

僧帽弁逸脱症における経胸壁フリーハンド三次元心エコー図法の有用性

Usefulness of Transthoracic Free-hand Three-Dimensional Echocardiography for the Evaluation of Mitral Valve Prolapse

安保 浩二  
 穂積 健之<sup>\*1</sup>  
 福田 祥大<sup>\*1</sup>  
 松村 嘉起<sup>\*1</sup>  
 松井 深香<sup>\*2</sup>  
 藤岡 一也<sup>\*2</sup>  
 中尾 満<sup>\*2</sup>  
 竹本 恭彦<sup>\*1</sup>  
 渡辺 弘之<sup>\*1</sup>  
 室生 卓<sup>\*1</sup>  
 竹内 一秀  
 吉川 純一<sup>\*1</sup>

Koji ABO, RMS  
 Takeshi HOZUMI, MD, FJCC<sup>\*1</sup>  
 Shota FUKUDA, MD<sup>\*1</sup>  
 Yoshiki MATSUMURA, MD<sup>\*1</sup>  
 Mika MATSUI, RMS<sup>\*2</sup>  
 Kazuya FUJIOKA, RMS<sup>\*2</sup>  
 Mitsuru NAKAO, RMS<sup>\*2</sup>  
 Yasuhiko TAKEMOTO, MD<sup>\*1</sup>  
 Hiroyuki WATANABE, MD, FJCC<sup>\*1</sup>  
 Takashi MURO, MD, FJCC<sup>\*1</sup>  
 Kazuhide TAKEUCHI, MD, FJCC  
 Junichi YOSHIKAWA, MD, FJCC<sup>\*</sup>

**Abstract**

**Background.** Two-dimensional (2D) echocardiography is routinely used in evaluating patients with mitral valve prolapse but requires a systematic examination for accurate assessment of the involved lesion of mitral valve prolapse, because the sonographer is required to mentally reconstruct two-dimensional images into three dimensions. Recently, freehand three-dimensional (3D) echocardiography has been introduced in the clinical setting for three-dimensional visualization of the mitral valve apparatus.

**Objectives.** To evaluate the accuracy of the freehand 3D echocardiography system in assessing the involved lesion in patients with mitral valve prolapse.

**Methods.** This study consisted of 25 consecutive patients (15 men, 10 women, mean age 55 ± 17 years) with mitral valve prolapse who were scheduled for 3D echocardiography. Mitral valve was reconstructed in the view from the left atrium (surgeon's view) by 3D echocardiography. The location of the involved lesion in mitral valve was classified as the medial, middle and lateral portions of the anterior leaflet, and the medial, middle and lateral scallops of the posterior leaflet, respectively. The results by 3D echocardiography were compared with those of 2D echocardiography as the clinical standard.

**Results.** An adequate three-dimensional display of the entire mitral valve for analysis of the involved lesion could be reconstructed in all 25 patients (feasibility 100%). The sensitivity of 3D echocardiography for detecting the lesions at the medial, middle and lateral portions of the anterior leaflet was 80%, 100% and 75%, and the medial, middle and lateral scallops of the posterior leaflet was 100%, 100% and 0%, respectively. The specificities were 100% at all locations in the mitral valve.

**Conclusions.** These results indicate that freehand 3D echocardiography is useful for assessment of the involved lesion of the mitral valve in patients with mitral valve prolapse.

J Cardiol 2004 Jan; 43(1): 17-22

大阪市立大学大学院医学研究科 血行動態力学, <sup>\*1</sup>循環器病態内科学: 〒545-8585 大阪市阿倍野区旭町1-4-3; <sup>\*2</sup>大阪市立大学医学部附属病院 中央臨床検査部, 大阪

Departments of Cardiovascular Hemodynamics and <sup>\*1</sup>Internal Medicine and Cardiology, Osaka City University Medical School, Osaka: <sup>\*2</sup>Central Clinical Laboratory, Osaka City University Medical School Hospital, Osaka

**Address for correspondence:** HOZUMI T, MD, FJCC, Department of Internal Medicine and Cardiology, Osaka City University Medical School, Asahi-cho 1-4-3, Abeno-ku, Osaka 545-8585

Manuscript received June 19, 2003; revised September 24, 2003; accepted September 24, 2003

RMS = registered medical sonographer

## Key Words

■Echocardiography, transthoracic (three-dimensional)

■Mitral valve prolapse

### はじめに

僧帽弁逸脱症における術前の心エコー図検査は、手術の手技や至適時期の決定に際してより正確な評価が必要である。さらに僧帽弁の形態、病変、逆流の程度の評価に経胸壁ならびに経食道心エコー図法が不可欠である。しかし、断層心エコー図法により僧帽弁の正確な病変部位を診断するには、検者が二次元画像から三次元像を頭の中で再構築しなければならず、ある程度の熟練を要する。近年、経食道アプローチによる三次元心エコー図法(three-dimensional echocardiography: 3DE)の有用性に関する報告が数多くなされている<sup>1-8)</sup>。経食道アプローチによる3DEでは僧帽弁全体を左房上方から僧帽弁を観察した画像(surgeon's view)を表示することが可能であり、逸脱部位診断に有用であることが報告されている<sup>2,6)</sup>。しかし、経食道アプローチでは侵襲性があり、経胸壁3DEによる僧帽弁画像が期待されていた。

以前の経胸壁3DEの報告<sup>9-14)</sup>では、主にローテーション・スキャンにより画像収集が行われていた。しかし、同方法では1)探触子回転中に体表との接触が安定しない場合がある、2)探触子が重くなるため操作性が悪くなる場合がある、3)使用できる探触子が限られる、などの問題点があった。一方、心拍・呼吸同期下にて位置センサーを装着した探触子を任意に動かすことにより画像を得る方法(フリーハンド・スキャン)では、このような問題が克服され、僧帽弁のsurgeon's viewを構築するうえで有利であると期待される。本研究の目的は、経胸壁フリーハンド・スキャンによる3DEにより僧帽弁の立体画像構築を試み、僧帽弁逸脱部位診断における本法の有用性を検討することである。

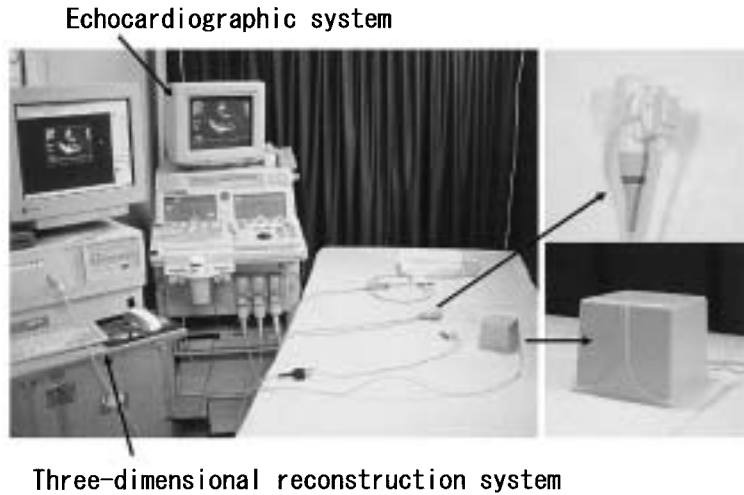
### 対象と方法

対象は、経胸壁二次元心エコー図法(two-dimensional echocardiography: 2DE)により僧帽弁逸脱症と診断された連続25例である(男性15例、女性10例、平均年齢 $55 \pm 17$ 歳)。

使用した超音波装置はPhilips製SONOS-5500、探触子はS4探触子(2-4MHz)を用いた。三次元画像構築システムはTomTec製EchoScanを用いた。2DEでの多断面断層図およびカラードプラー法により僧帽弁逸脱部位を診断し、インフォームドコンセントを得て、引き続き三次元画像の構築を行った。なお、2DEの診断は熟練者により行われた。

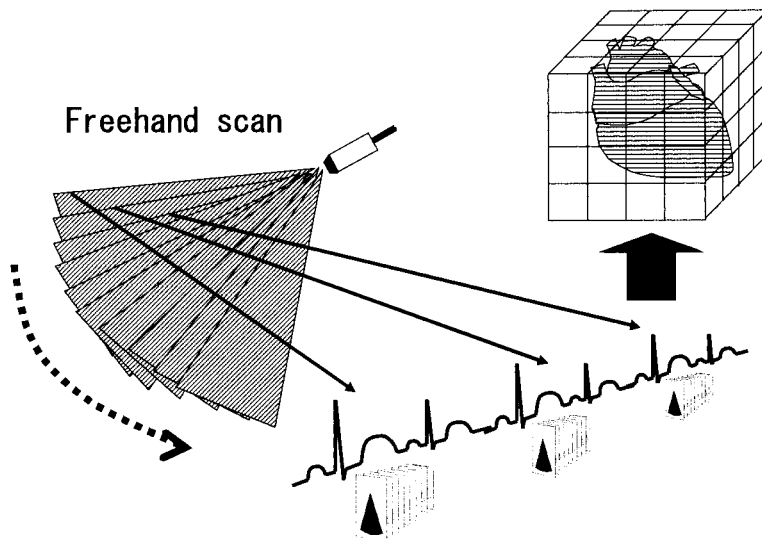
三次元画像構築における実際の画像収集は、つぎのように行った。まず、超音波装置のビデオ出力端子に三次元画像構築システムを接続し、位置センサーを装着した探触子から50cm以内にトランスミッターを設置し、心電図・呼吸トリガー用電極を被検者に装着した(Fig. 1)。僧帽弁が鮮明に描出される断面を選択後、心拍(R-R間隔)と呼吸が同期した時点で発生する信号を合図に、探触子を2-3°ずつ動かして60-100断面になるように、かつ僧帽弁全体をカバーするように扇状走査した(Fig. 2)。扇状走査中、アーチファクトなどにより不鮮明な画質になってしまう部位においては、僧帽弁構造を逃さないようにしながら探触子の位置を若干移動し、ビーム方向を変更してアーチファクトなどを避けるようにして走査を行った。このようにして収集された60-100断面の二次元断層像をハードディスクに保存し、左房上方から僧帽弁を観察した画像(surgeon's view)構築を行った。

僧帽弁前尖をmedial portion, middle portion, lateral portionの3分画に、後尖をmedial scallop, middle scallop, lateral scallopの3分画に区分して(Fig. 3)、逸脱部位評価を行った。逸脱部位の判定は、2DEの結果を知らされていない2名の検者により、収縮期に左房側へ突出する限局性隆起の同定にて行われた。2DEにより診断された逸脱部位をゴールドスタンダードとし部位診断の感度、特異度を求めた。また、2DEにより疑われた腱索断裂像を3DEにより検出しうるかどうかの検討も同時に行った。なお、3DEでの腱索断裂の定義は、僧帽弁弁尖、逸脱部位に付着する可動性を有する小索状構造物とした。



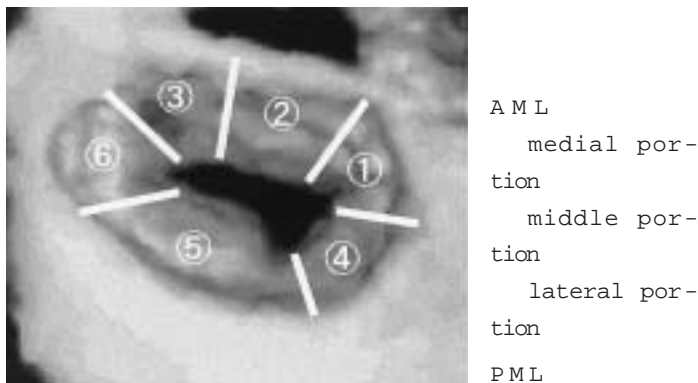
**Fig. 1 Transthoracic freehand three-dimensional echocardiographic system**

A freehand three-dimensional reconstruction system is linked to a conventional two-dimensional echocardiographic machine (left). The ultrasound transducer attached to a sensor registers the spatial coordinates inside the magnetic field (right upper). The transmitter that detects the spatial coordinates in the magnetic fields generated by the sensor attached to the ultrasound transducer (right lower).



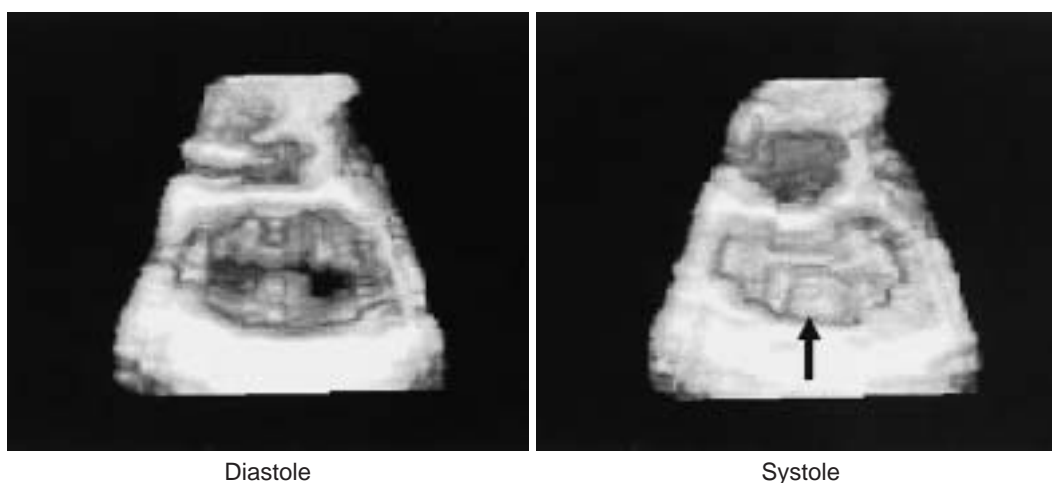
**Fig. 2 Diagram demonstrating the acquisition and analysis in transthoracic freehand three-dimensional echocardiography**

The ultrasound transducer was moved freely and two-dimensional images were stored in the personal computer for three-dimensional reconstruction.



**Fig. 3 Three-dimensional reconstruction of the mitral valve seen from the left atrium at diastole**

The six individual components of the mitral valve were classified as in the figure. AML = anterior mitral leaflet; PML = posterior mitral leaflet.



**Fig. 4 Three-dimensional reconstruction of the mitral valve seen from the left atrium in a patient with mitral valve prolapse**

Three-dimensional reconstruction in diastole (left) and in systole (right). In systole, prolapse of the middle scallop of posterior mitral leaflet (arrow) can be seen.

## 結 果

全例で三次元画像構築が可能であった。Fig. 4に後尖の逸脱像を示す。無作為に選ばれた9例についての検査時間は、画像収集に2分39 ± 13秒、再構築に4分7 ± 48秒、画像表示に1分22 ± 22秒であり、合計10分以内で3D画像を得ることができた。逸脱部位に対する3DE診断の感度は、前尖ではmedial portionで80%(4/5例)、middle portionで100%(10/10例)、lateral portionで75%(3/4例)、後尖ではmedial scallop, middle scallopで100%(7/7例)、lateral scallopで0%(0/1例)であった。特異度は前尖3分画、後尖3分画ともに100%であった( Table 1)。全体では、25例34病変中31病変で3DEにより逸脱部位と判定が可能であった(感度91%)。なお、25例中9例は重複逸脱例であった。また、2DEにより逸脱を認めなかった全116分画では、3DEにより逸脱なしと診断しえた(特異度100%)。

また、25例中6例が2DEにより腱索断裂と診断され、この6例は3DEにおいても同様の所見が得られた。なお、6例すべてにおいて、経食道心エコー図法により断裂した腱索が観察され、最終的には腱索断裂による僧帽弁逸脱症と診断された。

## 考 察

本研究では、僧帽弁逸脱症25例において、フリーハンド・スキャンによる経胸壁3DEの有用性を検討

**Table 1 Sensitivity and specificity of detecting the involved lesions of mitral valve prolapse by three-dimensional echocardiography based on two-dimensional echocardiography as the gold standard**

Site of prolapse	Sensitivity	Specificity
AML		
Medial portion	4/5 ( 80 )	20/20( 100 )
Middle portion	10/10( 100 )	15/15( 100 )
Lateral portion	3/4 ( 75 )	21/21( 100 )
PML		
Medial scallop	7/7 ( 100 )	18/18( 100 )
Middle scallop	7/7 ( 100 )	18/18( 100 )
Lateral scallop	0/1 ( 0 )	24/24( 100 )

( ) %.

Abbreviations as in Fig. 3.

したところ、比較的短時間に surgeon's view により全例、僧帽弁全体をダイナミックに観察することができ、病変部位の91%を3DEにより診断しえた。

僧帽弁逸脱症における逸脱部位診断に経食道アプローチによる3DEが有用であることはいくつか報告がなされている<sup>2,6)</sup>。一方、経胸壁アプローチによる3DEでの僧帽弁逸脱症における検討はまだ十分にはなされていない。今回我々の用いたフリーハンド・スキャンでは、探触子と体表との接触が安定し、扇状走査により僧帽弁全体を十分に走査でき、良好な画像収

集が可能であった。多数の断面を良好、かつ容易に得ることができ、取り込み終了時点が判断しやすいため、本研究では扇状走査を選択した。その結果、surgeon's viewが全例で得られ、逸脱部位評価が可能であった。今回、診断しえなかった3分画の内訳は、medial側1例、lateral側2例であり、いずれも弁の側方にあたる位置であり、同部位における2DEの画質が他部位に比べて良好でないことが一因と考えられた。2DEの画質を良好に得るため、探触子を走査するときアーチファクトをできるだけ避けるような断面を選択しながら画像を取り込むという工夫が必要であると考えられる。また、他のアプローチを用いることにより感度の向上につながる可能性があると考えられる。

僧帽弁形成術を施行するに際しては2DEが不可欠であり、逸脱部位、範囲の術前評価が重要である。しかし、2DEでは僧帽弁を三次元的に頭の中で再構築しなければならず、三次元的な解剖の理解にはある程度の熟練を要する。これに対し、3DEでは僧帽弁全体をダイナミックに一目で観察することができ、術前の評価には有用と考えられる。また、2DEにより腱索断裂と診断された症例については、3DEにおいても腱索断裂像を確認することができた。2DEでは一断面ずつ注

意深く観察していないと、小さな腱索断裂像を見逃す可能性がある。一方、3DEでは多断面を再構築したものが同時に観察できるため、2DEにより疑われた腱索断裂を確認できる利点があると考えられる。

本法の問題点として以下の2点が挙げられる。

1) 3D画像は2D画像に依存している<sup>5)</sup>ため、良好な2D画像が得られない症例については良好な3D画像が得られない可能性がある。2) フリーハンド・スキャンでは、位置センサーに磁界を利用しているため、電動ベッドなど磁界に影響を与える環境では使用不可能である。またペースメーカー患者には禁忌である、など使用上の制限が一部に存在する。

最後に、今回の検討では、逸脱部位診断のゴールドスタンダードを2DEとしたが、術中所見との対比はなされていないため、今後、手術例における検討が必要と思われる。

## 結 論

経胸壁フリーハンド3DEにより、僧帽弁逸脱症における逸脱部位診断が可能であった。本法は、僧帽弁形成術前の病変部位診断に有用である可能性が示唆された。

## 要 約

背景: 僧帽弁形成術において、僧帽弁逸脱症の逸脱部位を正確に評価することは極めて重要である。しかし、経胸壁断層心エコー図法では、僧帽弁を頭の中で三次元的に再構築する必要があった。近年、経胸壁フリーハンド三次元心エコー図法(3DE)により心臓の立体画像構築が可能となり、僧帽弁逸脱症においても逸脱部位の三次元画像表示が可能となった。

目的: 研究目的は、僧帽弁逸脱症の逸脱部位診断における3DEの有用性を検討すること。

方法: 経胸壁二次元心エコー図法(2DE)により診断された僧帽弁逸脱症例25例(男性15例、女性10例、平均年齢55 ± 17歳)に対し、3DEを施行した。3DEにより僧帽弁を左房側から観察した像(surgeon's view)を構築し、僧帽弁前尖・後尖をおのおの3分画(medial・middle・lateral)に分け、各分画において逸脱部位を同定し、2DEによる逸脱部位と比較した。

結果: 3DEにより全例で僧帽弁の立体画像構築が可能であった。逸脱部位に対する3DE診断の感度は、前尖ではmedial portionで80%、middle portionで100%、lateral portionで75%、後尖ではmedial scallopで100%、middle scallopで100%、lateral scallopで0%であった。特異度は、前尖・後尖ともに100%であった。

結論: 3DEは僧帽弁逸脱症における逸脱部位診断に有用である。

J Cardiol 2004 Jan; 43(1): 17-22

## 文 献

- 1) Salustri A, Becker A, van Herwerden L, Vletter WB, Ten Cate FJ, Roelandt JR: Three-dimensional echocardiography of normal and pathologic mitral valve: A comparison with two-dimensional transesophageal echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1996; **27**: 1502 - 1510
- 2) Hozumi T, Yoshikawa J, Yoshida K, Takashi A, Takagi T, Yamamuro A: Assessment of flail mitral leaflets by dynamic three dimensional echocardiographic imaging. *Am J Cardiol* 1996; **79**: 223 - 225
- 3) Mikami T, Teranishi J, Saito N, Takatsuji N, Onozuka H, Yamada S, Kitabatake A, Sakamoto S, Yamamoto T: Evaluation of valvular lesion by three-dimensional echocardiography. *J Cardiol* 1996; **27**( Suppl ): 39 - 43 (in Jpn with Eng abstr)
- 4) Breburda CS, Griffin BP, Pu M, Rodriguez L, Cosgrove DM, Thomas JD: Three-dimensional echocardiographic planimetry of maximal regurgitant orifice area in myxomatous mitral regurgitation: Intraoperative comparison with proximal flow convergence. *J Am Coll Cardiol* 1998; **32**: 432 - 437
- 5) Sutaria N, Northridge, Masani N, Pandian N: Three dimensional echocardiography for the assessment of mitral valve disease. *Heart* 2000; **84**( Suppl ): -7 - -10
- 6) Chauvel C, Bogino E, Clerc P, Fernandez G, Vernhet JC, Becat A, Dehant P: Usefulness of three-dimensional echocardiography for the evaluation of mitral valve prolapse: An intraoperative study. *J Heart Valve Dis* 2000; **9**: 341 - 349
- 7) Schwartz SL, Cao QL, Azevedo J, Pandian NG: Simulation of intraoperative visualization of cardiac structures and study of dynamic surgical anatomy with real-time three-dimensional echocardiology. *Am J Cardiol* 1994; **73**: 501 - 507
- 8) Menzel T, Mohr-Kahaly S, Kolsch B, Kupferwasser I, Kopp H, Spiecker M, Wagner S, Meinert R, Pagnia F, Meyer J: Quantitative assessment of aortic stenosis by three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1997; **10**: 215 - 223
- 9) Salustri A, Spitaes S, McGhie J, Vletter W, Roelandt JR: Transthoracic three-dimensional echocardiography in adult patients with congenital heart disease. *J Am Coll Cardiol* 1995; **26**: 759 - 767
- 10) Yao J, Masani ND, Cao QL, Nikuta P, Pandian NG: Clinical application of transthoracic volume-rendered three-dimensional echocardiography in the assessment of mitral regurgitation. *Am J Cardiol* 1998; **82**: 189 - 196
- 11) Lange A, Mankad P, Walayat M, Palka P, Burns JE, Godman MJ: Transthoracic three-dimensional echocardiography in the preoperative assessment of atrioventricular septal defect morphology. *Am J Cardiol* 2000; **85**: 630 - 635
- 12) Chen Q, Nosir YF, Vletter WB, Kint PP, Salustri A, Roelandt JR: Accurate assessment of mitral valve area in patients with mitral stenosis by three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1997; **10**: 133 - 140
- 13) Cheng TO, Xie MX, Wang XF, Li ZA, Hu G: Evaluation of mitral valve prolapse by four-dimensional echocardiography. *Am Heart J* 1997; **133**: 120 - 129
- 14) Godoy IE, Bednarz J, Sugeng L, Mor-Avi V, Spencer KT, Lang RM: Three-dimensional echocardiography in adult patients: Comparison between transthoracic and transesophageal reconstructions. *J Am Soc Echocardiogr* 1999; **12**: 1045 - 1052