

## 総 説

### 心エコー入門：心エコーで何がわかるのか？

奈良県立医科大学総合医療学教室

藤 本 眞 一, 水 野 麗 子, 中 村 忍

#### A GUIDE TO ECHOCARDIOGRAPHY: WHAT CAN I GET BY USING ECHOCARDIOGRAPHY?

SHINICHI FUJIMOTO, REIKO MIZUNO and SHINOBU NAKAMURA

Department of General Medicine, Nara Medical University

Received April 11, 2008

**Abstract** : 心エコー図検査において, 初心者が知っておかなければならない基本的事項がある. 中でも, 撮像方法の基本を熟知することが最も重要である. その上で, 次に心機能評価法と弁膜症の評価法について知っていれば, 一般臨床の場で心エコー図をかなりの所まで活用することが出来る. しかし, 心エコー図法は, 新しいコンピュータ技術の開発により, 常に進歩し続けている. 実際, 心筋組織性状指標, 経静脈心筋コントラストエコー法, 経食道心エコー法などの技術によってもたらされた恩恵は計り知れない. さらに, 最近では, 3次元心エコー図, ストレイン・ストレインレート法, スペックルトラッキング法なども驚異的な進歩がみられ, 益々目が離せない領域になろうとしている. 心エコー図法の発展に終わりはないのである.

**Key words** : echocardiography, guideline

#### はじめに

心エコー図検査は, 循環器科医のみならず, 一般内科臨床医にとっても, 重要な診療技術の一つになっている. しかし, 心エコー図でより良く診るためには, 適切な診察ならびに聴診所見が得られていることが, 最も重要であることは言うまでもない. そのことを, まず, よく理解して心エコー図検査を実施することが必要である. また, 心エコー図の諸指標の解析には, 心時相の意義や病態による変化に関する知識が重要であるので, 心エコー図を良く読み解くためには, 多少古めかしいと感じる方々も多いかもしれないけれども, 心音図学や心機図学にも習熟していることが望ましいと著者は考えている.

心エコー図でわかるものとして以下のものが挙げられる.

1. 心臓の各部位の大きさ
2. 心臓の動き

3. 心嚢液貯留の有無, 程度
  4. 心臓局所の動き (組織ドブラ法)
  5. 心臓内の血流速度 (ドブラ法, 心臓内圧推測)
  6. 心筋組織性状(Integrated Backscatter Imaging)
  7. 心筋内の血流 (コントラストエコー)
  8. 負荷による心筋虚血の有無
  9. 冠動脈血流速度, 冠動脈狭窄の有無
  10. 心臓内の血栓の有無(経食道心エコー図法)
- これらについて順を追って解説していく.

1. 撮像方法 まずこれが重要である.

M-mode と B-mode が必須であり, これらの基本画像を正確に記録するためには, 心機能計測指標の標準は何か, 逆流性弁膜症の重症度評価法など応用的な方法についても熟知していることが必要である.

- ◇傍胸骨左室長軸像 前, 後交連寄りで3断面
- ◇傍胸骨短軸像 4断面

- A) 大動脈弁口レベル
- B) 僧帽弁口レベル
- C) 乳頭筋レベル
- D) 心尖部レベル

◇心尖 4 腔像

◇心尖 2 腔像 RAO, LAO 2 断面

この他に、必要に応じて傍胸骨右室流入路長軸像、胸状突起下右房-下大静脈矢状断層像がある。

各壁運動の評価アメリカ心エコー図学会による標準断面の解説を以下の図に示す。

左室の各セグメント(segment)には、1～17までの番号が付けられている。このうち、描出されたsegmentについて壁運動を評価し、1: normal, 2: hypokinesis, 3: akinesis, 4: dyskinesis として点数を付ける。各segmentの点数を合算し、描出されたsegmentの数で除するとWall Motion Score Index (WMSI) が求められる<sup>1)</sup>。セグメントが解かっても、実際の壁運動異常の解析は困難であり、心内膜の動きだけでなく、壁厚の変化も同時に見ることが壁運動異常を見抜く秘訣である。

また、ドブラ法による血流計測は、おおむね次のような部位で記録し計測する。

パルスドブラの記録部位

- ◇僧帽弁口血流 (心尖 2 腔像 or 4 腔像)
- ◇左室流出路血流(心尖 5 腔像, 心尖 2 腔像)
- ◇肺動脈弁口血流(傍胸骨大動脈弁口短軸像)
- ◇三尖弁口血流 (傍胸骨右室流入路, 心尖 4 腔像)
- ◇肺静脈血流(心尖 4 腔像左房後方, 経食道エコー)

連続波ドブラの計測

- ◇TR PA systolic pressure 推測
- ◇PR PA diastolic pressure 推測
- ◇AR 重症度
- ◇AS 重症度
- ◇MR 重症度
- ◇MS 重症度

## 2. 心機能評価

心機能は、心エコー以外でもある程度推測することが出来る。心エコーの実施前に、これらを知っていれば、より正確な心機能評価を実施することが出来る。

- ◇聴診でⅢ音聴取：EF<50%の感度 11～51, 特異度 86～98
- ◇循環時間：腕舌, 腕肺時間
- ◇胸部 X 線検査：心胸比
- ◇圧測定：中心静脈圧, S-G カテーテルでの肺動脈圧

◇収縮時相(脈波)：ET/PEP など

◇左室動態：左室造影, RI など

日本超音波医学会ガイドラインでは、心機能指標のうち収縮期機能については以下の項目の計測が選択されている。

◇左室駆出率(EF)：M-mode による

◇左室内径短縮率(FS)：M-mode による

◇左室短軸周囲短縮速度(mVCF)：M-mode による

◇左室駆出率(EF)：(B-mode による, single plane, biplane)

◇左室駆出率(EF)：3D エコーによる

◇TEI Index：収縮期拡張期両方の指標として

また、計測法の利点と問題点については、アメリカ心エコー図学会の報告から表 1 のようにまとめられている<sup>2)</sup>。

また、心不全の診断には、収縮機能だけでは不十分であり、左室拡張期特性の評価が必須であり、日本超音波医学会のガイドラインでは以下の項目の計測が推奨されている<sup>3)</sup>。

拡張機能指標：

◇左室等容拡張時間(IRT)

◇僧帽弁口血流の E/A

◇僧帽弁口血流の E 波の減衰時間(DT)

◇肺静脈血流の S/D

◇Propagation velocity

◇僧帽弁口血流の E 波と組織ドブラ法による僧帽弁輪部の運動速度波形の拡張早期波 E' との比(E/E')

左室拡張期特性は進行の過程で、図 2 に示したように、僧帽弁口血流の E 波が低下し、その減衰時間(DT)が延長する急速流入期の障害が中心の slow relaxation pattern の状態から、E 波が増高し、E/A が一見正常になる偽正常化(pseudonormalization pattern)の状態が存在し、その後、E 波が増高したまま、DT が減少する、拘束型流入パターン(restrictive pattern)まで進行することを念頭において、E/A だけでは簡単には判断出来ないことに留意する必要がある。

拡張期特性の重症度評価については、EHO マニュアルから表 2 のように分類されている<sup>4)</sup>。

実際の臨床の場で、上記の拡張期特性を評価する方法として、拘束型流入パターンをバルサルバ手技で変化させるものとし、さらに分割して、図 4 のように 5 段階にしたものが使われている<sup>5)</sup>。

## 3. 弁膜症の評価

1) 狭窄性弁膜症の評価

僧帽弁狭窄症の重症度評価：B-mode の弁口トレース、

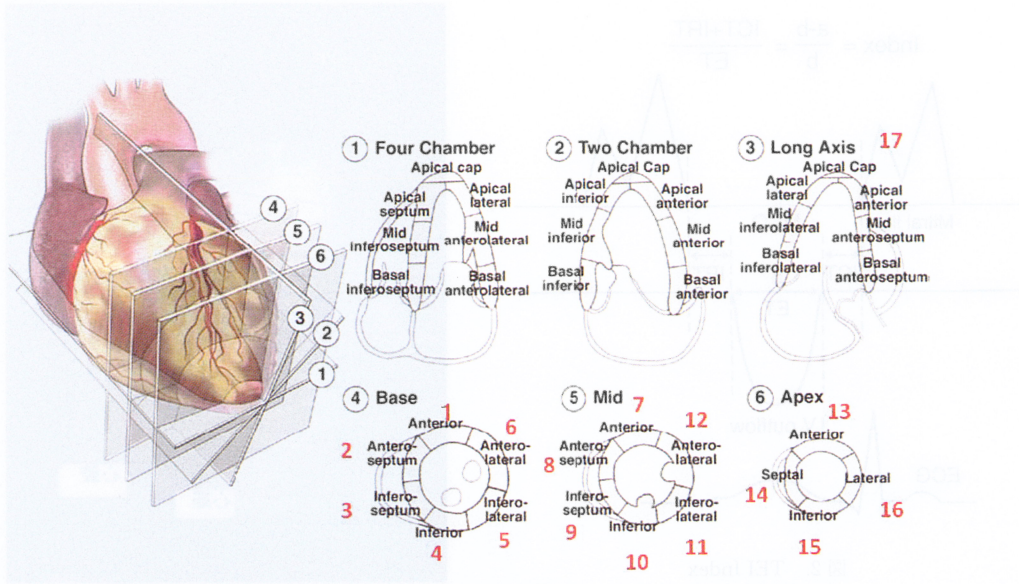


図1. 左室のセグメント (J Am Soc Echocardiogr 2005 ; 18 : 1440-1463.)

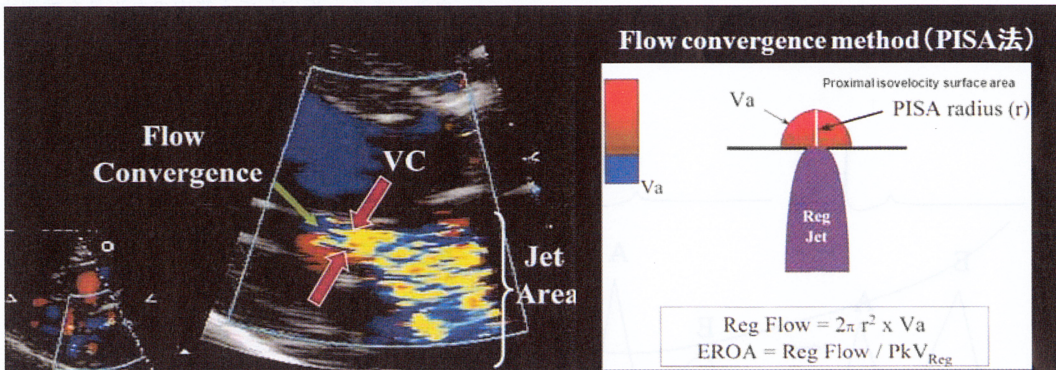


図5. 弁逆流の評価指標

左図：① Flow convergence : PISA で必要な血流の radius を求める。② VC : jet 束の幅 (venal contraction), ③ Jet area.  
 右図：PISA の計測法：半球の表面積  $2\pi r^2 \times$  半球の表面を横切る流速ベクトルのすべてが有効逆流弁口面積 (EROA) を通過する逆流血流量と考える。逆流 jet の流速が一樣であると考えて逆流弁口面積を求める。

連続波ドプラ法で  $220/(\text{pressure half time})$  から求める.

僧帽弁口面積 = 微小変化 :  $4 \sim 6 \text{ cm}^2$

軽症 :  $1.4 \sim 2.5 \text{ cm}^2$

中等症 :  $1.0 \sim 1.4 \text{ cm}^2$

重症 :  $1.0 \text{ cm}^2$  以下

大動脈弁狭窄症の重症度評価 ;

圧隔差 = 軽症 :  $25 \sim 50 \text{ mm Hg}$

中等症 :  $50 \sim 75 \text{ mm Hg}$

重症 :  $75 \text{ mm Hg}$  以上

大動脈弁口面積 = 正常 :  $3 \sim 4 \text{ cm}^2$

軽症 :  $1 \text{ cm}^2$  以上

中等症 :  $0.75 \sim 1.0 \text{ cm}^2$

重症 :  $0.75 \text{ cm}^2$  以下

2) 逆流性弁膜症

超音波ドプラ法を用いたが逆流性弁膜症の評価には、アメリカ心エコー学会から、ガイドラインが出ている<sup>6)</sup>.

評価のための主な指標は、図5に示したように、逆流

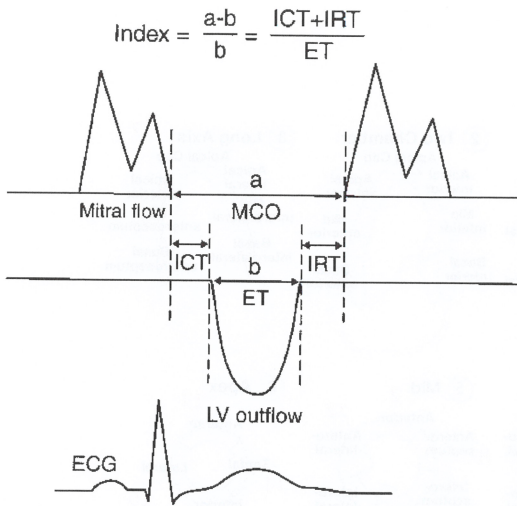


図 2. TEI Index

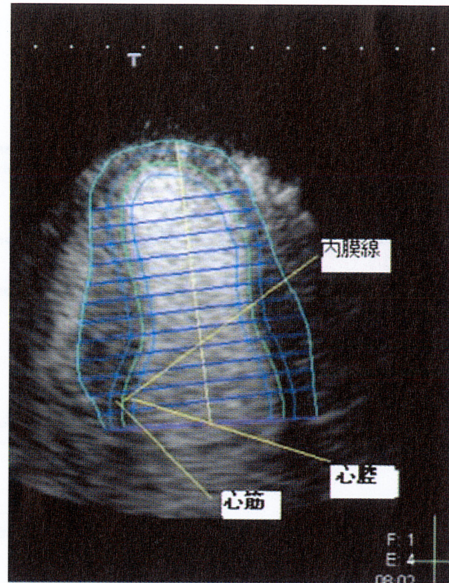


図 9. Volmap による心筋血流量の推測. 心腔側と心筋側の video intensity の差から, 心腔には 100% の血液があると仮定して心筋内の血流量を推測する.

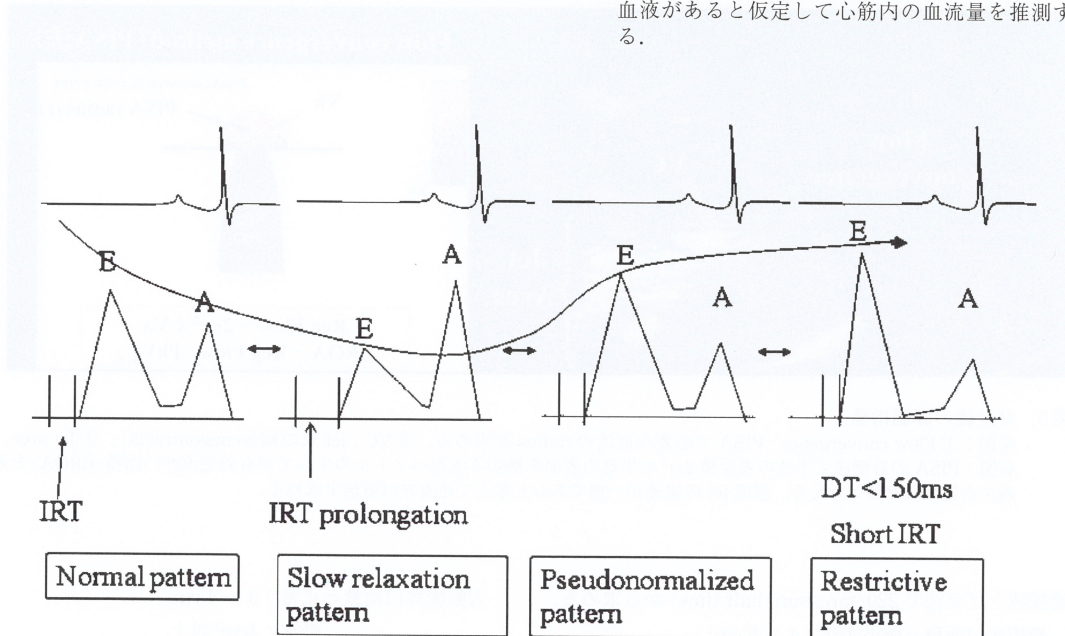
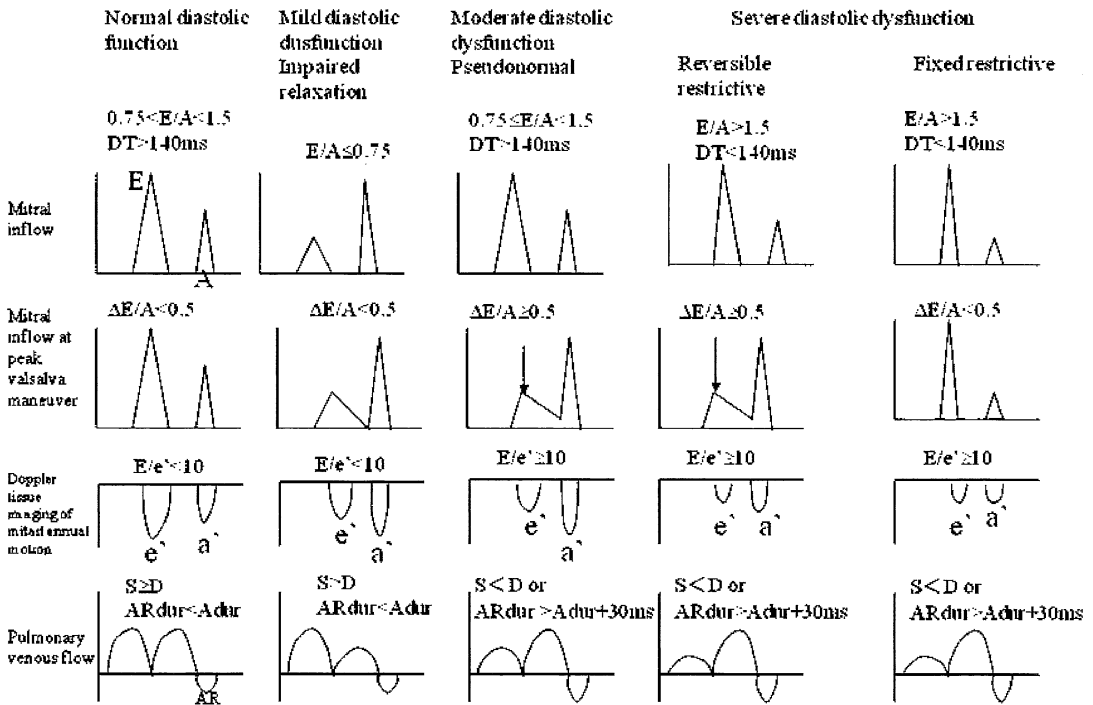


図 3. E/A からみた左室拡張期特性障害の推移



Redfield MM, et al. JAMA 2003; 289: 194

図4. Redfieldらによるドプラ血流指標による拡張障害の分類

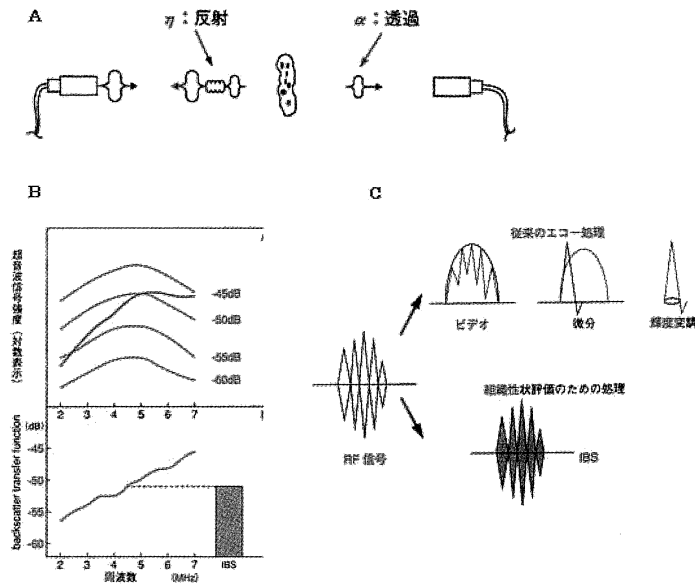


図6. Integrated backscatter 法の原理

A：組織を通過する超音波信号で組織の変化を検出するのが、理想的であるが、体の反対側に超音波受信装置を置くことが困難であり、反射波で組織の状態を調べる方法が一般的。B：一定の組織特性を持った金属板の一定の周波数特性での反射波の輝度信号(上段)を基に、組織の信号強度をデシベル(dB)で表現したものの(下段)が、backscatter transfer functionである。C：上段が通常の信号処理、下段が実用の装置でのIBでは、RF信号を2乗して時間積分して計算している。

表1. 左室計測法の利点と欠点 J Am Soc Echocardiogr 2005 ; 18 : 1440-1463.

内径・容量	利点	欠点
距離計測		
M モード	再現性良好、高フレームレート、蓄積データ豊富、正常例では最も代表的なデータを示す	ビーム方向がしばしば不適、変形のある心室での一つの計測値が必ずしも全体を代表しない
B モード	心室の軸に直角に計測可	M モードよりフレームレートが低下、1 計測値だけ
容量計測		
Biplane Modified Simpsons 法	心室変形を補正可能、数学的近似を最小限にする	心尖部が小さく見える、内膜描出不良例、高々2 断面、正常例でも蓄積データ不十分
Area-length 法	心室形態変形を部分的に補正	数学的近似大、蓄積データ不足
質量計測 LV mass		
M モード、B モード	蓄積データ豊富	局所心室変形では不正確、M モードでビーム方向の問題、小さな誤差が大きな違いに
Area-length 法	乳頭筋の関与を考慮可能	心室の変形に低感度
先端切断楕円近似法 (Truncated ellipsoid)	心室の変形により高感度	数学的近似多い、正常例のデータも未だ稀少

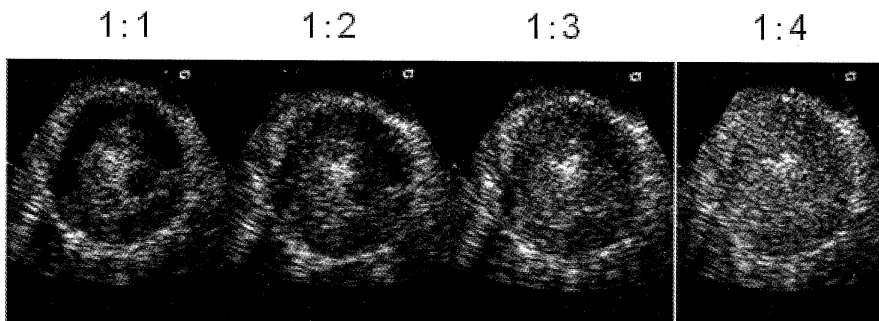


図7. コントラストエコーの送信間隔染影効果  
送信間隔が増えると染影が増強していることがわかる。

表 2. 拡張障害の重症度分類 Oh JK, et al ed. The ECHO Manual(Third ed.)

	Normal filling	Impaired relaxation	Pseudonormal pattern	Restrictive filling
DT (ms)	160-240	>240	160-200	<160
IVRT (ms)	70-90	>90	<90	<70
E/A	1-2	<1	1-1.5	>1.5
PV flow	S2≥D	S2>>D	S2<D	S2<<D
2D structure and others	No anatomic abnormality	Mitral A≥ or <PVa	Mitral A<PVa PVa>35 2D structural heart disease (EF↓, LA↑, LVH) Reversal of E/A by Valsalva maneuver	Mitral A<PVa PVa>35 2D structural heart disease (EF↓, LA↑, LVH) Decreased E/A by Valsalva maneuver

表 3. 僧帽弁逆流の重症度分類

	mild	moderate		severe
重症度に特異的な所見	Vena contracta<0.3cm central jet<4cm <sup>2</sup> or <LA area の 20% Flow convergence 小	中間		Vena contracta>0.7cm Central jet 大 (LA 面積の 40%以上)、LA 壁に激突したり LA 内で旋回する jet Flow convergence 大 肺静脈収縮期血流の逆転 僧帽弁の大きな揺れ、乳頭筋断裂
補助的所見	PVF S>D TMF で A 波有意 放物線状の MR の CW 波形 左室内径拡大なし	中間		濃く三角形の MR の CW 波形 TMF で E 波有意(> 1.2m/s) LV,LA 拡大
定量的指標				
逆流容量 (ml/beat)	<30	30-44	45-59	≥60
逆流率 (%)	<30	30-39	40-49	≥ 50
ERO (cm <sup>2</sup> )	<0.20	0.20-0.29	0.30-0.39	≥0.40

表 4. 大動脈弁逆流の重症度分類

	mild	moderate		severe
重症度に特異的な所見	Vena contracta<0.3cm central jet<LVOTwidth の 25% 下行大動脈の拡張早期反転血流がない、小さい	中間		Vena contracta>0.6cm Central jet ≥65%LVOT
補助的所見	PHT>500ms 左室内径正常	中間		PHT<200 下行大動脈での汎拡張期 flow reversal LV 拡大
定量的指標				
逆流容量 (ml/beat)	<30	30-44	45-59	≥60
逆流率 (%)	<30	30-39	40-49	≥ 50
ERO (cm <sup>2</sup> )	<0.10	0.10-0.19	0.20-0.29	≥0.30

表 5. 三尖弁逆流の重症度分類

指標	mild	moderate	severe
valve	正常	正常あるいは異常	異常、脆弱、接合不全
RV/RA/IVC	正常	正常 or 拡大	拡大
Jet area (cm <sup>2</sup> )	<5	5-10	>10
VC width (cm)	不明瞭	<0.7	>0.7
PISA radius(cm)	≤0.5	0.6-0.9	>0.9
Jet density, CW contour	柔らかい放物線状	濃い、形状いろいろ	濃い、三角形
Hepatic venous flow	収縮期優位	収縮期に丸い	収縮期逆転



表 6. 肺動脈弁逆流の重症度分類

指標	mild	moderate	severe
弁	正常	正常 or 異常	異常
RV size	正常	正常 or 異常	拡大
Color Doppler Jet size	< 10 mm	中間	大
Jet density, DT	<u>柔らかい</u> 、 <u>DT 長</u> <u>い</u>	中間	<u>濃い</u> 、 <u>DT 短い</u>
Pulmonary /systemic flow by PW	軽度大	中間	著明大

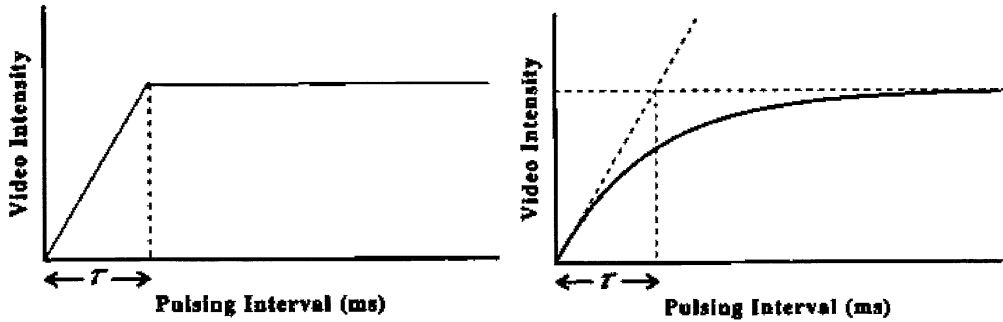


図 8. 送信間隙と video intensity. 左が理論値, 右が臨床例. A : peak intensity β : 輝度曲線の初期の傾き

血流シグナルの① Flow convergence, ② vena- contracta, ③逆流ジェットの面積の3つである。

Flow convergence から逆流量を計算するする手法があり, PISA (proximal isovelocity sureface area) と言われる。各弁での重症度は表 3 ~ 6 のように整理できる。

3. 心筋組織性状評価

超音波による, 心臓の大きさ, 形, 動きの他, 超音波を用いて心臓筋肉の組織の変化を推測する方法があり, Integrated backscatter 法とされる<sup>7)</sup> (図 5)。

しかし, この指標は, 心筋病変の重症度の指標として使うことが出来るが, 詳細な組織の質的变化について明確に推測することは難しい。

4. コントラストエコー法

コントラストエコーを定量的に評価するために, 間欠

送信法がある。図 6 のように, 送信間隔が心周期の 2 倍, 3 倍, 4 倍と長くなれば, 染影効果が増強する。

Pulsing interval と心筋染影

送信間隔と心筋 video intensity の関係から, 心筋血流量を推測する指標としては, Wei らの方法が知られている<sup>8)</sup> (図 8)。

図 8 の右図のように,

$$y = A(1 - e^{-\beta t})$$

A × β で心筋血流量を反映すると考えられる。

また, 本邦で開発された手法として Volmap がある (図

9)。

この方法の基本的な考え方は次の 2 つに要約される。

- 1 血液量はバブルの個数(濃度)に比例する。
- 2 エコー信号のパワーは, バブル個数に比例する。

そこで図 9 の画像から

$$X = 10 \log_{10} P \quad X : \text{dB} \quad P : \text{Power}$$

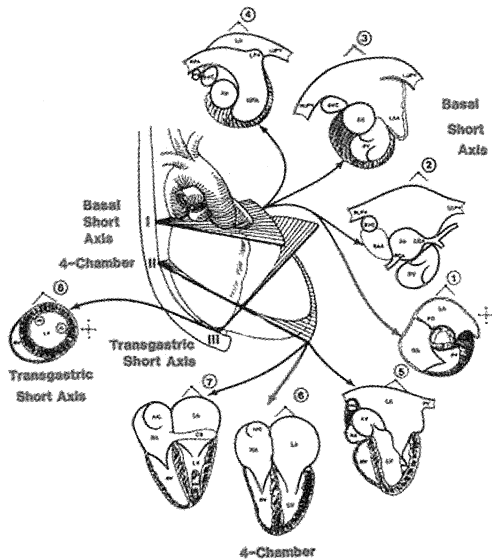


図 10. 経食道心エコー図の描出画像

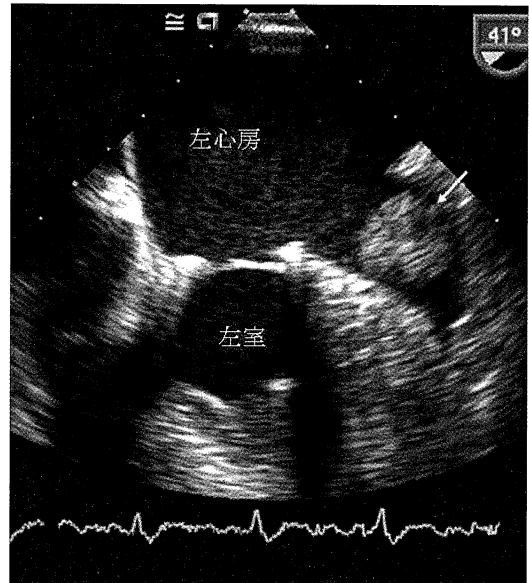


図 11. 経食道心エコー図での左心耳血栓. 矢印は左心耳内の血栓

表 7. 冠動脈の超音波診断と他の計測方法の比較

	TTE	TEE	ドブラガイ ドワイ ヤー	PET	MRI	CT
検査時間	◎	△	×	×	×	○
経済性	◎	◎	×	×	×	×
侵襲性	◎	○	×	○	◎	△
絶対血流量の測定	×	×	×	◎	○	×
繰り返し測定	◎	○	○	×	○	×
測定可能範囲	△	○	◎	◎	◎	◎
手技の難易度	△	○	◎	◎	◎	◎
特徴	繰り返し して簡便に 実施できる が、対象 部位が限定 される。	安価である が、測定 部位が冠 動脈近位 部に限局 される。	すべての 部位で評 価できる が、侵襲的。	絶対的血 流量が評 価できる が、高価	繰り返し して実験で できるが、高 価であり、 ベッドサイ ドで実施で きない。	被爆の問題、 高価であり、 ベッドサイ ドで実施で きない。

◎：大変優れている、○：優れている、△：どちらとも言えない、×：劣っている。  
TTE：経胸壁心エコー図、TEE：経食道心エコー図

(心筋-心腔)輝度差 =  $I_1 - I_2$  とすると、

$$I_1 - I_2 = 10 \log_{10} P \quad P = 10^{(I_1 - I_2) / 10}$$

したがって、

心腔 100g に対し 100ml の血液量と仮定すると

輝度差が  $-10\text{dB} = 1/10$  ならば 10ml/100g

$-13\text{dB} = 1/20$                       5ml/100g

$-16\text{dB} = 1/40$                       2.5ml/100g

とそれぞれ推測出来る。

### 5. 冠動脈エコー

冠動脈エコーも心エコーで簡便に評価できる。すべての冠動脈領域ではないが、90%の症例で何らかの冠動脈に関する情報を得ることが出来るといわれている。特に、冠予備能の評価は極めて重要な情報を提供することが出来る。表7に他の検査手法と有用性を比較している。

### 6. 経食道心エコー法

経食道心エコー図の評価に関してもアメリカ心エコー図学会からガイドラインが出ている(図10)。心内の血栓、特に、最も頻度の多い、左心耳における血栓の確認には心エコー図が特に有用である(図11)<sup>9)</sup>。

## ま と め

心エコー図で何がわかるのか？ 答えは、なかなかむずかしい。なぜなら、何がわからないのかを見つけるのが難しいからである。心エコー図法は今後もさらに進歩し続け、益々多くのことが解る検査手法になるであろう。すでに、ストレイン法やスペクトルトラッキング法は、最近、急速に進歩しており、多くの新知見を生みだしている。最も期待される領域の一つである。しかしながら、心エコー図法にのみ拘るのは良くない。心臓画像診断に関わる者は、CT や MRI で得られる知見についても、注目していかねばならないし、良い所は素直に受け入れるべきである。しかし、著者らは、他の検査の利点を受け入れた時、初めて心エコー図の利点も再認識されることを多々経験している。心エコー図法がその真価を発揮するのは、臨床医がベッドサイドで繰り返して観察する時であることを忘れなければ、心エコー図法は今後も最強の循環器画像検査手法で有り続けるであろう。

## 文 献

- 1) Cerqueira, M. D., Weissman, N. J., Dilsizian, V., Jacobs, A. K., Kaul, S., Laskey, W. K., Pennell, D. J., Rumberger, J. A., Ryan, T. and Verani, M. S. : Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart: A statement for healthcare professionals from the cardiac imaging committee of the council on clinical cardiology of the American Heart Association. *Circulation* **105** : 539-542, 2002.
- 2) Lang, R. M., Bierig, M., Devereux, R. B., Flachskampf, F.A., Foster, E., Pellikka, P.A., Picard, M.H., Roman, M.J., Seward, J., Shanewise, J.S., Solomon, S.D., Spencer, K.T. and St John Sutton, M. : Recommendations for chamber quantification: A report from the American society of echocardiography's guidelines and standards committee and the chamber quantification writing group, developed in conjunction with the European association of echocardiography, a branch of the European association of echocardiography, a branch of the European society of cardiology. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* **18** : 1440-1463, 2005.
- 3) 日本超音波医学会用語・診断基準委員会循環器領域委員. 心機能指標の標準的計測法その解説(案) *Jpn J Med Ultrasonics*, **32** : 364-374, 2005.
- 4) Oh, J. K., Seward, J. B. and Tajik, A. J. : Assessment of diastolic function and diastolic heart failure in *The ECHO Manual Third. ed.* Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, p136, 2006.
- 5) Redfield, M. M., Jacobsen, S. J., Burnett, J. C., Mahoney, D. W., Bailey, K. R. and Rodeheffer, R. J. : Burden of systolic and diastolic ventricular dysfunction in the community. Appreciating the scope of the heart failure epidemic. *JAMA*, **289** : 194-202, 2003.
- 6) Zoghbi, W. A., Enriquez-Sarano, M., Foster, E., Foster, E., Grayburn, P. A., Kraft, C. D., Levine, R. A., Nihoyannopoulos, P., Otto, C. A., Quinones, M. A., Stewart, W. J., Waggoner, A. and Weissman, N. J. : Recommendation for evaluation of the severity of native valvular regurgitation with two-dimensional and Doppler echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* **16** : 777-802, 2003.
- 7) 増山理, 伊藤浩: 超音波で心筋を見る 超音波心筋組織性状診断. 最新医学社, 大阪, p1-9, 1998.
- 8) Wei, K., Jayaweera, A. R., Firoozan, S., Linka, A., Skyba, D.M. and Kaul, S. : Quantification of myocardial blood flow with ultrasound-induced destruction of microbubbles administered as a constant venous infusion. *Circulation* **97** : 473-483, 1998.
- 9) Shiller, N. B., Maurer, G., Rotter, S. B., Ritter, S. B., Armstrong, W. F., Crawford, M., Spotnitz, H., Cahalan, M., Quinones, M., Meltzer, R., Feinstein, S., Konstadt, S. and Seward, J. : Transesophageal echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* **2** : 354-357, 1989.