

# 2Dティッシュトラッキング法を応用した左房容積曲線の自動構築

Automatic Construction of the Left Atrial Volume Profile Applying Two-Dimensional Tissue Tracking Technique

田畑 智継<sup>1)</sup> Tomotsugu Tabata  
森 修<sup>3)</sup> Osamu Mori

長野 智章<sup>2)</sup> Tomoaki Chono

<sup>1)</sup> 藤田保健衛生大学坂文種報徳會病院 循環器内科

<sup>2)</sup> 株式会社日立メディコ 技術研究所

<sup>3)</sup> 株式会社日立メディコ US戦略本部

左室拡張動態の評価では、左室拡張能のみならず左房機能を評価することも重要である。従来はドプラ法を用いた左房機能評価が行われてきたが、間接的評価であり、血行動態の影響を受けるという問題があった。左房容積の計測は、特定の時相における静止画像からSimpson法を用いて行われることが多く、左房容積曲線の構築は煩雑であった。われわれが開発した左房容積自動トラッキング法(left atrial volume tracking method : LAVT法)では、adaptive density gradient method (ADG法)を用いることにより、左房容積曲線を自動構築することができ、その一次微分曲線を得ることもできる。本法を用いることにより、左房機能の詳細な検討が可能となった。

It is important to evaluate left atrial (LA) function not only left ventricular diastolic function when estimating left ventricular performance. The LA function has been evaluated by Doppler echocardiography, however it was indirect assessment and affected by hemodynamics. Measurement of LA volume has been mainly performed by the Simpson's rule using clop image at a given cardiac phase, therefore construction of the LA volume loop was technically cumbersome. The newly developed LA volume tracking (LAVT) method enabled us to automatically create LA volume loop as well as its first derivative curve applying the adaptive density gradient (ADG) method. The LAVT method can provide precise information of the LA function.

Key Words: 2 Dimensional Tissue Tracking, LA Volume Tracking, LA Function

## 1. 左房圧・容積曲線による左房機能の評価

左室流入に関しては左室拡張能が重要視され、ドプラ法を用いた左室機能評価が行われているが、左室流入に左房機能が重要な役割を担っていることを無視することはできない。左房機能には、大きく分けて左房の能動的収縮によるブースターポンプ機能、能動的拡張によるリザーバー機能および導管機能があるが<sup>1)</sup>、これらを詳細に検討するためには左房圧・容積関係を解析することが望ましい。左房圧・容積曲線はポンプ機能を表すAループと肺静脈から左房への血液流入によ

るVループから構成され、Vループは左房のリザーバー機能を、また、AループからVループにかけての上行脚の傾きは左房のコンプライアンスを反映している(図1)。従って、左房圧・容積曲線の構築が可能であれば、左房機能を詳細に評価することができると考えられる。しかしながら、左房容積の計測は左房の解剖学的特徴や位置関係のために非常に困難を伴う。左房は4本の肺静脈と左室の中間に位置し、さらには盲管状の左心耳が開口している。このためいづれの境界も

不明瞭で、全容を観察することは困難である。Hoitら<sup>2)</sup>はsonomicrometryを用いて左房容積を計測している。これは、クリスタルを数個左房壁に縫着して、クリスタル相互間の電気信号により位置関係を計算し、容積変化を算出する方法で、左房容積の評価に最も適していると思われるが、動物実験でしか用いることができず、人体において左房容積を非侵襲的に評価する方法は確立されていない。

## 2. 従来の非侵襲的左房容積評価

Yabekら<sup>3)</sup>、Tomaら<sup>4)</sup>は、Mモード心エコー法で計測した左房径から左房容積を算出する近似式を導いた。しかしながら、Mモード法ではひとつの断面を計測しているに過ぎず、左房全体の圧・容積関係の解析に適当とは言いがたい。Stefanadisら<sup>5)</sup>、acoustic quantification法を用いて左房圧・面積関係を検討しているが、左房の境界面を正確に自動追跡することには問題があった。一方、Triposkiadisら<sup>6)</sup>はsingle plane area-length法を用いて左房容積を計算することにより左房機能を検討しているが、過去になされた左房容積の非侵襲的解析の中では最も詳細で、信頼しうと思われる。しかしながら、彼らは収縮末期、心房収縮直前および拡張末期の

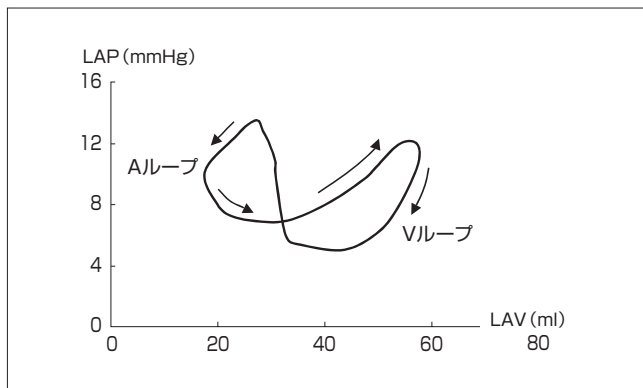


図1：正常洞調律の左房圧・容積曲線

ポンプ機能を表すAループと、肺静脈から左房への血液流入によるVループから構成される。Aループの面積は心房の仕事量を表わし、Vループはリザーバー機能を反映している。また、AループからVループにかけての上行脚の傾きは心房のコンプライアンスを表わす。

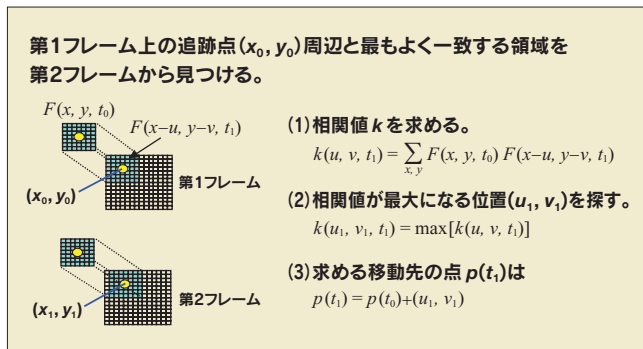


図2：ブロックマッチング法の原理

追跡したい心筋部位を含む小さな領域を切り出し、その領域に最も近い心筋輝度の分布パターンを持つ領域を次のフレームから探し出すという処理を、相関演算を用いて繰り返し行う。

3つの時相における左房容積を計算し、それらから導かれる容積変化を用いて左房機能を評価している。すなわち、連続する左房容積変化を分析したものではない。Area-length法で1フレームごとにコマ送りして計算した左房容積を繋ぎ合わせることで、曲線を構築することは可能であるが、非常に煩雑であり、逆に少ないフレームレートでは信頼性に乏しい。

## 3. 2Dティッシュ・トラッキング法の応用

近年開発された2Dティッシュ・トラッキング(2DTT)法では、断層心エコー法でブロックマッチング手法を用いることにより、速度情報に依存することなく組織を自動追跡することができる。本法は、追跡したい心筋部位を含む小さな領域を切り出し、その領域に最も近い心筋輝度の分布パターンを持つ領域を次のフレームから探し出すという処理を、相関演算を用いて繰り返し行うという方法である<sup>7)</sup>(図2)。この方法を応用して、ある時相における左房壁をトレースし、その後の左房境界を追跡してフレームごとの容積を計算すれば、一心周期における左房容積曲線を自動構築することが可能と考えられた。

## 4. 左房容積自動トラッキング法

そこでわれわれは、ブロックマッチング法を応用したadaptive density gradient method(ADG法)を用いることにより、左房容積自動トラッキング法(left atrial volume tracking method: LAVT法)を開発した。ADG法では走査線ビーム上にある画素のみを追跡処理し、ビーム上に無い画素を追跡しないため、処理する画素数を減らすことができ、結果的に短い時間で追跡できる。このため、従来のブロックマッチング法と比べて、高速、高精度かつ高フレームレートであるという特徴がある(図3)。われわれが開発したプログラムでは、フレームレート60~120fpsで記録が行われるため、通常の心拍数では一心拍中に60~80フレームが含まれることになる。

### 4.1 数値ファントムによる検証

われわれは、まず左房の形状を模擬した半楕円体の数値ファントム上で内膜面に設定した複数の点をADG法を用いて

手法	ADG法	BM法
高速	++	-
高精度	+	+
高フレームレート	++	+
ノイズに強い	+	+

図3：Adaptive density gradient method(ADG法)の特徴  
ADG法は走査線ビーム上にある画素のみを追跡処理するため、ブロックマッチング法と比べて、高速、高精度かつ高フレームレートである。

追跡し、Simpson法によって計算した容積変化と、理論上の半楕円体の容積変化を比較した(図4)。その結果、右図に示すように実測した半楕円体の容積が理論値とよく一致したことから、ADG法によるスペックルの追跡が信頼しうるものであることを確認した。

#### 4.2 左房容積曲線の自動構築

実際の左房容積曲線の自動構築は、プロトタイプ Viewer を用いて off-line 解析で行った。まず、心尖部四腔断面の動画を一心拍記録し、心電図 Q 波の時相で左室側の境界を僧帽弁輪と規定して、左房内膜面を手動的にトレースした(図5左)。次に、解析をスタートすると、各フレームにおける左房容積が single-plane Simpson 法で自動的に計算され、図5右に示すような左房容積曲線が完成する。Bi-plane Simpson 法を用いることも可能であり、解析に要する時間は数十秒である。

#### 4.3 左房容積曲線から得られる指標

得られた左房容積曲線から、図6に示すように心室収縮末期の最大左房容積(LAV<sub>max</sub>)、心房収縮直前の左房容積(LAV<sub>p</sub>)および心房収縮後の最小左房容積(LAV<sub>min</sub>)を計測し、

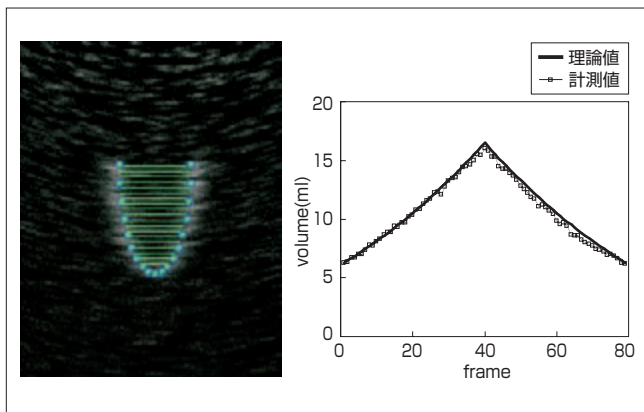


図4：ADG法の検証

左房の形状を模擬した半楕円体の数値ファントム上で、内膜面に設定した複数の点をADG法を用いて追跡したところ、実測した半楕円体の容積変化と、理論上の容積変化がよく一致した。

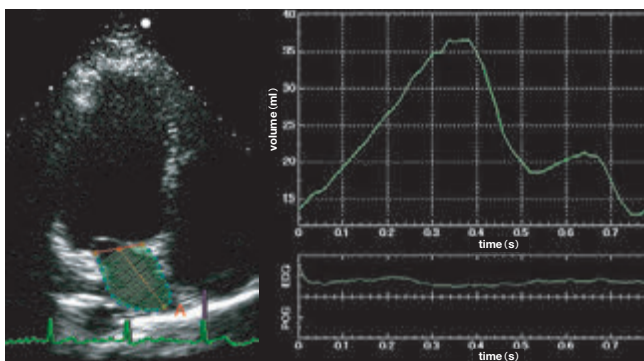


図5：LAVT法による左房容積曲線の構築

心電図 Q 波の時相で、左房内膜面を手動的にトレースして解析をスタートすると(左図)、各フレームにおける左房容積が single plane Simpson 法で自動的に計算され、右図に示すような左房容積曲線が完成する。

さらにそれぞれの容積を体表面積で除した値を左房容積係数(LAVI)として算出した。能動的左房駆出量(LAV<sub>act</sub>)はLAV<sub>p</sub>とLAV<sub>min</sub>の差、受動的左房駆出量(LAV<sub>pass</sub>)はLAV<sub>max</sub>とLAV<sub>p</sub>の差、総左房駆出量(LAV<sub>total</sub>)はLAV<sub>max</sub>とLAV<sub>min</sub>の差として算出した。能動的左房駆出率(%LAV<sub>act</sub>)はLAV<sub>p</sub>とLAV<sub>act</sub>の比、受動的左房駆出率(%LAV<sub>pass</sub>)はLAV<sub>max</sub>とLAV<sub>pass</sub>の比、総左房駆出率(%LAV<sub>total</sub>)はLAV<sub>max</sub>とLAV<sub>total</sub>の比として算出した。これらを解析することにより、心室拡張早期および心房収縮期の受動的および能動的左房機能を評価できる。

#### 4.4 左房容積曲線の一次微分曲線

次に、左房容積曲線上の情報をエクセルファイル形式で保存し、一次微分した曲線を再構築して、収縮期左房容積増加速度(dV/dt<sub>s</sub>)、拡張早期左房容積減少速度(dV/dt<sub>E</sub>)および心

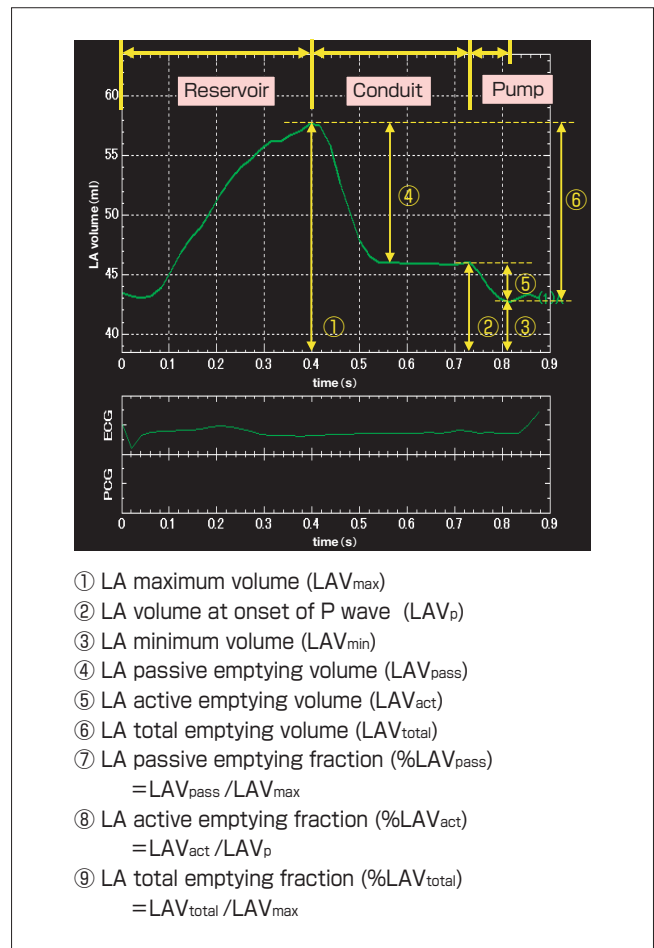


図6：左房容積曲線から得られる指標

左房容積曲線から心室収縮末期の最大左房容積(LA maximum volume : LAV<sub>max</sub>)、心房収縮直前の左房容積(LA volume at onset of P wave : LAV<sub>p</sub>)および心房収縮後の最小左房容積(LA minimum volume : LAV<sub>min</sub>)を計測することで、下に示すような各指標が得られる。LA passive emptying volume (LAV<sub>pass</sub>)=受動的左房駆出量、LA active emptying volume (LAV<sub>act</sub>)=能動的左房駆出量、LA total emptying volume (LAV<sub>total</sub>)=総左房駆出量、LA passive emptying fraction (%LAV<sub>pass</sub>)=受動的左房駆出率、LA active emptying fraction (%LAV<sub>act</sub>)=能動的左房駆出率、LA total emptying fraction (%LAV<sub>total</sub>)=総左房駆出率。

房収縮期左房容積減少速度( $dV/dt_A$ )を求めた(図7)。これらの数値は、従来、得ることが不可能であった数値であり、 $dV/dt_S$ は左房のコンプライアンスを、 $dV/dt_A$ は左房のポンプ機能を表すと考えられ、 $dV/dt_S$ が大きいほど左房のリザーバー機能が良い、 $dV/dt_A$ が大きいほど左房のポンプ機能が良いと判断することができる。

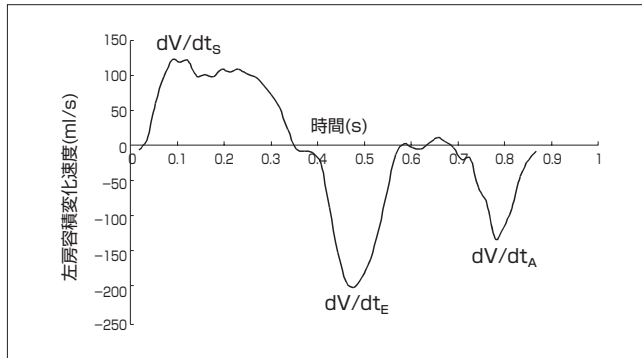


図7：左房容積曲線の一次微分曲線

左房容積曲線の一次微分から、収縮期左房容積増加速度( $dV/dt_S$ )、拡張早期左房容積減少速度( $dV/dt_E$ )および心房収縮期左房容積減少速度( $dV/dt_A$ )が得られる。

## 5. LAVT法の臨床応用

### 5.1 健常例の左房容積

前述のように、人体における左房容積の正常値を報告したものは数少なく、われわれの得た値を統計学的に確かめたいと証明する根拠を得ることはできない。比較的信頼しうる報告はTriposkiadisら<sup>6)8)</sup>の報告であるが、彼らは1991年に健常例の左房容積の実測値を、1999年には体表面積で補正した左房容積係数の値を報告している。それらの値とわれわれが今回計測した結果を比較すると、表1と表2および表3と表4に示すように、各時相における左房容積も、左房容積係数も両者の間でほぼ一致した。つまり、最初に設定した左房内膜面をLAVT法で自動追跡するだけで、その後の時相における左房容積を、ほぼ信頼しうる値として容易に得ることができた。これを見ると、健常例では $LAVI_{max}$ が22.8mlで、このうち拡張早期に7.9ml、心房収縮期に4.6mlが駆出され、全体で12.5mlすなわち最大左房容積の約55%が駆出されていることがわかる。次に、左房容積曲線の一次微分曲線を解析することで、個体間の数値のばらつきが大きいものの、表5に示すような健常例の $dV/dt_S$ 、 $dV/dt_E$ および $dV/dt_A$ が得られた。

表1：1991年のTriposkiadisらの報告による健常例の左房容積指標

	$LAV_{max}$ (ml)	$LAV_p$ (ml)	$LAV_{min}$ (ml)	$LAV_{act}$ (ml)	$LAV_{pass}$ (ml)	$LAV_{total}$ (ml)	% $LAV_{act}$ (%)	% $LAV_{pass}$ (%)	% $LAV_{total}$ (%)
Range	27~66	11~45	6~30	5~20	10~22	20~36	NA	NA	NA
Mean ± SD	46 ± 12	29 ± 12	18 ± 7	11 ± 5	17 ± 4	28 ± 5	38 ± 7	39 ± 10	62 ± 7

$LAV_{max}$  = 最大左房容積、 $LAV_p$  = 心房収縮直前の左房容積、 $LAV_{min}$  = 最小左房容積、 $LAV_{act}$  = 能動的左房駆出量、 $LAV_{pass}$  = 受動的左房駆出量、 $LAV_{total}$  = 総左房駆出量、% $LAV_{act}$  = 能動的左房駆出率、% $LAV_{pass}$  = 受動的左房駆出率、% $LAV_{total}$  = 総左房駆出率

表2：LAVT法で計測した健常例の左房容積指標

	$LAV_{max}$ (ml)	$LAV_p$ (ml)	$LAV_{min}$ (ml)	$LAV_{act}$ (ml)	$LAV_{pass}$ (ml)	$LAV_{total}$ (ml)	% $LAV_{act}$ (%)	% $LAV_{pass}$ (%)	% $LAV_{total}$ (%)
Range	18.9~76.8	10.0~48.1	7.0~36.9	2.8~16.1	5.7~28.7	12.1~43.1	18~65	20~38	44~76
Mean ± SD	41.1 ± 18.5	27.0 ± 12.3	18.6 ± 9.5	8.3 ± 4.2	14.2 ± 6.8	22.5 ± 10.0	32 ± 11	29 ± 6	56 ± 9

略語は表1と同じ

表3：1999年のTriposkiadisらの報告による健常例の左房容積係数

	$LAVI_{max}$ (ml/m <sup>2</sup> )	$LAVI_p$ (ml/m <sup>2</sup> )	$LAVI_{min}$ (ml/m <sup>2</sup> )	$LAVI_{act}$ (ml/m <sup>2</sup> )	$LAVI_{pass}$ (ml/m <sup>2</sup> )	$LAVI_{total}$ (ml/m <sup>2</sup> )
Mean ± SD	26.9 ± 6.2	16.7 ± 3.7	10.7 ± 2.5	6.1 ± 2.1	NA	NA

$LAVI_{max}$  = 最大左房容積係数、 $LAVI_p$  = 心房収縮直前の左房容積係数、 $LAVI_{min}$  = 最小左房容積係数、 $LAVI_{act}$  = 能動的左房駆出量係数、 $LAVI_{pass}$  = 受動的左房駆出量係数、 $LAVI_{total}$  = 総左房駆出量係数

表4：LAVT法で計測した健常例の左房容積係数

	$LAVI_{max}$ (ml/m <sup>2</sup> )	$LAVI_p$ (ml/m <sup>2</sup> )	$LAVI_{min}$ (ml/m <sup>2</sup> )	$LAVI_{act}$ (ml/m <sup>2</sup> )	$LAVI_{pass}$ (ml/m <sup>2</sup> )	$LAVI_{total}$ (ml/m <sup>2</sup> )
Mean ± SD	22.8 ± 9.6	15.0 ± 6.5	10.3 ± 5.0	4.6 ± 2.3	7.9 ± 3.5	12.5 ± 5.2

略語は表3と同じ

表5：健常例の左房容積曲線の一次微分から得られる指標

	$dV/dt_S$ (ml/s)	$dV/dt_E$ (ml/s)	$dV/dt_A$ (ml/s)
Range	43~81	84~294	29~228
Mean ± SD	103 ± 47	172 ± 73	121 ± 59

$dV/dt_S$  = 収縮期左房容積増加速度、 $dV/dt_E$  = 拡張早期左房容積減少速度、 $dV/dt_A$  = 心房収縮期左房容積減少速度

## 5.2 健常例の左房容積の規定因子

それぞれの指標の相互関係を検討した結果を示す。LAVI<sub>max</sub>はLAVI<sub>pass</sub>、LAVI<sub>act</sub>およびLAVI<sub>total</sub>と有意な正相関を示した(図8)。すなわち、最大左房容積が各時相における駆出量を規定していると考えられた。LAVI<sub>max</sub>はLAVI<sub>p</sub>と有意な強い正相関を示し、LAVI<sub>p</sub>はLAVI<sub>act</sub>と有意な正相関を示した(図9上段)。つまり、心房収縮直前の左房容積が能動的左房ポンプ機能に前負荷として作用していると考えられた。駆出率でみると%LAVI<sub>act</sub>は%LAVI<sub>total</sub>と有意な正相関を示したが、%LAVI<sub>pass</sub>は%LAVI<sub>total</sub>との間に相関を示さなかった(図9下段)。このことから、左房の総駆出率のなかで心房収縮期の左房収縮が重要な役割を果たしていると考えられた。

次に、dV/dt-EはLAVI<sub>pass</sub>と有意な強い正相関を示し、%LAVI<sub>pass</sub>との間には弱いものの有意な正相関を示した(図10上段)。同様に、dV/dt-AはLAVI<sub>act</sub>と有意な強い正相関を、%LAVI<sub>act</sub>と有意な弱い正相関を示した(図10下段)。すなわち、拡張早期も心房収縮期もそれぞれの左房容積減少

速度により左房駆出量および駆出率が規定されていることがわかる。

## 5.3 健常例の左房駆出の加齢による変化

LAVI<sub>act</sub>は年齢との間に有意な正相関を示したが、LAVI<sub>pass</sub>は相関を示さなかった(図11上段)。%LAVI<sub>act</sub>は年齢との間に有意な正相関を、%LAVI<sub>pass</sub>は有意な負相関を示した(図11下段)。このことから、加齢に伴って左房駆出が能動的左房収縮に依存するようになることがわかる。

これらの結果は当たり前のように予測されたことであるが、重要なのはこれらの事象を証明することが従来は容易にできなかったということである。LAVT法で左房容積曲線を自動的に構築することで、初めてこのような解析が可能になった。

## 5.4 健常例の前負荷増大に対する反応

下半身にショックパンツ様のものを装着し、90mmHgの陽圧負荷をかけることで前負荷を増大させることができる。前負荷増大により、健常例ではLAVI<sub>max</sub>、LAVI<sub>p</sub>およびLAV-

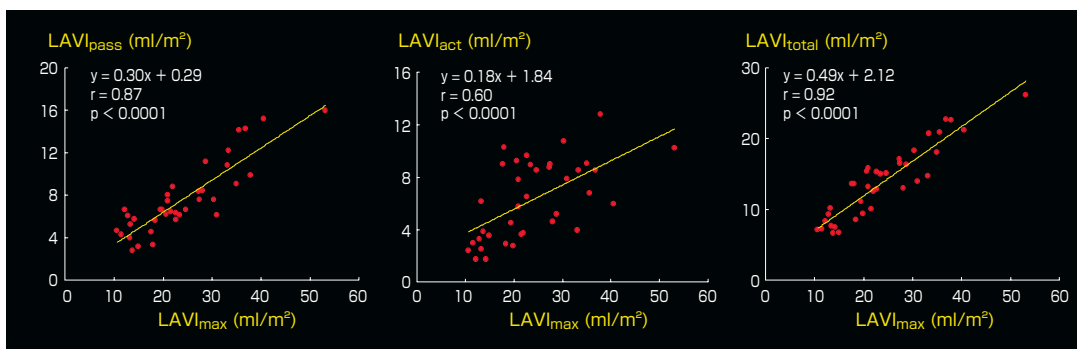


図8：健常例の左房容積の関係

LAVI<sub>max</sub>はLAVI<sub>pass</sub>、LAVI<sub>act</sub>およびLAVI<sub>total</sub>と有意な正相関を示した。

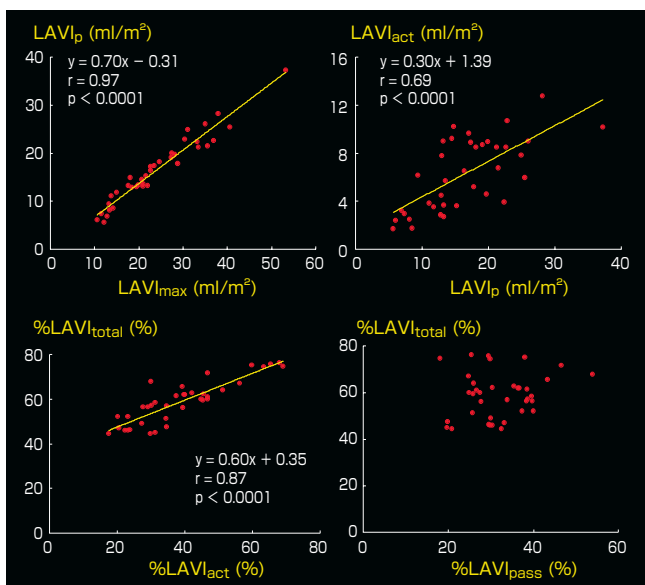


図9：健常例の左房駆出量および駆出率の規定因子

LAVI<sub>max</sub>はLAVI<sub>p</sub>と有意な強い正相関を示し、LAVI<sub>p</sub>はLAVI<sub>act</sub>と有意な正相関を示した(上段)。また、%LAVI<sub>act</sub>は%LAVI<sub>total</sub>と有意な正相関を示したが、%LAVI<sub>pass</sub>は%LAVI<sub>total</sub>との間に相関を示さなかった(下段)。

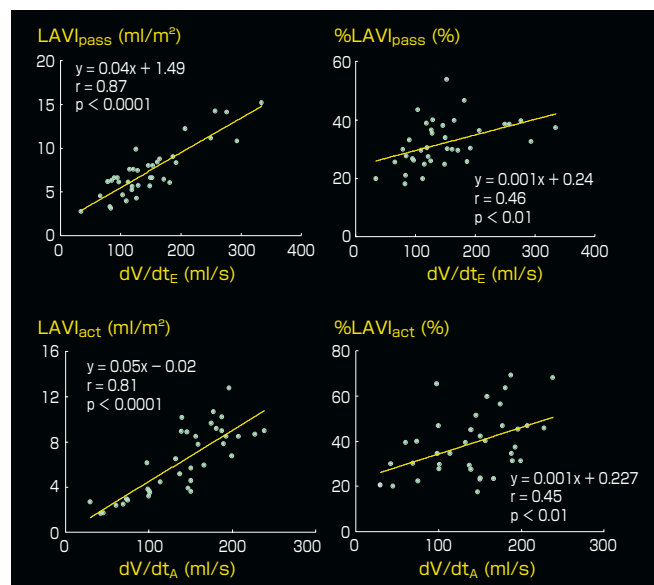


図10：左房容積変化率と左房駆出の関係

dV/dt-EはLAVI<sub>pass</sub>と有意な強い正相関を示し、%LAVI<sub>pass</sub>との間には弱いものの有意な正相関を示した(上段)。同様に、dV/dt-AはLAVI<sub>act</sub>と有意な強い正相関を、%LAVI<sub>act</sub>と有意な弱い正相関を示した(下段)。

$I_{min}$ のいずれも有意に増加した(図12)。また、 $LAVI_{pass}$ に変化を認めないものの、 $LAVI_{act}$ が増加することにより $LAVI_{total}$ は有意に増加した。つまり、健常例では前負荷に対してFrank-Starling機序が良好に動員され、特に能動的左房収縮の増加により、左房の前方駆出を増加させていることになる。

### 5.5 肥大心の前負荷増大に対する反応

高血圧性肥大心の一例に下半身陽圧負荷をかけると、僧帽弁口血流速波形の拡張早期波(E)および心房収縮期波(A)のいずれも増高した(図13上段)。本例では、最大左房容積は増加したが、能動的左房駆出量が増加することで、左房総駆出量が増加し、最小左房容積はコントロール時と同じ値に戻っている(図13下段)。すなわち、Frank-Starling機序により前方駆出が増加し、左房に血液の積み残しがなくなることになる。

一方、肥大の著しい非対称性中隔肥大型心筋症の一例に下半身陽圧負荷をかけると、僧帽弁口血流速波形のE波が増高し、A波は減高した(図14上段)。本例でも最大左房容積

は増加したが、受動的および能動的左房駆出量のいずれも減少したために、最小左房容積がコントロール時と比較して約30ml増加している(図14下段)。つまり、本例では左房内に血液の積み残しが生じて左房圧が上昇し、僧帽弁口血流速波形は偽正常化したと考えられる。

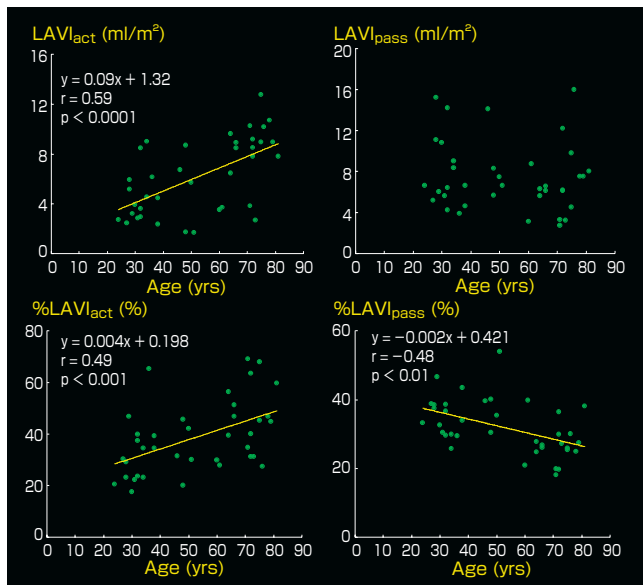


図11：健常例の左房駆出の加齢による変化

$LAVI_{act}$ は年齢との間に有意な正相関を示したが、 $LAVI_{pass}$ は相関を示さなかった(上段)。 $\%LAVI_{act}$ は年齢との間に有意な正相関を、 $\%LAVI_{pass}$ は有意な負相関を示した(下段)。

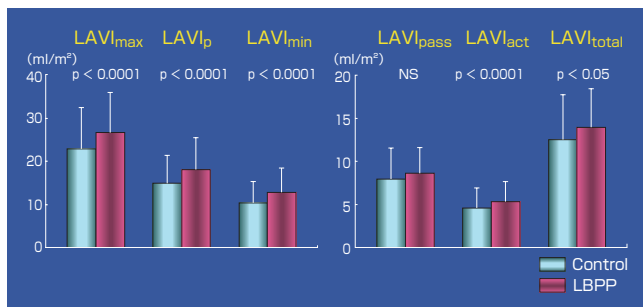


図12：健常例の前負荷増大に対する反応

前負荷増大により、健常では $LAVI_{max}$ 、 $LAVI_p$ および $LAVI_{min}$ のいずれも有意に増加した。また、 $LAVI_{pass}$ に変化を認めないものの、 $LAVI_{act}$ が増加することにより $LAVI_{total}$ は有意に増加した。

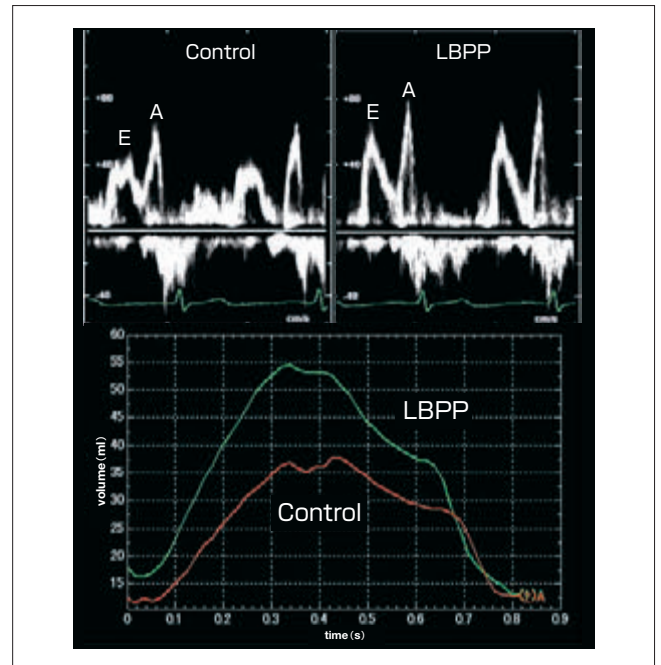


図13：高血圧性肥大心の前負荷増大に対する反応

本例では、前負荷増大により、僧帽弁口血流速波形の拡張早期波(E)および心房収縮期波(A)のいずれも増高した(上段)。この時、最大左房容積は増加したが、最小左房容積はコントロール時と同じ値に戻っている(下段)。

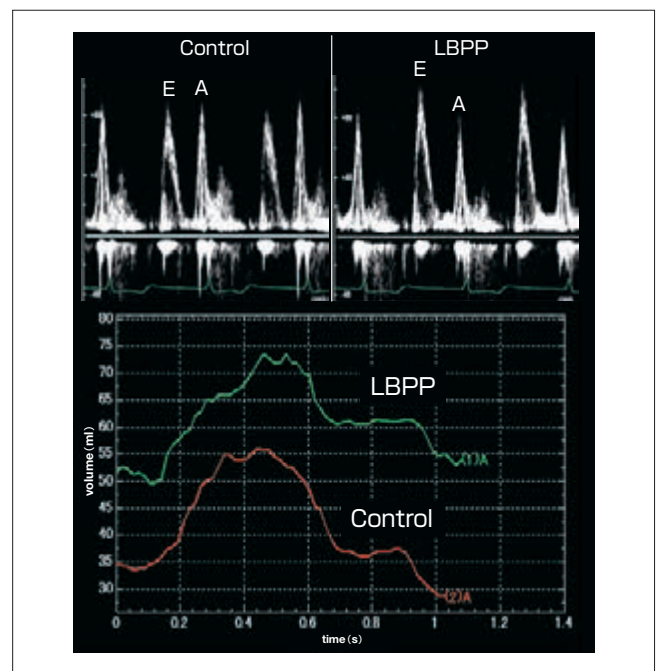


図14：肥大型心筋症の前負荷増大に対する反応

本例では、前負荷増大により僧帽弁口血流速波形のE波が増高し、A波は減高した(上段)。本例でも最大左房容積は増加したが、最小左房容積がコントロール時と比較して約30ml増加している(下段)。

## 5.6 僧帽弁口血流速波形の偽正常化のメカニズム

左室拡張能の評価には、僧帽弁口血流速波形を分析する方法が一般的に用いられてきた<sup>9)</sup>(図15)。しかしながら、本波形は前負荷、後負荷、心拍数、左房および左室コンプライアンスなどの影響を受けることが問題であった<sup>10)</sup>。本来、左室拡張障害を有する例の僧帽弁口血流速波形が、偽正常化して左心不全を発症するメカニズムとして、左室拡張能のさらなる悪化という説明がなされ、誤解を生じている。しかしながら、E波の増高には左房圧の上昇が、A波の減高には左室拡張末期圧の上昇が必須である。偽正常化した僧帽弁口血流速波形はもはや左室拡張能のみをみているのではなく、血行動態の変化を反映したもので、左房機能の良否にも依存していることを忘れてはならない。

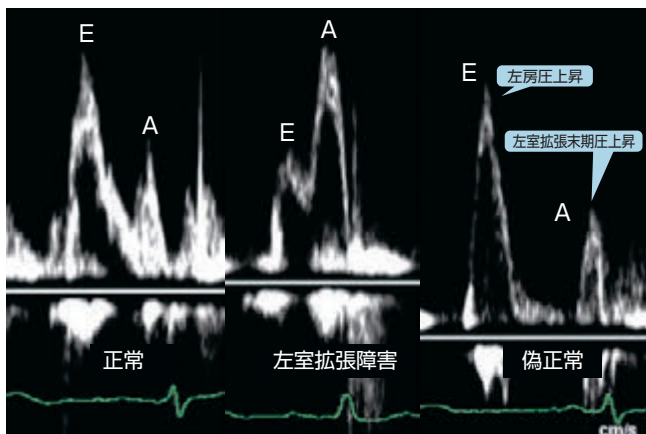


図15：僧帽弁口血流速波形の偽正常化のメカニズム

偽正常化例のE波の増高には左房圧の上昇が、A波の減高には左室拡張末期圧の上昇が必須であり、偽正常化した僧帽弁口血流速波形はもはや左室拡張能のみをみているのではない。

## 6. おわりに

左房を回転楕円体と仮定してSimpson法を適用することは本来望ましいとは言えない。しかしながら、非侵襲的に左房容積を計測する手法が確立されていない現状では、本法がもっとも簡便で有用であると考えざるを得ない。今回開発したLAVT法は、ADG手法を用いて左房内膜面を追跡することで、左房容積曲線を自動構築できる点が優れている。これによって、左房容積曲線の一次微分曲線の評価が可能になったことも意義が大きい。

今後は、LAVT法を用いて各種心疾患の左房機能の評価することにより、左室拡張動態における左房機能の重要性を明らかにしうると思われる。また、左房圧との同時記録が可能になれば、左房圧・容積曲線の構築ができると期待される。

## 参考文献

- 1) 田畑智継：心機能を識る. 心房機能はどのように評価されるか. (松崎益徳, 本郷 実編) (p280-p290) 新・心臓病診療プラクティス3, 文光堂, 東京, 2004.
- 2) Hoit BD, et al : Determination of left atrial volume using sonomicrometry : a cast validation study. *Am J Physiol*, 264 (Heart Circ Physiol, 33), H1011-H1016, 1993.
- 3) Yabek SM, et al : Echocardiographic determination of left atrial volumes in children with congenital heart disease. *Circulation*, 53, 268-272, 1976.
- 4) Toma Y, et al : Determination of atrial size by esophageal echocardiography. *Am J Cardiol*, 52, 878-880, 1983.
- 5) Stefanadis C, et al : Assessment of left atrial pressure-area relation in humans by means of retrograde left atrial catheterization and echocardiographic automatic boundary detection : effects of dobutamine. *J Am Coll Cardiol*, 31, 426-436, 1998.
- 6) Triposkiadis F, et al : Left atrial volumes and function in normal subjects. Active and passive emptying. *Am J Noninvas Cardiol*, 5, 1-6, 1991.
- 7) Toyoda T, et al : Assessment of regional myocardial strain by a novel automated tracking system from digital image files. *J Am Soc Echocardiogr*, 17, 1234-1238, 2004.
- 8) Triposkiadis F, et al : Left atrial systolic function is depressed in idiopathic and preserved in ischemic dilated cardiomyopathy. *Eur J Clin Invest*, 29, 905-912, 1999.
- 9) Appleton CP, et al : Relation of transmitral flow velocity patterns to left ventricular diastolic function : new insights from a combined hemodynamic and Doppler echocardiographic study. *J Am Coll Cardiol*, 12, 426-440, 1988.
- 10) Thomas JD, et al : Echocardiographic-Doppler evaluation of left ventricular diastolic function : physics and physiology. *Circulation*, 84, 977-990, 1991.