

リアルタイム3次元心エコー法による 左室局所壁運動異常の定量評価

Quantitative Assessment of Left Ventricular Regional Wall Motion Abnormality from Real-Time Three-Dimensional Echocardiography

安保 浩二^{1,*} 穂積 健之² 福田 祥大² 麻植 浩樹² 石橋 千佳¹ 木村 信勲¹ 松井 深香¹ 藤岡 一也¹
中尾 満¹ 小川 景太郎² 大塚 亮² 杉岡 憲一² 竹内 一秀¹ 葭山 稔²

Koji ABO, RMS^{1,*}, Takeshi HOZUMI, MD, FJCC², Shota FUKUDA, MD², Hiroki OE, MD², Chika ISHIBASHI, RMS¹, Nobunori KIMURA, RMS¹, Mika MATSUI, RMS¹, Kazuya FUJIOKA, RMS¹, Mitsuru NAKAO, RMS¹, Keitarou OGAWA, MD², Ryo OTSUKA, MD², Kenichi SUGIOKA, MD², Kazuhide TAKEUCHI, MD, FJCC¹, Minoru YOSHIYAMA, MD, FJCC²

¹ 大阪市立大学医学部付属病院中央臨床検査部, ² 大阪市立大学大学院医学研究科循環器病態内科学

要 約

- 目的** 近年のリアルタイム3次元心エコー法 (RT3DE) では, 左室16分画に対応した時間-容量曲線の作成が可能である。研究の目的は, RT3DEにて評価される左室局所駆出率から, 左室局所壁運動の定量評価が可能か検討することにある。
- 方法** 左室局所壁運動異常を有する虚血性心疾患69例に対し, RT3DEにて左室全体の画像記録を行った (Philips社製, iE33)。記録された3Dデータより, 左室16分画に対応する時間-容量曲線を作成し, 各分画の局所駆出率 (REF) を算出した。断層図からの熟練者による各分画の左室局所壁運動の評価 (正常・低収縮・無収縮) と, RT 3DEによるREFとを比較検討した。
- 結果** 3D画像解析が可能であった52例, 計832分画における左室局所壁運動異常の内訳は, 400分画 (48%) で正常 (N群), 232分画 (28%) で低収縮 (H群), 200分画 (24%) で無収縮 (A群) であった。各群のREF間には有意差が認められた。ROC解析にて, REF 49%により, N群とH群を感度81%・特異度77% で判別可能であった。またREF 31%により, H群とA群を感度78%・特異度79%で判別可能であった。
- 結論** RT3DEから得られた左室16分画に対応する左室局所駆出率から, 左室局所壁運動を定量的に評価できる可能性が示された。

<Keywords> 心エコー法
経胸壁 (三次元心エコー法)
冠動脈疾患

J Cardiol Jpn Ed 2011; 6: 204 – 208

はじめに

虚血性心疾患における左室局所壁運動の評価は, 疾患の重症度および予後を判定するうえで極めて重要である¹⁾。断層心エコー法 (2DE) は, 左室局所壁運動異常の検出に簡便かつ非侵襲的であるため, 日常臨床のなかでは大変有用である。しかし, 2DEにおける左室局所壁運動の評価は, 任意の限られた断面における主観的な定性評価であり, また, その評価にはある程度の熟練を要する。

三次元心エコー図の有用性に関する報告が数多くなされているが, その多くは, 左室容量・収縮能^{2,4)}, 弁膜症評価^{5,6)}に関するものであり, 左室局所壁運動の評価に関する報告は少ない。近年のリアルタイム三次元心エコー図 (RT3DE) では, 左室16分画に対応した時間-容量曲線を作成することが可能である。以前の報告では, 左室16分画に対応した時間-容量曲線を用いて, 心機能の評価⁷⁾やdyssynchronyの評価^{8,9)}が行われている。本研究の目的は, RT3DEにて作成された左室における時間-容量曲線を用いて, 左室16分画の局所駆出率 (Regional ejection fraction; REF) から左室局所壁運動の定量評価が可能か検討することにある。

* 大阪市立大学医学部付属病院中央臨床検査部
545-8586 大阪市阿倍野区旭町 1-5-7
E-mail: kaboreinaren@maia.eonet.ne.jp
2010年9月14日受付, 2010年11月30日改訂, 2010年12月8日受理

方法

1. 対象

左室局所壁運動異常を有する洞調律の虚血性心疾患患者連続69例である(男性56例, 女性13例, 平均年齢 67 ± 10 歳)。なお, 心房細動例, 息止め不能例は除外された。52例における駆出率は $45 \pm 11\%$ であった。

2. 2DE

使用した超音波装置はPhilips社製iE-33, 探触子はS5-1である。左室局所壁運動の評価は, 熟練者により多断面を用いて, 正常(N), 低収縮(H), 無収縮(A)の三段階にて評価された。左室局所壁運動異常の定義は, 収縮期における壁厚増加の低下, 心内腔への内方運動の低下を低収縮とした。また, 収縮期における壁厚増加および心内腔への内方運動の欠如をもって無収縮とした。

3. RT3DE

2DEに引き続き, 被検者にインフォームドコンセントを得てRT3DEの画像収集を行なった。使用した超音波装置はPhilips社製iE-33, 探触子はX3-1 xMATRIX フェーズド・アレイトランスデューサーである。三次元画像解析ソフトには, Philips社製QLABを用いた。

三次元画像収集は, フルボリュームモードにて, 心尖部からアプローチし, 画面上に同時に描出された四腔, 二腔像の画質調整を行い, 4ないし5心拍分を収集した。このようにして収集された左室全体の三次元画像を用いて, 拡張末期・収縮末期の2フレームにおいて心内膜のトレースを行なった。心内膜のトレースは, 最初に拡張末期のフレームにおいて, 適切な左室の中心軸を設定後, 各分画の決定のため基準となる前壁中隔と下部中隔の境界を決定し, 4点の弁輪部(中隔, 側壁, 前壁, 下壁)と1点の心尖部を設定すると自動トレースが行われた。引き続き, 収縮末期のフレームにおいて, 同様に, 4点の弁輪部と1点の心尖部を設定し, 自動トレースが行われた。すなわち, 拡張末期および収縮末期各々の時相で中心軸線が決定された。さらに, トレースミスをしている部分の補正をマニュアルトレースにて行った。拡張末期・収縮末期における心内膜のトレース後, 解析させると全フレームの解析が自動的に行われ, 左室16分画に対応した時間・容量曲線が描かれた(図1)。なお本法は, 中心軸線が拡張末期および収縮末期で移動する centerline floating

法を採用している。

保存された時間・容量曲線の数値データから, 各16分画にてREFを求めた。REFは, 局所拡張末期容積(REDV)・局所収縮末期容積(RESV) / 局所拡張末期容積(REDV) $\times 100$ (%)として計算した。

4. 2DEとRT3DEにおける左室局所壁運動の比較

2DEにおいて熟練者により評価された左室局所壁運動(N, H, A)と, RT3DEにて算出されたREFを比較した。また, 2DEにて評価された左室局所壁運動をgold standardとし, ROC解析にてREFのcut off値を求め, そのcut off値でN群, H群, A群を分類し, 2DEでの壁運動評価と対比した。

結果

69例中52例(832分画)において三次元画像構築および解析が可能であった(feasibility 75%)。2DEにおける左室局所壁運動については, 832分画中, 400分画(48%)がN(N群), 232分画(28%)がH(H群), 200分画(24%)がA(A群)と評価された。

RT3DEにて算出されたREFにおいて, N・H・A各群に有意差が認められた(N群 $57 \pm 11\%$, H群 $40 \pm 12\%$, A群 $20 \pm 17\%$)(図2)。ROC解析にて, REF 49%により, N群とH群を感度81%・特異度77%で判別可能であった。またREF 31%により, H群とA群を感度78%・特異度79%で判別可能であった。さらに, REF 48%により, N群と左室局所壁運動異常群(H+A群)を感度82%・特異度85%で判別可能であった(表1)。

REF $> 49\%$ を正常, 31% $<$ REF $< 49\%$ を低収縮, REF $< 31\%$ を無収縮と定義して, 2DEにおける左室局所壁運動の評価(N, H, A)と対比した各分画の一致率は, $73 \pm 6\%$ であった(図3)。

考察

本研究では, 左室局所壁運動異常を有する虚血性心疾患69例において, RT3DEによる左室局所壁運動の定量評価を検討した。69例中52例において解析可能であり, 残りの17例では, 画質不良のため解析不能であった。その多くは, 心内膜が描出されておらず, トレースミスをしてしまうものであった。中には, 心尖部瘤の症例が含まれており, 左室全

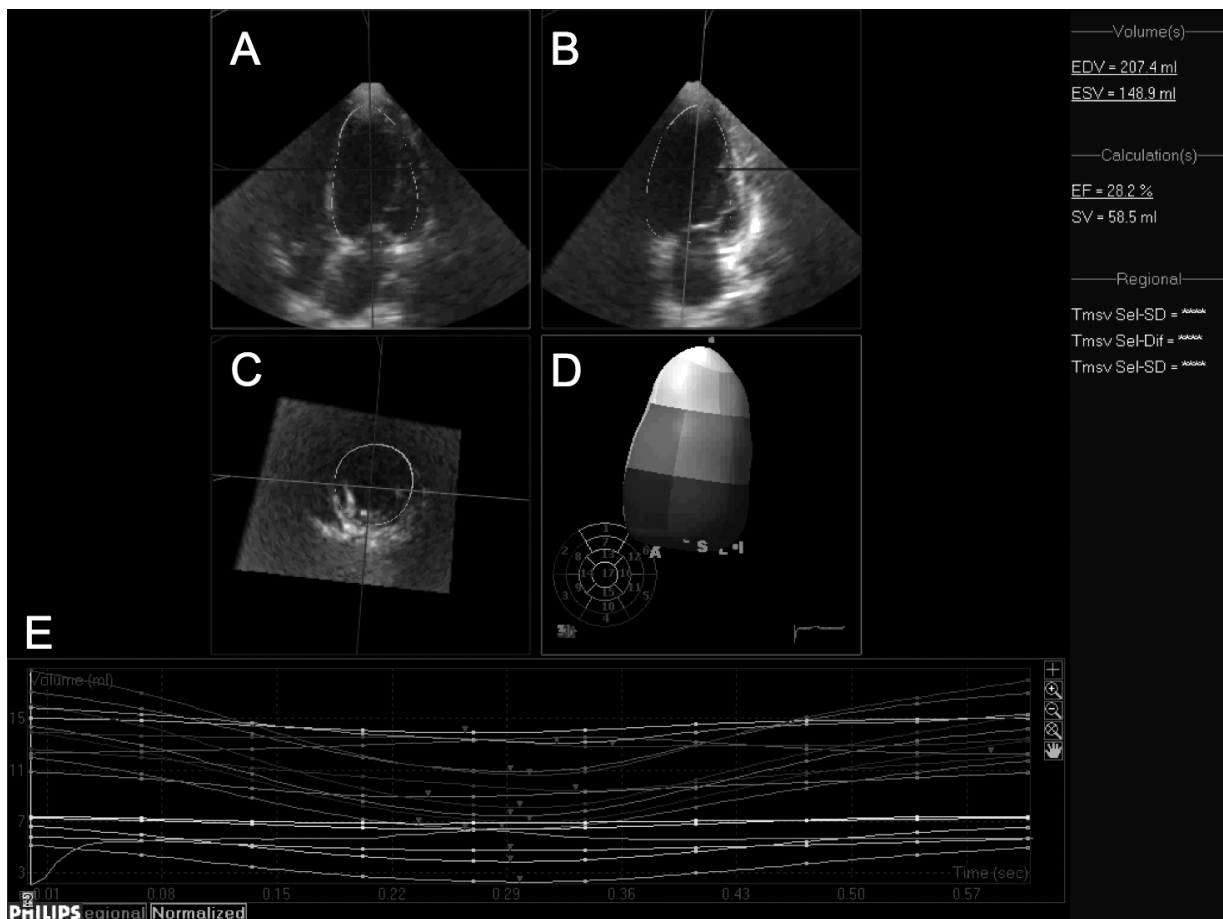


図1 三次元心エコー図による左室16分画に対応した時間-容量曲線。

三次元画像データより再構築された左室四腔, 二腔, 短軸像において心内膜がトレースされている (A, B, C)。左室の16分画が色分けされた左室全体の立体動画画像も同時に構築され (D), 時間-容量曲線 (E) の各曲線の色と対応している。

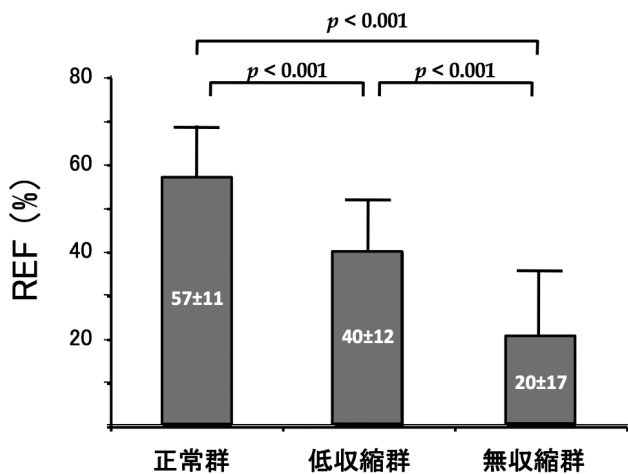


図2 2DEでの左室局所壁運動異常(正常, 低収縮, 無収縮)とRT-3DEでの局所駆出率(REF)との比較。

表1 左室局所壁運動異常群間におけるROC解析。

	正常群 VS 壁運動異常群	正常群 VS 低収縮群	低収縮群 VS 無収縮群
Cut off 値 (%)	48	49	31
感度 (%)	82	81	78
特異度 (%)	85	77	79
ROC area (%)	0.90	0.85	0.85

ROC: receiver-operating characteristic.

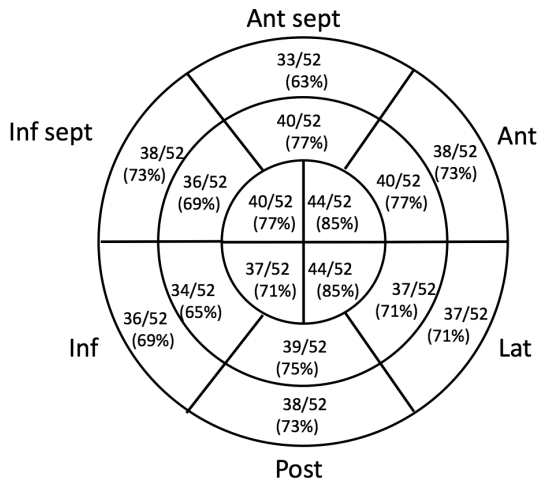


図3 左室16分画におけるRT3DEにて求めたREFのカットオフ値と2DEにおける左室局所壁運動評価の一致率。

RT3DEにおけるカットオフ値は、REF > 49% を正常、31% < REF < 49% を低収縮、REF < 31% を無収縮と定義し、2DEにおける左室局所壁運動評価と比較し、壁運動評価が一致した割合を各分画で評価した。

体が入りきらないものもあった。これらのことは、RT3DEの画像収集時における問題であり、RT3DEが2DEの画質に依存していることによる。今回の検討では、心尖部アプローチを採用したが他のアプローチ等により画質の向上につながる可能性がある。また、心尖部瘤のような左室全体が画角に入りきらないものに関しては、より広画角による画像収集が必要となる。

Nesserらは、壁運動正常の15例と壁運動異常を有する16例において、RT3DEとMRIにて得られたREFと、MRIにて熟練者に評価された左室局所壁運動を比較し、正常と異常のcut off を各々55% (感度84%, 特異度78%)、56% (感度85%, 特異度81%) とした¹⁰⁾。Wangらは、フリーハンドスキャンによる3DEにて、左室局所壁運動異常の存在、部位、広がりを検出し得ることを明らかにした¹¹⁾。虚血性心疾患例を対象とした我々の検討では、正常群(N群)と左室局所壁運動異常群(H+A群)とのcut off値は、48% (感度82%, 特異度85%)であった。また、本法では、左室時間-容量曲線と同時に、各分画に対応して色付けされた左室全体の立体動画の観察が可能であり、視覚的にも左室局所壁運動異常の存在、部位、広がりを確認しやすいという副次的な利点もある。

RT3DEによる左室局所壁運動の程度(正常・低収縮・

無収縮)に関する定量評価の検討はまだ十分にはなされていない。従来の2DEにおける左室局所壁運動の評価は、任意の限られた断面における主観的な定性評価であり、検者によって評価の差がでるのは否めない。そのため、左室局所壁運動の客観的な評価が望まれていた。今回、我々の検討では、正常群(N群)と低収縮群(H群)をREF 49% (感度81%・特異度77%)により判別可能であり、またREF 31%により、低収縮群(H群)と無収縮群(A群)を感度78%・特異度79%で判別可能であった。このcut off値を用いると2DEにおける壁運動評価とRT3DEにおけるREFの一致率は73±6%であり、左室局所壁運動の客観的な評価として有用であることが示唆された。しかし、部位別でみると特に前壁中隔基部において一致率が63%と低値を示した。これは、前壁中隔基部の分画に左室流出路が入っていることが一因と考えられた。また、2DEではプローブの位置により心尖部断面が斜め切りとなり、真の心尖部を描出し得ないことが指摘されており、左室容量が過小評価されることがある¹²⁾。RT3DEにおける局所容量・局所容量変化は、左室の立体画像より真の心尖部を描出することが可能であり、2DEにおける左室局所壁運動の評価よりも正確な可能性がある¹¹⁾。

今回の検討では、無収縮の分画においてRT3DEにて20±17%のREFを認めた。その原因として、以下の2点が考えられる。1点は、壁運動評価のゴールドスタンダードが2DEにあることが考えられる。2DEにおける壁運動評価は、限られた一断面での評価であり、分画の全体を見ているわけではない。RT3DEでは、分画全体を含めた上での評価であり、境界領域に関しては壁運動が一分画中で異なっている可能性がある。すなわち、2DEで無収縮と判断された分画において、低収縮と無収縮が混在している可能性が考えられる。もう1点は、今回の方法で用いられたcenterline floating法での限界である。Centerline floating法にて容積重心を求めて左室容積を分割すると、正常収縮もしくは低収縮と、無収縮の分画が存在する場合、収縮末期の容積重心が無収縮分画方向に移動することで、無収縮分画のRESVが過小評価され、その結果REFが高く算出された可能性も考えられる。

本法の問題点として以下の3点があげられる。1) RT3DEは2DEの画質に依存しているため、良好な2D画像が得られない症例については心内膜トレースが困難である。2) 左

室の形態によってはREFを求めることが困難である。例えば、左室リモデリングが著明な例、S字状中隔が著明な例である。これらの例では、左室の中心軸の設定が困難であるため、適正なREFを求めることができない。3) 心房細動例、息止め不能例においては、4～5心拍の再構築法を用いた本法では画像にズレが生じ、解析不能である。この点については、最近の1心拍で左室全体の画像記録が可能なRT3DEによって解決されることが期待される。

結 論

RT3DEから得られた左室16分画に対応するREFから、左室局所壁運動を定量的に評価できる可能性が示された。今後、RT3DEは左室局所壁運動の客観的な評価法として期待できる。

文 献

- 1) Nishimura RA, Reeder GS, Miller FA, Ilstrup DM, Shub C, Seward JB, Tajik AJ. Prognostic value of pre-discharge 2-dimensional echocardiogram after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1984; 53: 429-432.
- 2) Sugeng L, Mor-Avi V, Weinert L, Niel J, Ebner C, Steringer-Mascherbauer R, Schmidt F, Galuschky C, Schummers G, Lang RM, Nesser HJ. Quantitative assessment of left ventricular size and function: Side-by-side comparison of real-time three-dimensional echocardiography and computed tomography with magnetic resonance reference. *Circulation* 2006; 114: 654-661.
- 3) Arai K, Hozumi T, Matsumura Y, Sugioka K, Takemoto Y, Yamagishi H, Yoshiyama M, Kasanuki H, Yoshikawa J. Accuracy of measurement of left ventricular volume and ejection fraction by new real-time three-dimensional echocardiography in patients with wall motion abnormalities secondary to myocardial infarction. *Am J Cardiol* 2004; 94: 552-558.
- 4) Jacobs LD, Salgo IS, Goonewardena S, Weinert L, Coon P, Bardo D, Gerard O, Allain P, Zamorano JL, Perez de Isla L, Mor-Avi V, Lang RM. Rapid online quantification of left ventricular volume from real-time three-dimensional echocardiographic data. *Eur Heart J* 2006; 27: 460-468.
- 5) Hozumi T, Yoshikawa J, Yoshida K, Akasaka T, Takagi T, Yamamuro A. Assessment of flail mitral leaflets by dynamic three-dimensional echocardiographic imaging. *Am J Cardiol* 1997; 79: 223-225.
- 6) Otsuji Y, Handschumacher MD, Liel-Cohen N, Tanabe H, Jiang L, Schwammenthal E, Guerrero JL, Nicholls LA, Vlahakes GJ, Levine RA. Mechanism of ischemic mitral regurgitation with segmental left ventricular dysfunction: three-dimensional echocardiographic studies in models of acute and chronic progressive regurgitation. *J Am Coll Cardiol* 2001; 37: 641-648.
- 7) Zeidan Z, Erbel R, Barkhausen J, Hunold P, Bartel T, Buck T. Analysis of global systolic and diastolic left ventricular performance using volume-time curves by real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2003; 16: 29-37.
- 8) Kapetanakis S, Kearney MT, Siba A, Gall N, Cooklin M, Monaghan MJ. Real-time three-dimensional echocardiography. A novel technique to quantify global left ventricular mechanical dyssynchrony. *Circulation* 2005; 112: 992-1000.
- 9) Zhang Q, Yu CM, Fung JW, Zhang Y, Chan YS, Chan HC, Yip GWK, Sanderson JE. Assessment of the effect of cardiac resynchronization therapy on intraventricular mechanical synchronicity by regional volumetric changes. *Am J Cardiol* 2005; 95: 126-129.
- 10) Nesser HJ, Sugeng L, Corsi C, Weinert L, Niel J, Ebner C, Steringer-Mascherbauer R, Schmidt F, Schummers G, Lang RM, Mor-Avi V. Volumetric analysis of regional left ventricular function with real-time three-dimensional echocardiography: validation by magnetic resonance and clinical utility testing. *Heart* 2007; 93: 572-578.
- 11) Wang CL, Tanabe K, Kawai J, Tani T, Kuo CT, Moriooka S. Evaluation of regional left ventricular function by three-dimensional echocardiography. *J Echocardiogr* 2005; 3: 12-20.
- 12) Malm S, Sagberg E, Larsson H, Skjaerpe T. Choosing apical long-axis instead of two-chamber view gives more accurate biplane echocardiographic measurements of left ventricular ejection fraction: A comparison with magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2005; 18: 1044-1050.