

特集

# 未来の循環制御 —モニターとしての3次元心臓モデル—

岡本 浩 嗣\*

### はじめに

未来の術中循環制御を考えるにあたって、①術中循環を規定する要素、②収縮拡張能の指標、③3次元心臓モデル、④各モダリティの比較、⑤未来の術中循環制御に分けて論を進めたい。

### 術中循環を規定する要素

図1は術中循環を決定する要素とそれぞれの相互関係を表わしたものである。中心にある左室と右室は互いに影響を及ぼしながら6つの因子である心拍数、前負荷、後負荷、収縮性、拡張性、神経・液性因子が心機能や循環動態を左右している。術中循環を制御するためには中心にある心臓の機能とその外環状の影響要素をモニターし、かつ合目的に制御することが肝要となる。表1は理想的な術中心機能モニターの条件を挙げたものである。機能変化に敏感でかつ負荷非依存性であるだけでなく簡便でベッドサイドで連続利用可能という条件を完全に満たすものは果たして存在するであろうか。この疑問にアプローチするため心機能の指標を収縮能と拡張能に分けて現時点における問

題点を検討してみたい。

### 収縮拡張能の指標

表2は心収縮能の指標とその特徴を示したものである<sup>1)</sup>。図2に例を示した簡便性で優れている収

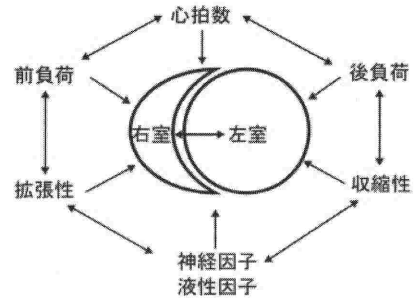


図1 術中循環を決定する要素

表1 理想的な術中心機能モニター

・心機能の変化に敏感
・負荷に非依存性
・心筋サイズや重量非依存性
・簡便かつ安全
・臨床的に有用
・連続的にモニターできる

表2 各収縮能の指標とその特徴

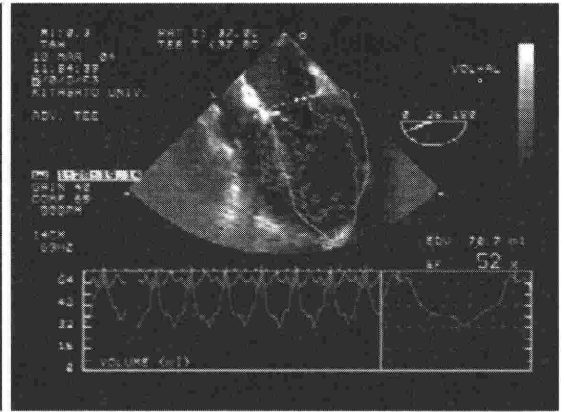
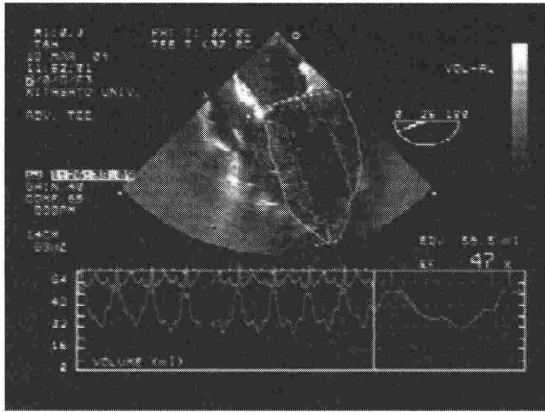
	収縮能感受性	前負荷依存性	後負荷依存性	心筋量依存性	簡便性
EF	++	++	+++	++	++++
ESV	+	0	+++	++	++++
mVCF	+++	0	+++	++	+++
ESPVR	++++	0	0	+++	+
dp/dt	++++	++	++	++	++

EF, ejection fraction; ESV, end systolic volume; mVCF, mean velocity of circumferential shortening; ESPVR, slope of the end systolic pressure volume relationship; Corrected from Circulation 2002; 105: 2701.

\*北里大学医学部麻酔科学

スタビライザーで心臓圧迫中

スタビライザー除去後



LVEF=47%  
EDV=59 ml

LVEF=52%  
EDV=70 ml

図2 自動トレースによる CABG 中の EF 測定 (disc 法)

肺静脈波  
(PVF)

- PVS1波
  - ・左房弛緩
- PVS2波
  - ・左房流入
- PVD波
  - ・左房通過
- PVA波
  - ・左房収縮

左室流入波  
(TMF)

- E波
  - ・急速流入
- A波
  - ・左房収縮

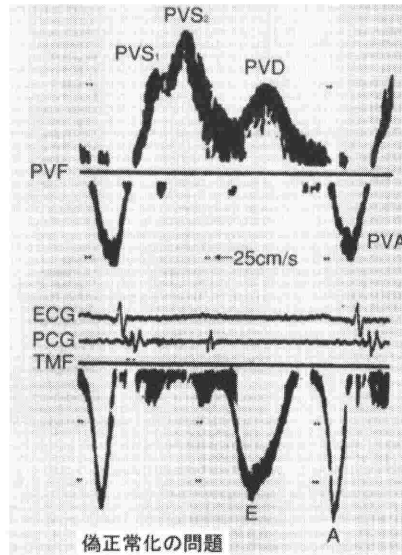
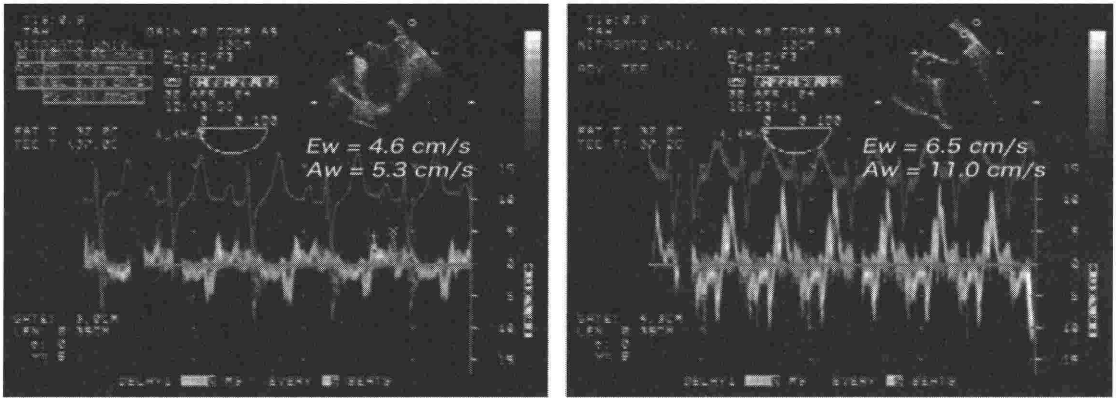


図3 心エコーによる拡張能評価；肺静脈と左室流入波

縮率は特に前負荷依存性が大きいという短所がある。また2次元の心エコーからの測定ではシンプソン法を使用した、いわゆるディスク法なので精度の問題が残る。反面、収縮末期圧容積関係から得られる指標は収縮能の指標として感受性も高く種々の負荷非依存性であるが左室圧の測定や容量変化の必要性は簡便性という点では大きく劣る。他の指標も表2に示したように長所短所がある。次に拡張性の指標を挙げると表3に示すものがある。心エコーを使用することによって得られる指標が多い。図3に示す肺静脈波や左室流入波は臨床

表3 拡張能の指標

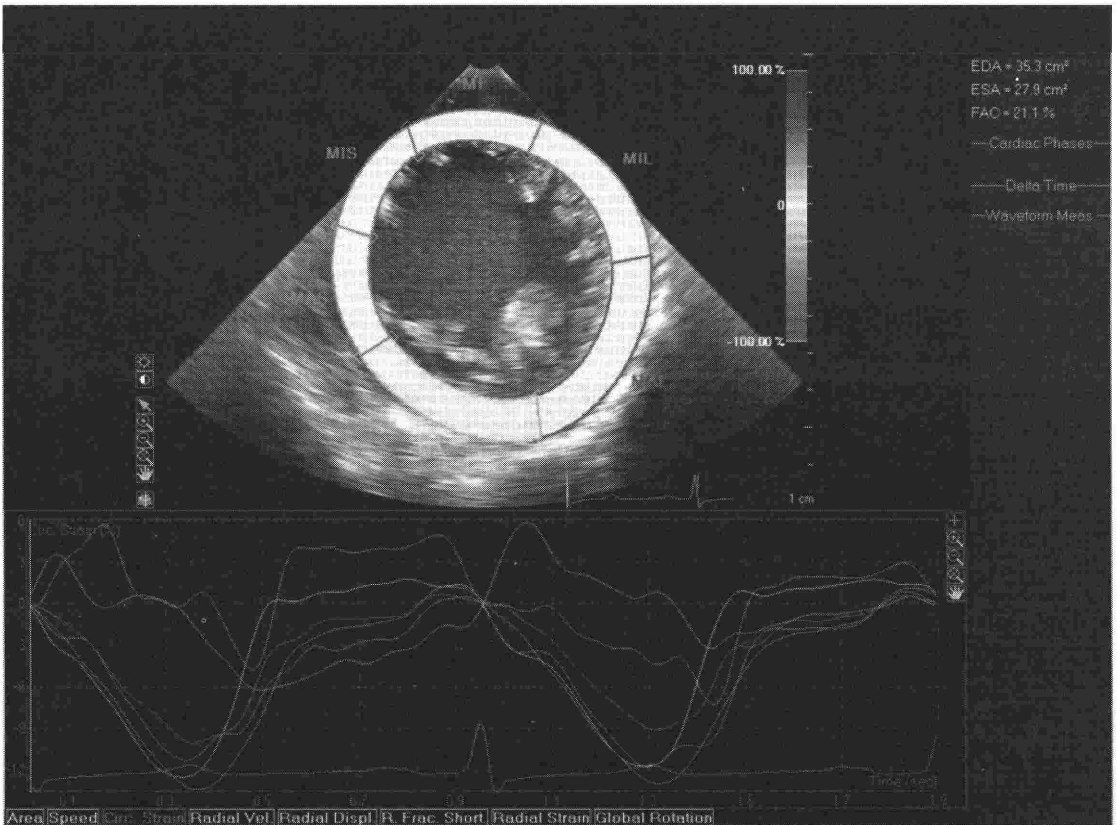
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Peak filling rate (PFR)</li> <li>・ EDV</li> <li>・ TMF (E/A, DT, IRT)</li> <li>・ PVF (S/D)</li> <li>・ Vp</li> <li>・ TDI (E/E')</li> <li>・ strain rate (歪み), twisting rate (捻れ)</li> <li>・ EDPVR</li> <li>・ -dp/dt, tau</li> </ul>
---



術前：左室高度拡張機能不全

術後：改善がみられている

図4 TDI(組織ドブラ)僧帽弁輪運動速度からみた拡張能の改善



局所の心筋機能の表示が中心

図5 2D speckle tracking による strain 計測

的には比較的捉えやすい拡張能の指標であるが偽正常化という問題があり正常と異常の鑑別さえ困難となることがある。その短所を補うテクノロジーとして図4, 5 に示すような組織ドブラ法やスペ

クトラッキングを利用したストレインの測定法などがあるが双方とも局所機能のアプローチとしては優れているが心臓全体の機能を追従できない短所がある。

### 3次元心臓モデル

術中循環の変化の特徴を表4に挙げる。心内容量・形態の変化が特徴的である。この変化を手術中でもリアルタイムでしかも3次元的に捉えることのできるテクノロジーが登場した。それが3次元経食道心エコー法(3DTEE)である。図6に示すように心臓の各セグメントの容量変化を示すことができるうえ、図7に示すように総和としての時間容量曲線を描くことができ2次元心エコーからの推定法よりもかなり精度が高い。この曲線から

表4 術中循環の特徴

<ul style="list-style-type: none"> <li>・麻酔薬による心抑制・血管拡張</li> <li>・出血・血液分布異常で容量変化</li> <li>・痛みによる交感神経緊張</li> <li>・低酸素、ストレス、出血による虚血</li> <li>・手術手技による心臓形態への影響</li> <li>・強い炎症作用による組織血流の低下 (心不全、冠動脈疾患を有する症例あり)</li> </ul>
--

得られるパラメータは収縮能の指標である左室収縮率、左室収縮末期容量、最大駆出率、拡張能の指標である左室拡張末期容量や最大充満率がある。加えて拍出量が得られることが術中の循環制御を計る上での大きなアドバンテージとなる。

### 各モダリティの比較

現時点で上述した3次元的に心臓の容量変化を捉えることのできるモダリティとして3DTEEの他にMRI、CT、SPECTが挙げられる。図8は時間-左室容量曲線のMRI、CT、3D心エコーの比較を行ったものであり精度においては各モダリティともほぼ遜色ない結果が得られている<sup>2)</sup>。さらに図9に示すように左室だけではなく右室の3次元的な容量解析も可能となってきた<sup>3)</sup>。表5は術中使用を考える際の長所と短所を比較したものである。経済性や安全性では3DTEEが迅速性や正確性ではCTに分があるようである。

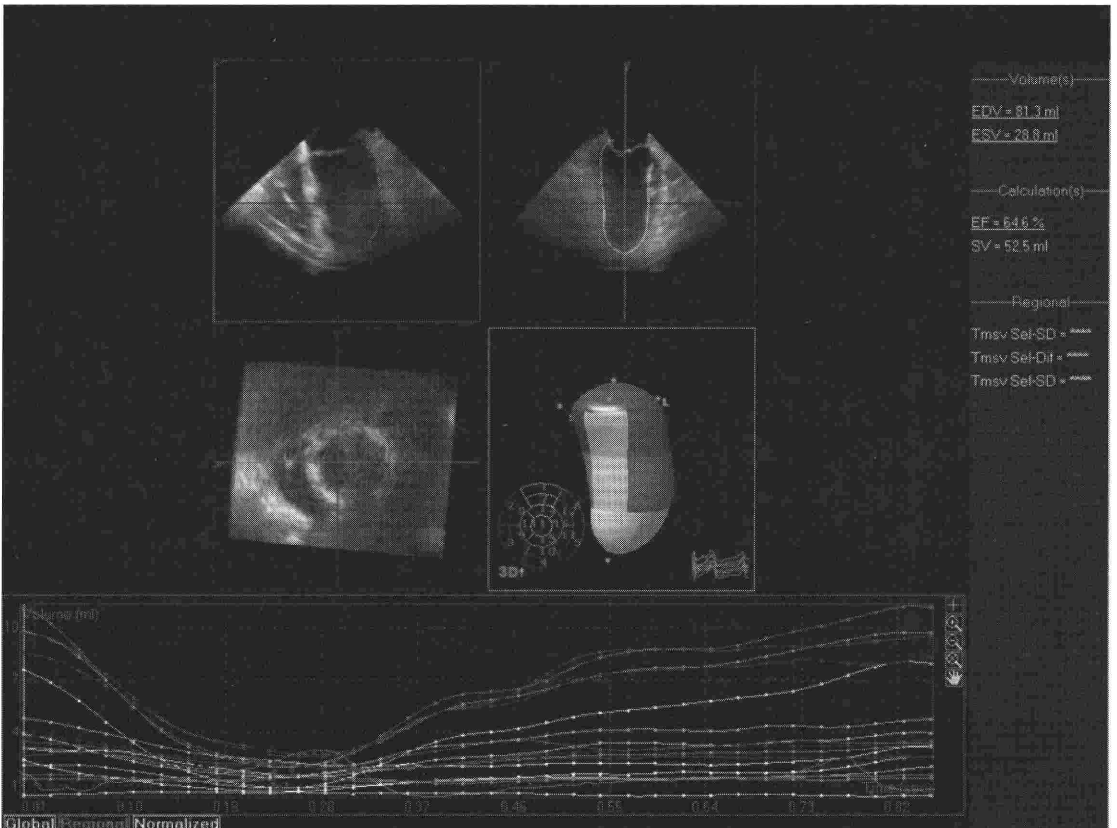


図6 3DTEEによる各セグメント容量変化

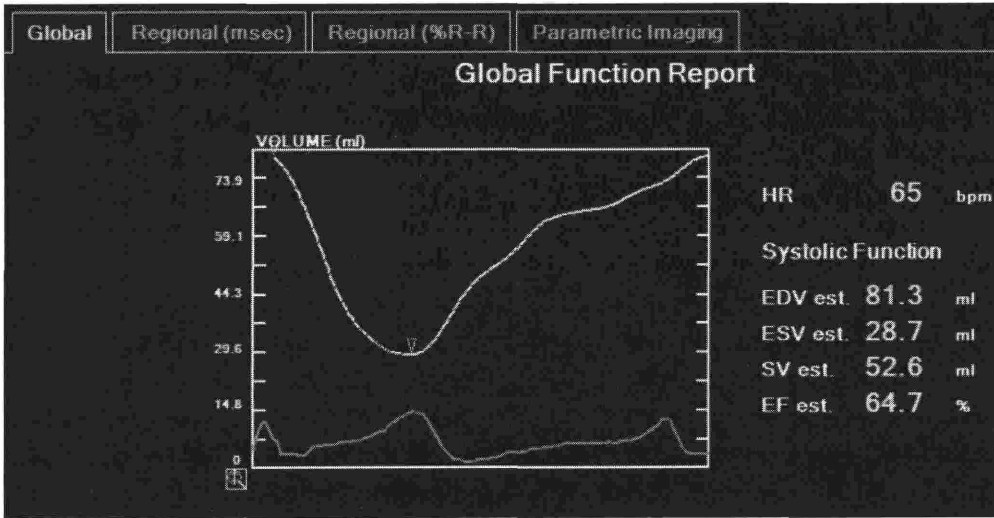


図7 3DTEE で求めた時間-左室容量曲線  
 EF, ESV, EDV, SV, PER, PFR の各パラメータが得られる (本文参照).

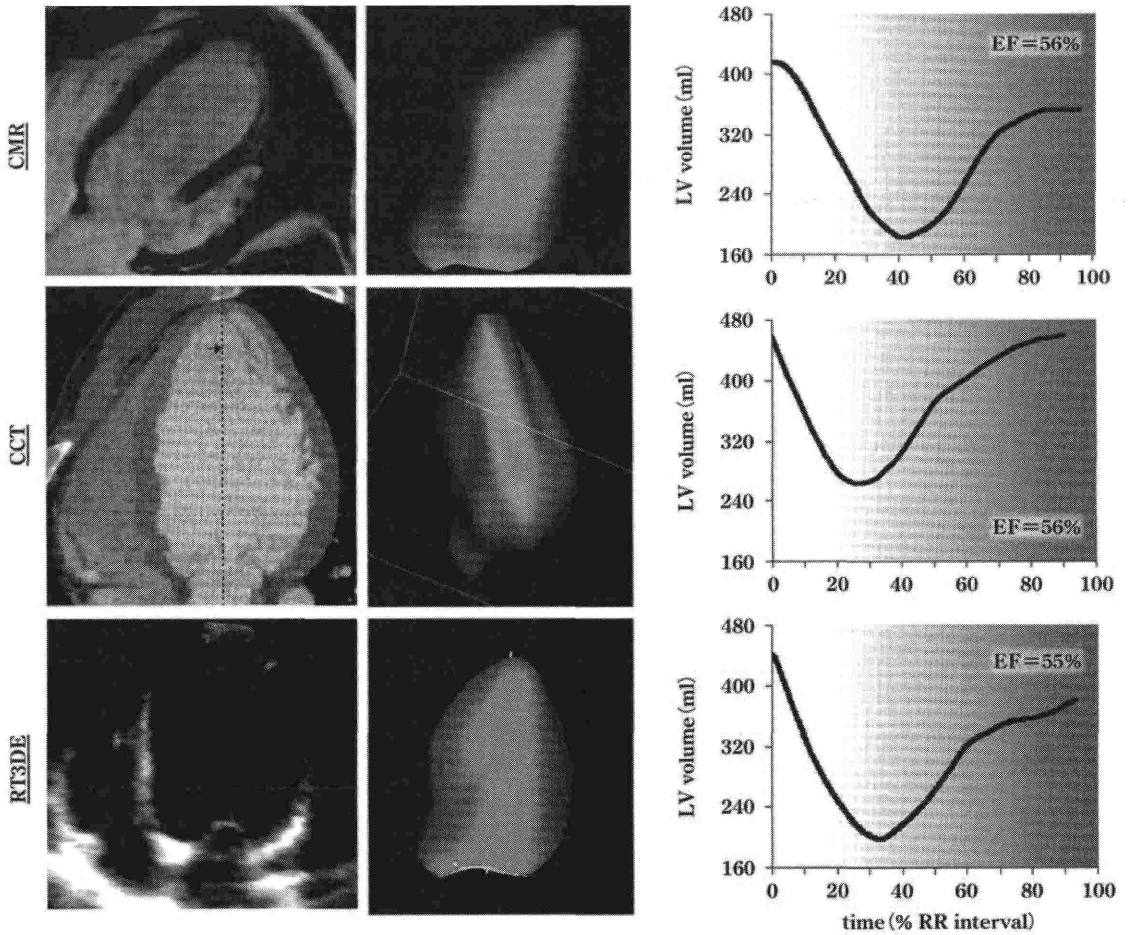


図8 時間-左室容量曲線のモダリティ間の比較 (Circulation 2006; 114: 654)

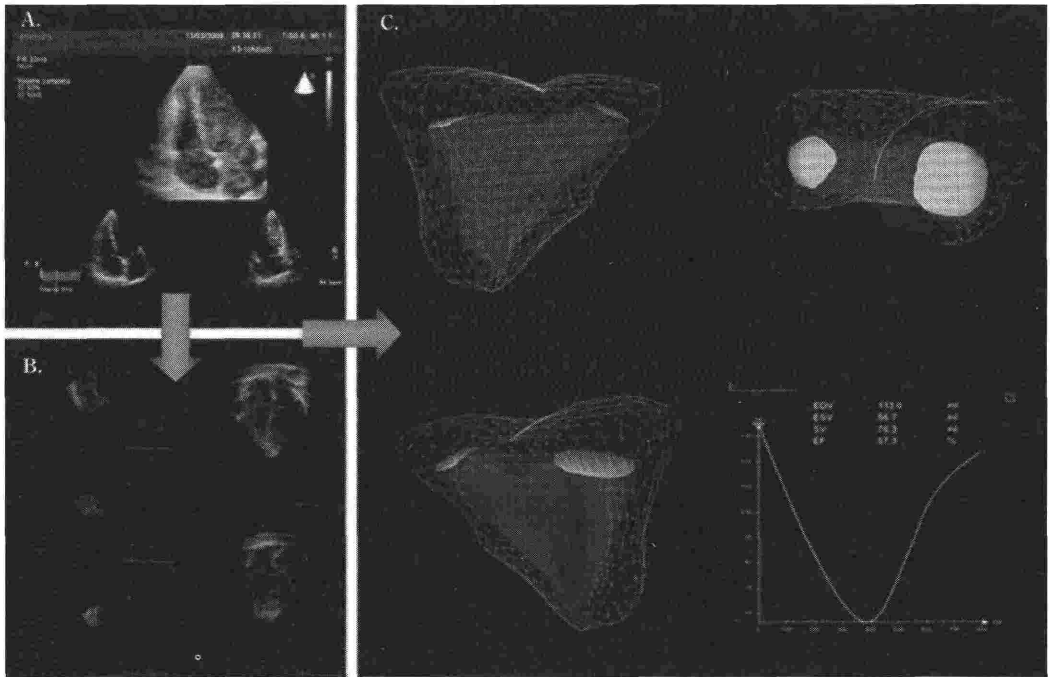


図9 3D心エコー法による右室の時間-容積曲線 (J Am Soc Echocardiogr 2010; 23: 109)

表5 術中使用における各モダリティの長所短所

	経済性	迅速性	正確性	応用性	安全性
3DTEE	普通	迅速	普通	拡張能	安全
MDCT	やや高価	迅速	正確	血流	被爆++
MRI	高価	時間	普通	血流	磁気++
SPECT	やや高価	時間	普通	血流	被爆+

未来の術中循環制御

未来の術中循環制御を行う際に、3次元的に心臓を捉えて得られる連続的な両心室の時間-容量曲線モニターを使用できればかなりの有用性が期待できる。さらに Laplace の法則を適応すると壁応力の測定ができれば心エコーのデータから心内圧を推測することができるため両心室の時間-圧-容量平面を3次元的に描くことができ、よりいっそう発展した循環のモニターとして使用できる可能性がある。

おわりに

未来の術中循環制御と題して心臓を3次元的に捉えて得られるパラメータを用いる方法を検討してみた。最近のテクノロジーのめざましい発展はより迅速で、より安全で、より正確で、そして願

わくは、より経済的な方法で心臓の3次元解析を可能なものにしていくことが予想され、これを駆使した術中循環制御が可能になる日はそう遠くないと思われる。

文献

- 1) Carabello BA: Evolution of the study of left ventricular function: Everything old is new again. Circulation 2002; 105: 2701-3.
- 2) Sugeng L, Mor-Avi V, Weinert L, et al: 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: 654-61.
- 3) Tamborini G, Marsan NA, Gripari P, et al: Reference values for right ventricular volumes and ejection fraction with real-time three-dimensional echocardiography: Evaluation in a large series of normal subjects. J Am Soc Echocardiography 2010; 23: 109-15.