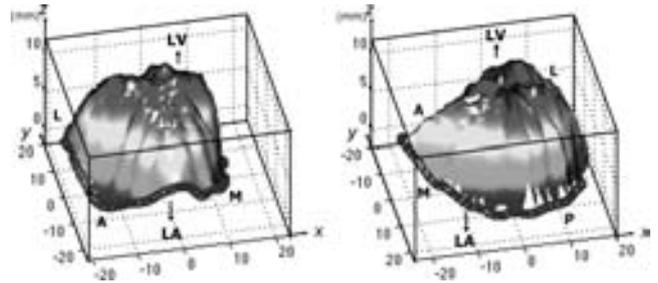


図3 拡張型心筋症による機能性僧帽弁逆流での僧帽弁輪・弁葉の三次元画像(文献1より引用)
僧帽弁弁輪周長は長く、弁輪面積は大きく、弁輪は平坦化しており、僧帽弁葉は左室側ヘ Tent 状に変位している。

with control), anterior MI: circumference 14.2±2.4 cm (p<0.0001 compared with control, p<0.05 compared with inferior MI), area 13.7±2.8 cm² (p<0.01 compared with control, p<0.05 compared with inferior MI), height 1.7±1.5 mm (p<0.0001 compared with control, p<0.05 compared with inferior MI)]³⁾。

2. 僧帽弁 tenting の三次元定量解析

虚血性僧帽弁逆流における僧帽弁輪・弁葉の三次元構造につき健常対象群と比較検討した。左室機能低下(左室駆出率50%未満)を伴う虚血性僧帽弁逆流12例と健常例10名を対象とし、リアルタイム三次元心エコー図装置を用いて経胸壁的に心尖部からの full volume image を記録した。これらの画像をわれわれの開発したソフトウェアを用いて、収縮中期の画像上で僧帽弁輪および弁葉をトレースし三次元データを再構築し、定量解析を行った。結果、虚血性僧帽弁逆流例では、健常群と比較して弁輪は平坦化し、弁葉は左室側へ大きくドーム上に変位していた。三次元データ上で計測した maximum tenting length, mean tenting length, tenting volume は虚血性僧帽弁逆流で有意に大きかった(maximum tenting length: 9.8±2.0 mm vs 3.1±1.2 mm, p<0.0001, mean tenting length: 3.7±0.9 mm vs 0.7±0.5 mm, p<0.0001, tenting volume: 4.09±1.22 ml vs 0.45±0.29 ml, p<0.0001)。これらの左室機能低下症例で

は、弁輪面より最も心尖部への変位が強い部位: maximum tenting site は前例で前尖に位置していた⁴⁾。

3. 心筋梗塞部位による虚血性僧帽弁逆流における僧帽弁 tenting の多様性

下壁梗塞では前壁梗塞より高率に虚血性僧帽弁逆流を合併する。本研究ではわれわれが開発した三次元心エコー図の解析ソフトを用いて下壁梗塞と前壁梗塞での僧帽弁 tenting の形状を比較検討した。虚血性僧帽弁逆流を合併した下壁梗塞9名、前壁梗塞7名で経胸壁リアルタイム三次元心エコー図により心臓全体を立体的に記録した。オリジナルソフトを用い画像を放射状に展開、収縮中期の僧帽弁輪・弁葉をトレースし三次元画像を再構築した。三次元データ上で計測した弁輪面からの僧帽弁葉までの距離を等高線で表し、左室側への tenting の程度を観察した。5 mm 以上の tenting を示す弁葉面積と弁輪面積の比(% tethered leaflet area)を算出し下壁梗塞・前壁梗塞で比較した。結果は、前壁梗塞では弁葉の広範囲にわたり tenting がみられたが、下壁梗塞では tenting の部位はより狭い範囲でみられた。% tethered leaflet area は下壁梗塞において前壁梗塞より有意に小さかった(16.7±18.8% vs 38.9±9.7%, p=0.01)。前壁梗塞に伴う虚血性僧帽弁逆流では僧帽弁は広い範囲で左室側へ変位していたが、下壁梗塞では狭い範囲での tenting がみられた。左室の梗塞部位により僧帽弁 tenting の形状は様々であることが示唆された⁵⁾。

4. 機能性僧帽弁逆流に対する僧帽弁形成術前後での弁輪・弁葉形状の変化

僧帽弁形成術前後における僧帽弁尖および弁輪を三次元的に定量解析した。虚血性僧帽弁逆流患者3人で僧帽弁形成術1週間前および3週間後に tenting volume, 僧帽弁輪面積, 僧帽弁輪周長, 交連部径, および前後径を測定した。全例手術後に僧帽弁輪の縮小, および僧帽弁尖の tenting volume・僧帽弁輪面積・僧帽弁輪周長は小さくなり, 僧帽弁逆流量および左室容量は減少し駆出率は増加した⁶⁾。

VI. おわりに

三次元心エコー図を用いた三次元的定量解析は未だ実現されておらず, われわれのこれまでの研究成果は世界的に初めてのものである。特に現在, 僧帽弁尖・弁葉に異常が

ないにもかかわらず乳頭筋や左室の機能不全によって引き起こされる「機能的僧帽弁逆流」のメカニズム解明や治療法の開発が世界的に注目されており, これまで二次元心エコー図画像での解析に頼っていたこれらのテーマに対する研究は, 三次元解析が可能となることで大きく飛躍することが予想される。僧帽弁逆流の術前診断・外科治療にまで密接した臨床的に大いに有意義な研究となると思われる。

文 献

- 1) Yamaura Y, Watanabe N, Ogasawara Y, Yamamoto K, Kawamoto T, Toyota E, Akasaka T, Yoshida K: Geometrical demonstration and three-dimensional quantitative analysis of the mitral valve with real-time three-dimensional echocardiography: novel anatomical image creation system. *J Echocardiogr* 2004; **2**: 99-104
- 2) Watanabe N, Ogasawara Y, Yamaura Y, Kawamoto T, Akasaka T, Yoshida K: Geometric deformity of the mitral annulus in patients with ischemic mitral regurgitation: a real-time three-dimensional echocardiographic study. *J Heart Valve Dis* 2005; **14**: 447-452
- 3) Watanabe N, Ogasawara Y, Yamaura Y, Wada N, Kawamoto T, Toyota E, Akasaka T, Yoshida K: Mitral annulus flattens in ischemic mitral regurgitation: geometric differences between inferior and anterior myocardial infarction: a real-time 3-dimensional echocardiographic study. *Circulation* 2005; **112**: I458-I462
- 4) Watanabe N, Ogasawara Y, Yamaura Y, Kawamoto T, Toyota E, Akasaka T, Yoshida K: Quantitation of mitral valve tenting in ischemic mitral regurgitation by transthoracic real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2005; **45**: 763-769
- 5) Watanabe N, Ogasawara Y, Yamaura Y, Yamamoto K, Wada N, Kawamoto T, Toyota E, Akasaka T, Yoshida K: Geometric differences of the mitral valve tenting between anterior and inferior myocardial infarction with significant ischemic mitral regurgitation: quantitation by novel software system with transthoracic real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2006; **19**: 71-75
- 6) Yamaura Y, Watanabe N, Ogasawara Y, Wada N, Kawamoto T, Toyota E, Akasaka T, Tanemoto K, Yoshida K: Geometric change of mitral valve leaflets and annulus after reconstructive surgery for ischemic mitral regurgitation: real-time 3-dimensional echocardiographic study. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005; **130**: 1459-1461