

周術期におけるリアルタイム 3DTEE の有用性

平崎 裕二*, 末松 義弘**

はじめに

経食道心エコー(TEE)は周術期における血行動態のモニターとして、また心臓の病理を診断する装置として急速に浸透した。近年リアルタイムで心臓の三次元(3D)構造を表現できる TEE(RT3DTEE, iE33, フィリップス, 米国)が本邦に導入され、手術室において使用されるようになりつつある。

当院では 2008 年 1 月より心臓血管外科手術の周術期管理にこの RT3DTEE を用いてきた。

本稿では RT3DTEE の周術期における有用性について、当院における経験を基に検討する。

RT3DTEE の概要

従来の 2DTEE は一列に配置された超音波素子より発せられた超音波ビームの反響信号を解析して心臓の断面を表示しているのに対し、RT3DTEE は大量の超音波素子を平面上に配置したマトリックスアレイトランスデューサーより送られた超音波ビームのエコー情報を一度に取得し、立体画像として表示することができる¹⁾。現行の RT3DTEE には大別してライブ 3D(L3D)モードと、フルボリューム(FV)モードがある。L3D は実際に拍動している心臓の立体構造を正にリアルタイムに表示するモードで、水平方向約 60°、奥行き方向に約 30°のピラミッド型をしたボリューム内の構造物を描出できる²⁾。2DTEE と同様、心臓に何らかの操作が加われば、それを目の当たりにすることもできる。L3D モードには特定の領域を拡大表示できるズームモードも備わっており、最大 90°×90°のボリュームスキャンが行える^{1,2)}。FV モードは心電図同期

により一心拍毎に取得した 4~7 個のボリュームデータ(サブボリューム)を連結し、三次元画像を再構築するものである。最大で 101°×104°のボリュームデータを取得できるため、左心室など大きな構造物の評価に有用である。

周術期における RT3DTEE の利点

当院で経験した心臓外科手術症例の RT3DTEE 画像を示し(図 1~6)³⁾、RT3DTEE の利点について検討する。

A. 三次元画像を用いた評価

RT3DTEE は従来のエコー走査に加え、二次元断面の直行方向に存在する構造物の情報が表示される。このため、構造物の「断面」だけでなく「表面」を描出できる。この特徴は、特に僧帽弁の評価に大きく貢献している。マトリックスアレイトランスデューサーを用いる RT3DTEE は空間分解能も高くデータ取得から三次元画像表示までの時間差も殆どない点で、従来の Off-line で再構築を行う方式の 3DTEE と比べ格段に進歩している。このため、手術室において全身麻酔導入後に 3DTEE を行い、僧帽弁の立体構造を術者が見て術式決定に役立てる、といったことも十分に可能である。Manda らは腱索断裂を伴う僧帽弁逸脱症の診断の正確性について RT3DTEE と 2DTEE を比較し、2DTEE での診断所見が手術所見と一致したのは 18 例中 9 例であったのに対し、RT3DTEE の所見は 18 例中 16 例で手術所見と一致したと報告している⁴⁾。これは RT3DTEE による病変部位診断が、2DTEE に比べより正確であることを示している。また、僧帽弁の専用の解析ソフトウェアを用いて僧帽弁尖の等高図を作成し、各セグメントの逸脱の程度を半定量することもできる(図 1-a,b)。僧帽弁形成術の他にも僧帽弁置換術後の評価に RT3DTEE

*筑波記念病院麻酔科

**同 心臓血管外科



脚注 AL : 僧帽弁前尖, PL : 僧帽弁後尖

図1

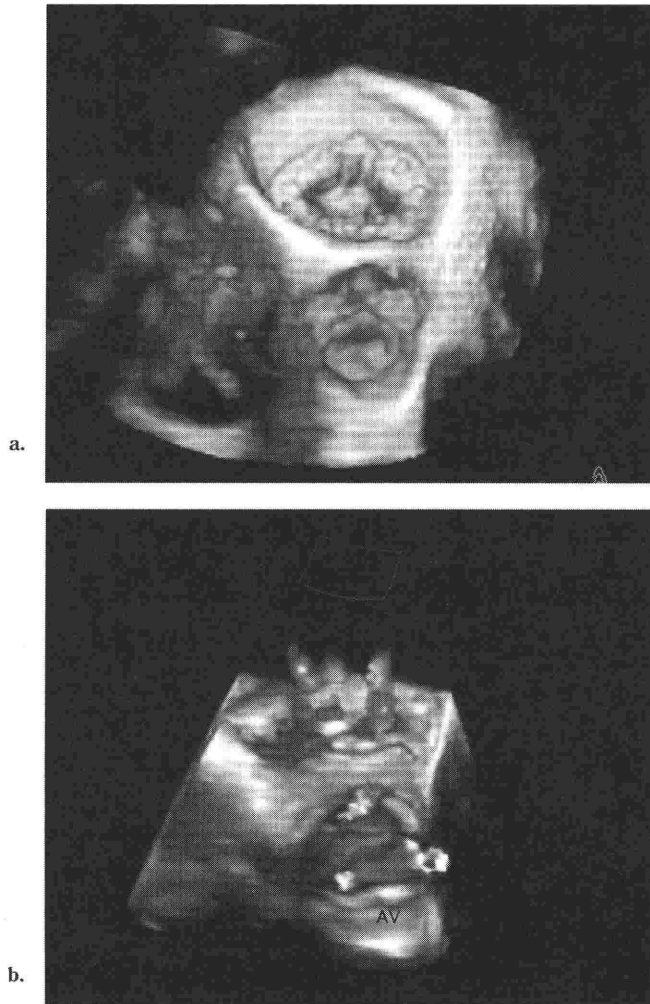
- a. 僧帽弁後尖逸脱症例のフルボリューム三次元経食道心エコー画像 P2 セグメントの逸脱と断裂した検索(矢印)が描出されている。
- b. 同一症例の僧帽弁モデル：逸脱部が赤く示されている。

を用いることで、移植後の各弁尖の機能の評価をより行いやすくなった(図2-a,b)。生体弁であればステントポストの左室流出路への張り出し具合など、構造物同士の位置関係も評価することができた(図3)。

臨床問題となることの少ないユースタキ弁なども、2DTEEでは線状のエコー信号としか描出されないが、RT3DTEEでは本来の姿を見ることができる(図4)。

心房中隔欠損症や心室中隔欠損症などの先天性心疾患、また心臓腫瘍などの疾患についても、

RT3DTEEは実際の手術所見に一致した精密な画像を描出できた。我々が経験した二次口欠損型心房中隔欠損症例では、術前のRT3DTEE検査で欠損孔の位置、大きさ、辺縁組織の性状など、詳細な病変の情報を得ることができた(図5)。これらの情報は実際の手術の際に病変へのアプローチなど、術式を決定する上で非常に有用であった。左心房粘液腫症例においては、腫瘍の付着位置をライブ3Dモードで同定し、右心房からアプローチした際に心房中隔に加えるべき切開の位置を決定した(図6)。3DTEEは心臓病理の所在を正確に評価する上



脚注 AV : 大動脈弁

図2

- a. 僧帽弁位に移植された St. Jude Medical 機械弁
- b. フルボリュームカラーモードによる St. Jude Medical 機械弁の生理的逆流 : 6条の生理的逆流ジェットが認められる。

で極めて有用であると考えられた。

B. 二次元 TEE の操作性の向上

マトリックスアレイトランスデューサーを用いた RT3DTEE システムには、2つの 2D エコー図を同時に表示するモード (Xplane) がある。通常は互いに直行する 2 断面がディスプレイ左右に表示されるが、この角度は任意に調節することができ、表示画角は通常の 2D エコー図と同じである。またビームを上下、または左右方向に平行移動させることもできるため、プローブの位置を動かすことなく上下、左右方向に振った断面が得られる。

この機能は僧帽弁前尖、後尖の各セグメント同士の心臓収縮期における接合の様子を評価するのに有用である⁵⁾。Xplane モードは、フレームレートは低くなるもののカラードップラーモードにも対応しており、僧帽弁逆流血流を二方向から評価できる。これは僧帽弁逆流ジェットの位置を正確に同定するのに有用である。

RT3DTEE の課題

前述のように RT3DTEE は周術期における心臓の形態の評価を行うために非常に有用である一方、

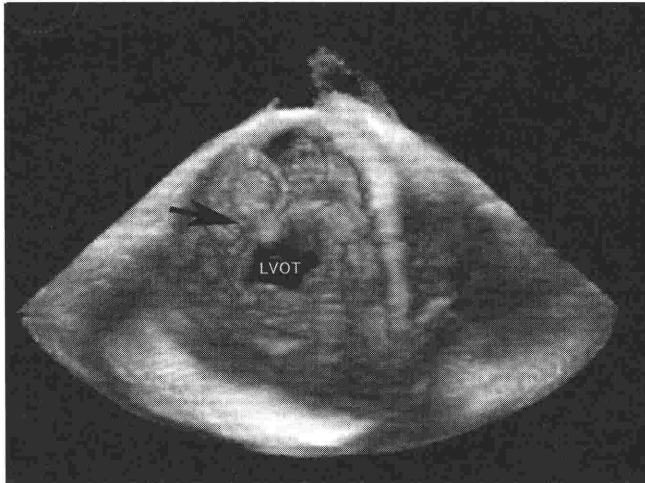
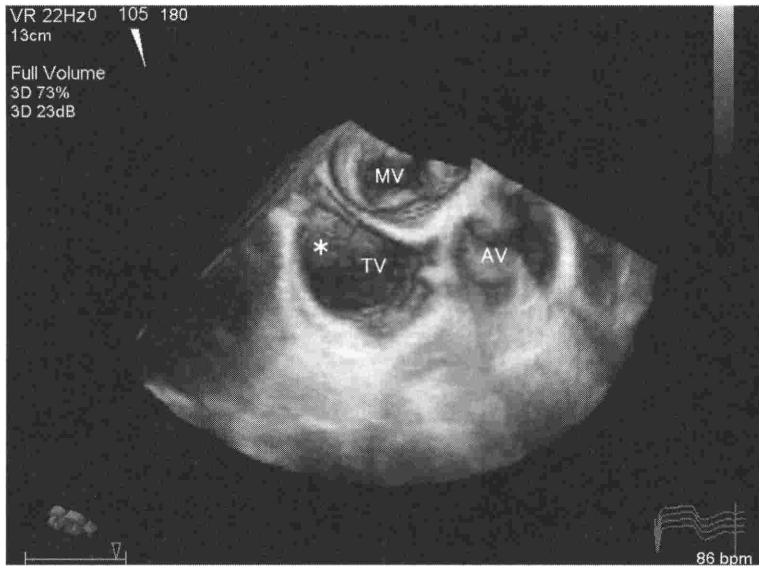


図3 僧帽弁位生体弁ステントポスト(矢印)の左室流出路(LVOT)への張り出し



脚注 AV : 大動脈弁, MV : 僧帽弁, TV : 三尖弁

図4 ユースタキ弁(*)

若干の課題も見受けられる。

A. 表示画角

前述の如く、L3DモードはFVモードに必要な心電図同期も必要なく、時間差なしに三次元画像を表示できる利点がある。しかしながら、表示画角が $60^{\circ} \times 30^{\circ}$ とやや狭く、弁輪を含めた僧帽弁装置全体を画角内に収めることが困難である。図7にL3Dの表示画角の模式図を示す。僧帽弁がプローブよりDcm離れた位置にある平面内にあると仮定すると、L3Dの画角内に僧帽弁輪が収まるため

には、

$$\text{横径 } W_1 \leq 2 \times D \times \tan 30^{\circ} (\approx 1.2D)$$

$$\text{前後径 } W_2 \leq 2 \times D \times \tan 15^{\circ} (\approx 0.53D)$$

を満たす必要がある。仮に僧帽弁輪がプローブより4cmの深さに位置したとすると、特に僧帽弁の前後径は26mm以内でないとL3Dモードではその全貌を表示することができない。プローブが僧帽弁に近いが故の問題である。L3Dズームモードでは $90^{\circ} \times 90^{\circ}$ まで画角を広げることができるが、時間分解能が大幅に減少する⁶⁾。



図5 右心房側から見た二次口欠損型心房中隔欠損(矢印)



脚注 AV：大動脈弁，MV：僧帽弁，RA：右心房

図6 左心房粘液腫

腫瘍の付着部は卵円窩(*)より頭側の心房中隔に付着(矢印)していた。

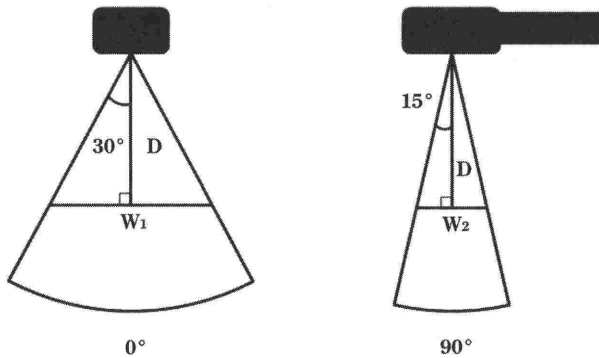


図7 ライブ 3D モードの超音波ビーム模式図

また、血流を三次元画像として表示できる FV カラーモードの画角は約 $30^\circ \times 30^\circ$ と更に狭くなる。データ取得に最低 7 心拍が必要であり、心電図の同期がうまくいかなかった場合、サブボリューム同士の接合部にノイズ(スティッチノイズ)が多数混入し、逆流ジェットの位置や方向を評価する妨げとなる。偏心性僧帽弁逆流ジェットの逆流血液量を定量することや、置換弁周囲組織を全周性に走査・評価することは現在のところ困難である。

B. 操作性

一旦 L3D モードに入ると、通常のマルチプレーン 2DTEE のように表示断面の角度を変更することができない。例えば僧帽弁交連断面を L3D で評価した後に左室長軸断面を L3D で評価しようとするれば、一旦 2D モードに戻り、プレーンの角度を変更して左室長軸断面を出したうえで L3D モードにする、といった手間が必要である。さらに、RT3DTEE を用いたスキャンの方法、評価項目などが確立されていないため、第三者にとっては画像オリエンテーションをつけにくい可能性もある。手術室で行う TEE は殆どの場合全身麻酔下に行われるため、患者に与える苦痛が少ないという点では外来検査に比べ施行しやすいが、手術の進行に応じ刻一刻と変化する心臓の評価を手早く行うためには効率が要求される。RT3DTEE は作業効率という点で 2DTEE 検査に置き換わるものではなく、従来の 2DTEE 検査に上積みされるものと捉えるべきである。

RT3DTEE に望むこと

以上の観点から、RT3DTEE は心臓の形態を直感的に理解するのに有用で、2DTEE を補完する有益な情報を提供できる反面、病変の重症度評価や検査効率などの点では発展途上であると言える。さらに画角の設定や操作性については経胸壁 3D エコーの設定がそのまま TEE に流用されている感があり、TEE の特性が十分反映されていないと思われる。今後これらの点が改善され、より臨床上使用しやすい RT3DTEE システムが構築されることを望む次第である。現時点における周術期の TEE 検査にあたっては、病変の全体像をとらえるために 3DTEE を用い、詳細な評価は 2DTEE で行うのが妥当であると考え。L3D と FV カラーモ

ードについては、奥行き方向についてももう少し広範囲の走査ができるようになれば、プローブの近接性を生かした臨床上有用な画像が得られると期待される。具体的には、僧帽弁の長径：短径比が 4:3 とされていることより⁷⁾、 $60^\circ \times 45^\circ$ の画角表示が L3D で実現できれば RT3DTEE による僧帽弁の評価がより行いやすくなるを考える。

結 語

RT3DTEE を用いた心臓周術期の経食道心エコー検査の有用性について当院の経験をもとに考察した。マトリックスアレイトランスデューサーを用いることで、三次元画像の表示のみならず 2DTEE 検査の操作性が向上し、術中における心臓の解剖学的評価に有用な情報が得られるようになった。今後、3DTEE を行う上で特有の課題が解消され、効率のよい検査が行えるような一層の技術革新が期待される。

文 献

- 1) Fischer GW, Salgo IS, Adams DH: Real-time three dimensional transesophageal echocardiography: the matrix revolution. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2008; 22: 904-12.
- 2) Yang HS, Bansal RC, Mookadam F, et al: Practical guide for three-dimensional transthoracic echocardiography using a fully sampled matrix array transducer. *J Am Soc Echocardiogr* 2008; 21: 979-89.
- 3) 平崎裕之: TEE アプローチ. 監修 岩崎 寛, 野村 実, 編集 国沢卓之, 東京: 真興交易(株)医書出版部; 2010. (in press)
- 4) Manda J, Kesanolla SK, Hsuing MC, et al: Comparison of real time two-dimensional with live/real time three-dimensional transesophageal echocardiography in the evaluation of mitral valve prolapse and chordate rupture. *Echocardiography* 2008; 25: 1131-7.
- 5) 茨木一之: 3次元経食道心エコー法とは. *心エコー* 2009; 10: 164-72.
- 6) Salcedo EE, Quaife RA, Seres T, et al: A framework for systematic Characterization of the mitral valve by real-time three-dimensional transesophageal echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2009; 22: 1087-99.
- 7) Fan IJ, Ingels NB, Miller DC: Pathophysiology of Mitral Valve Disease. In: Cohn LH, editotr. *Cardiac Surgery in the Adult*. 3rd ed. New York: The McGraw-Hill; 2008. p.973-1012.