

心エコー図法による Emax と駆出率, VCF, 左室機能曲線の比較検討

Comparative study of Emax, ejection fraction, VCF and left ventricular function curve by echocardiography

藤井 諄一
久保木正夫
渡辺 熙
加藤 和三

Junichi FUJII
Masao KUBOKI
Hiroshi WATANABE
Kazuzo KATO

Summary

Recent experimental studies have confirmed the linearity of the end-systolic pressure-volume relation in the intact heart and have demonstrated the sensitivity of the slope of this relation (Emax) to inotropic interventions.

In the present study, end-systolic pressure-volume lines were constructed by plotting dirotic brachial artery pressure (dirotic BAP) against the left ventricular end-systolic volume (ESV) measured by echocardiography (UCG) before and after sublingual administration of ISDN (5 mg) in twenty-two patients with aortic regurgitation (AR). The slope of the dirotic BAP-ESV line (Emax) was compared with other more widely utilized approaches to assess LV contractility such as EF, VCF obtained by UCG and LV function curve which was constructed by plotting the left ventricular stroke work (LVSW) against the left ventricular end-diastolic volume (EDV) before and after ISDN administration.

(1) Emax correlated well with EF and VCF, with correlation coefficients of 0.79 ($p < 0.001$) and 0.75 ($p < 0.001$), respectively. LV function curves of patients with decreased Emax shifted to the right and lower from those with normal Emax. These results indicate that Emax reflects the left ventricular contractile state very well. Dirotic BAP-ESV ratio also correlated well with EF and VCF ($r = 0.78$ and 0.76).

(2) X-intercept (Vd) of dirotic BAP-ESV line correlated with ESV, EF and VCF, with correlation coefficients of 0.86 ($p < 0.001$), -0.57 ($p < 0.001$) and -0.53 ($p < 0.001$), respectively.

(3) ESV correlated well with EF, VCF and Emax, with correlation coefficients of -0.83 ($p < 0.001$), -0.74 ($p < 0.001$) and -0.75 ($p < 0.001$), respectively. ESV alone seemed to be sensitive to changes in inotropic states.

Key words

Emax End-systolic LV pressure-volume relation EF VCF LV function curve

心臓血管研究所
東京都港区六本木 7-3-10 (〒106)

Cardiovascular Institute, Roppongi 7-3-10, Minato-ku, Tokyo 106

Presented at the 18th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, April 3-4, 1979
Received for publication January 26, 1980

はじめに

Suga らによる正常イヌ左心室の圧・容積関係の研究から, 収縮終期の左室圧・容積関係を示す直線の勾配, すなわち E_{max} が, preload, afterload の影響を受けることなく左室の収縮性を表すことが明らかにされた¹⁻⁶⁾. しかし, 人間の, ことに病的心における E_{max} の意義とその有用性についてはまだ検討が少なく, 不明な点の多いのが現状である⁸⁻¹⁰⁾.

そこで今回, 種々の重症度の大動脈弁閉鎖不全例で, ISDN 5 mg 舌下投与前後の心エコー図を, 直接上腕動脈圧と同時記録し, E_{max} を近似的に求めて, 従来, 臨床的に左室機能を表す良い指標であることが認められている駆出分画 (EF), 左室収縮速度 (V_{cr}), さらに左室機能曲線と比較検討した.

対象と方法

対象は NYHA I~III 度の functional capacity を有する大動脈弁閉鎖不全例 22 例で, 全例, 洞調律例である.

心エコー図は Aloka 製 SSD110 および 800 型により, Honeywell 製の strip-chart recorder に上腕動脈圧および心音図と同時記録した. Fig. 1 左のごとく, 心電図 R 波の開始点で拡張終期左室径 (D_d) を, II 音大動脈弁成分の時点で収縮終期左室径 (D_s) を計測し, Teichholz の補正式 ($V = \frac{7D^3}{2.4+D}$) により左室拡張終期容積 (EDV) および収縮終期容積 (ESV) を, さらに両者の差より駆出量 (SV) を算定した.

直接上腕動脈圧波 (BAP) の dicotic notch 部の圧 (dicotic BAP) は大動脈根部での dicotic pressure に近いことから (後述), それを左室収縮

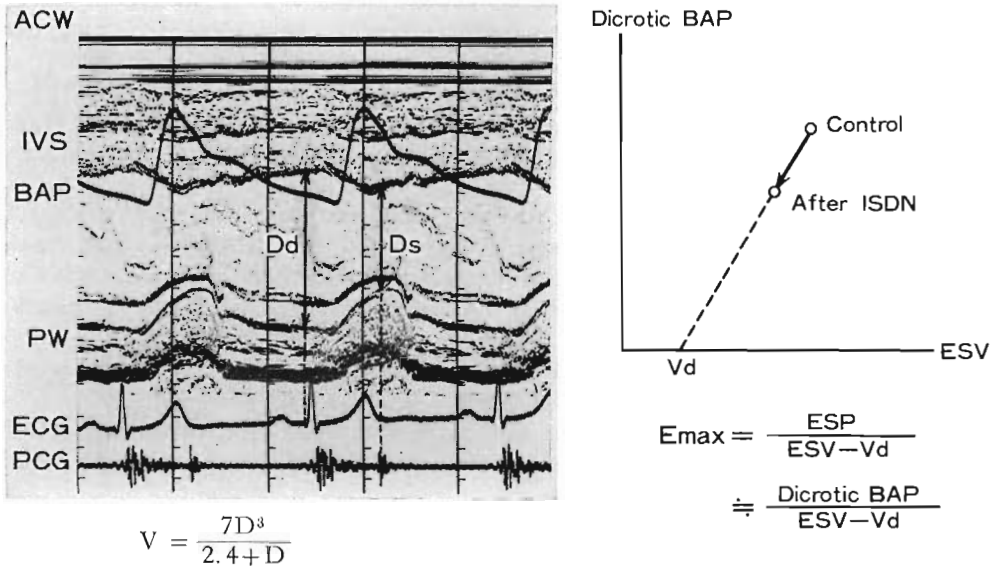


Fig. 1. Measurement of E_{max} by analyzing the simultaneous recording of the echocardiogram (UCG) and direct BAP.

LV volume was calculated by using Teichholz's formula [$V = 7D^3 / (2.4 + D)$].

ACW=anterior chest wall; IVS=interventricular septum; PW=LV posterior wall; BAP=direct brachial artery pressure; ECG=electrocardiogram; PCG=phonocardiogram; D_d =LV dimension at end-diastole; D_s =LV dimension at end-systole; ESV=LV end-systolic volume; E_{max} =the slope of dicotic BAP-ESV relation; V_d =X-intercept of dicotic BAP-ESV relation

終期圧の近似値とし、ISDN 5 mg 舌下投与前後の dicrotic BAP と心エコー図より求めた ESV との関係から、Fig. 1 右のごとく近似的に Emax を求めた。また平均上腕動脈圧と心エコー図による SV との積から左室仕事量 (SW) を求め、EDV と SW の関係より左室機能曲線を、さらに SV/EDV より EF を、また (Dd-Ds)/ET·Dd より Vcf を求め、Emax と比較検討した。

結果と考案

1. Emax と EF および Vcf

Fig. 2 左は Emax と EF の、また Fig. 2 右は Emax と Vcf の関係を直線相関で近似したものである。Emax と EF は $r=0.79$ ($p<0.001$) の良好な正の相関を、また Emax と Vcf も同じく $r=0.75$ ($p<0.001$) の良好な正の相関を示した。なお dicrotic BAP/ESV 値と EF および Vcf もおのおの $r=0.78$ ($p<0.001$) および $r=0.76$ ($p<0.001$) の良好な相関関係を示した。

また Grossman ら⁸⁾は健康成人の Emax は 2.0 以上であったと報告しているが、今回の対象例のうち Emax が 2.0 以上であった 16 例全例が EF 50% 以上を、また 16 例中 13 例が Vcf 0.80 以上

であった。一方、Emax 2.0 以下の 6 例中 5 例が EF 50% 以下を、また 6 例中 4 例が Vcf 0.80 以下を示した。

2. Emax と左室機能曲線

Fig. 3 は ISDN 5 mg 舌下投与前後の LVEDV と SW との関係より求めた左室機能曲線を示す。Open circle は Emax 2.0 以上の症例を、closed circle は Emax 2.0 以下の症例を示すが、Emax 2.0 以下で左室収縮性の低下が示唆される症例の左室機能曲線 (closed circle) は Emax 2.0 以上の症例のそれ (open circle) に比して右下方に位置する傾向がみられた。

Fig. 4 左は NYHA I 度, II 度, III 度の functional capacity を有する I, II, III 群の左室機能曲線を、また Fig. 4 右は各群の平均的な収縮終期左室圧、容積関係を示す。各群の EF の平均値は I 群 62%, II 群 59%, III 群 45%, また Vcf の平均値は I 群 1.01, II 群 1.0, III 群 0.73 とともに functional capacity の低下に伴い減少していた。

Fig. 4 左のごとく functional capacity の低下とともに左室機能曲線の右下方移動と勾配の減少傾向を、また Fig. 4 右のごとく functional capacity

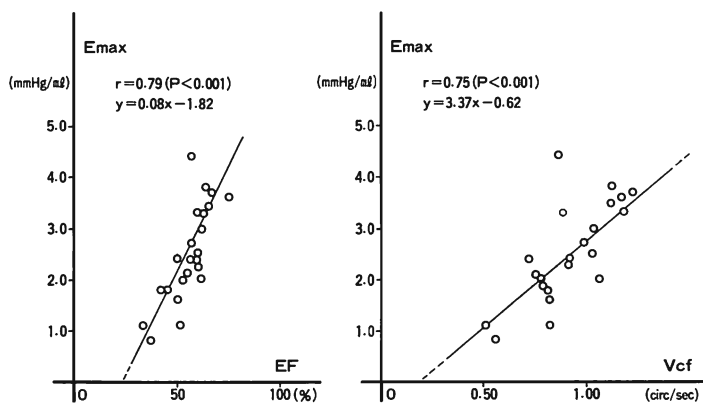


Fig. 2. Correlation between Emax and EF (left), between Emax and Vcf (right) in 22 patients with aortic regurgitation.

Emax well correlates with EF and Vcf, with correlation coefficients of 0.79 ($p<0.001$) and 0.75 ($p<0.001$), respectively.

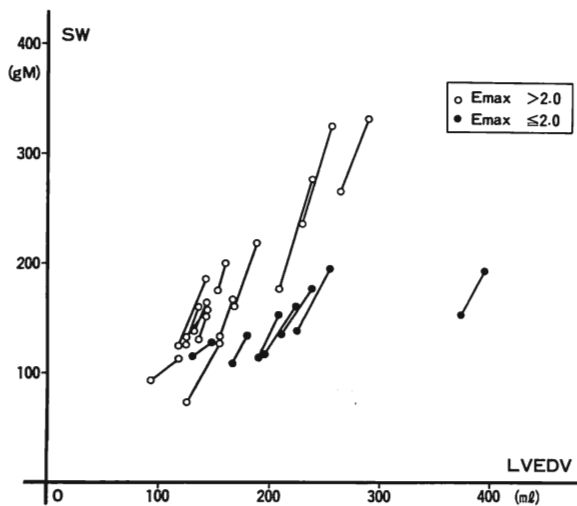


Fig. 3. LV function curves of the patients with normal and decreased Emax.

LV function curves of the patients with decreased Emax (closed circle) appear to shift to the right and lower from those with normal Emax (open circle).

の低下とともに収縮終期の左室圧・容積関係を示す直線の勾配, すなわち Emax の減少傾向がみられた。なお直線の x 切片すなわち Vd は func-

tional capacity の低下に伴い増加傾向を示した。

3. Vd について

Suga ら^{1-3,5)}によるイヌの実験では, Vd はほぼ一定とされているが, 人間の病的心における Vd の意義については明らかでない。

Fig. 4 右に示すごとく, functional capacity が低下し, Emax が減少し, ESV が增大するにつれて Vd は増加する傾向がみられた。

そこで Vd と EF および VCF の関係を試みると, **Fig. 5** 左右のごとく, 概して EF, VCF 低下例では Vd の増加傾向を見たが, 両者の相関はおおの $r = -0.57$ ($p < 0.001$), $r = -0.53$ ($p < 0.001$) と疎であった。

また Vd と ESV との関係を試みると, $r = 0.86$ ($p < 0.001$) の良好な正相関を示した。

4. ESV について

Mitchell ら¹³⁾の実験によると, ESV は preload が変わってもほとんど不変か, わずかな変化を示すのみであるが, inotropism の変動とともに有意に変化するという。

そこで ESV と EF および VCF の関係を試みた。まず ESV と EF は **Fig. 6** 左のごとく

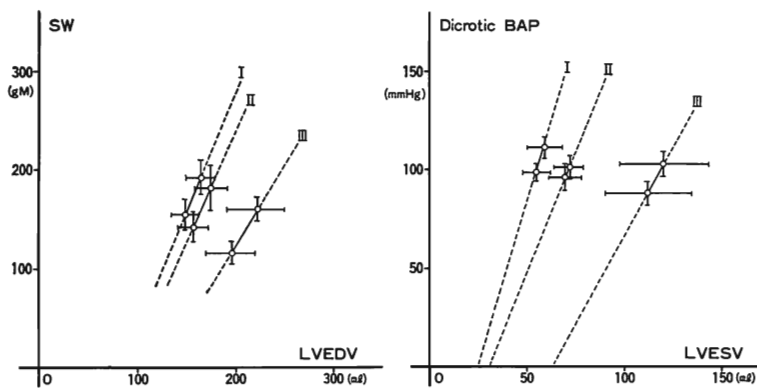


Fig. 4. LV function curves (left) and dicotic BAP-ESV lines (right) in patients with various functional capacities of NYHA I-III.

LV function curves of patients with functional capacity of NYHA III situate rightwards and lower from those with NYHA I and II as shown in the left figure. The slope (Emax) of dicotic BAP-ESV line is smaller in patients with NYHA III than in patients with NYHA I and II as shown in the right figure. X-intercept (Vd) of dicotic BAP-ESV line seems to be larger in patients with NYHA III than in patients with NYHA I and II.

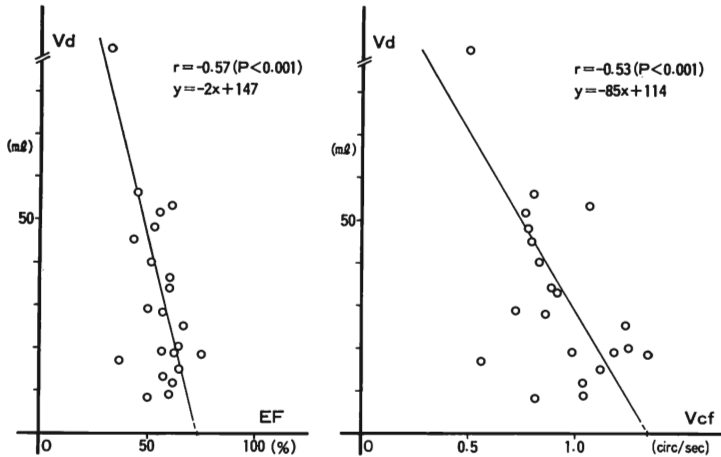


Fig. 5. Correlations between Vd and EF (left), between Vd and VCF (right).
 Vd correlates with EF and VCF, with correlation coefficients of -0.57 ($p < 0.001$) and -0.53 ($p < 0.001$), respectively.

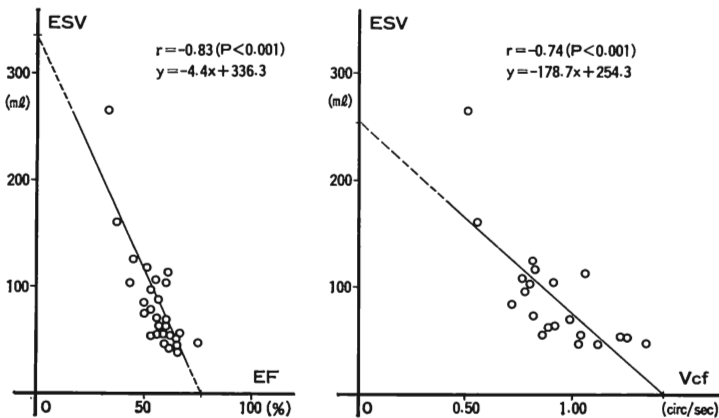


Fig. 6. Correlations between ESV and EF (left), between ESV and VCF (right).
 ESV correlates well with EF and VCF, with correlation coefficients of -0.83 ($p < 0.001$) and -0.74 ($p < 0.001$), respectively.

$r = -0.83$ ($p < 0.001$) の密な負の相関を、また **Fig. 6** 右のごとく ESV と VCF は $r = -0.74$ ($p < 0.001$) の良好な負の相関を認めた。

さらに ESV と Emax の関係のみてみると、**Fig. 7** のごとく両者は $r = -0.75$ ($p < 0.001$) の良好な負の相関を示した。

考 案

Suga ら^{1-3,5)}は正常イヌ左心室の圧容積関係を切り出し、交叉灌流心で研究し、一定の収縮性の条件下では負荷に関係なく、収縮終期の圧容積点はほぼ一直線上に存在することを示した。この収縮終期圧容積関係直線は、原点より数 ml 右側の

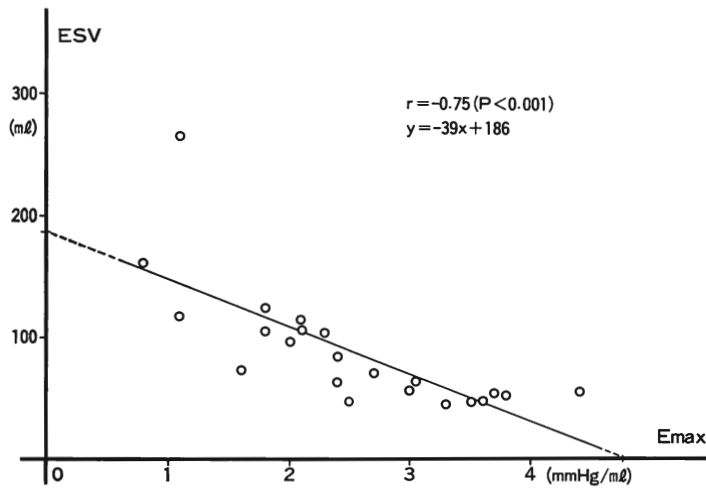


Fig. 7. Correlation between ESV and Emax.

ESV correlates well with Emax, with a correlation coefficient of -0.75 ($p < 0.001$).

x 切片 (Vd) を示し, 右上がりの勾配を有する. そしてカテコラミンによって収縮性を亢進させると, 収縮終期圧容積関係直線は左上方に移動し勾配が急になることから, この直線の勾配 (Emax) およびその変化から左心室の収縮性およびその変化の程度が評価できることを示した. しかし, 人間の病的心における Emax の意義と有用性についてはまだ検討が少なく, 不明な点の多いのが現状である.

本研究では種々の左室機能を有する大動脈弁閉鎖不全症 22 例で Emax を近似的に求め, 従来, 左室収縮性をも含めた左室機能を良く反映することが認められている EF, Vcf, 左室機能曲線と比較検討したところ, Emax と EF および Vcf との間に良好な正相関が認められ, また Emax 減少の強い例ほど左室機能曲線が右下方へ位置する傾向をみた. このうちことに Vcf と左室機能曲線の変化は preload の影響を受けることが少なく, 左室収縮性をよく反映するものと考えられており, Emax が前負荷に関係なく左室収縮性を反映するとした実験結果の妥当性が, 臨床例においても確認されたといえよう. もちろん本研究の結果からそれらの優劣を論ずることはできない. また di-

crolic BAP/ESV で近似された収縮終期圧容積比の値も EF, Vcf と良好な相関を示し, 測定誤差がより大きい Emax に代る臨床的有用性が示唆された.

Suga ら^{1-3,5)}によるイヌの実験では, Vd は数 ml でほぼ一定とされているが, 臨床例の各個体間で比較してみるとかなりの変動がみられた. この変動が病的心でどのような意義をもつかはなお明らかではないが, ESV と良好な正相関を, また EF, Vcf とは疎な負の相関を示した. すなわち, 本研究の対象例でみる限り, 左心機能低下を示し, 左心拡大, ことに ESV の増大した例で Vd が増大する傾向がみられた.

Mitchell ら¹³⁾は実験的検討より preload が変化しても, ESV はほとんど不変かわずかな変動を示すのみであり, inotropism の変化とともに有意に変化すると報告している. 本研究においても, ESV は EF, Vcf, Emax と良好な負の相関を示し, 人間においても ESV のみでも左室機能の指標となりうる可能性が示唆された.

ここで Emax の臨床応用に関する本研究の問題点について考察してみたい. まず第 1 の問題点は収縮終期の選び方である. 通常, 臨床的に得ら

れるのは駆出終期であるが、心臓生理学の立場からは、収縮終期と駆出終期は必ずしも厳密には一致しない。しかし、この両者はきわめて近似するものと考えられ、駆出終期で計測しても変化の方向は同様で、実際にはほとんど問題にならないものと考えられる。そこで本研究では II 音大動脈弁成分の時点駆出終期として ESV の計測を行った。

第 2 の問題点は収縮終期左室圧 (LVESP) を dicotic BAP で代用した点である。通常、LVESP は大動脈根部での dicotic pressure で近似的にあらわされる。そこで上腕動脈圧と大動脈根部圧とを比較してみると、peak pressure に関しては上腕動脈圧が大動脈根部圧より高値を示したが、dicotic pressure に関しては両者はきわめてよく一致し、両者は $r=0.99$ ($p<0.001$) の相関を示した。したがって近似的には dicotic BAP で LVESP を表しうるものと考えた。今回は大動脈弁閉鎖不全のみを対象としたが、以上の第 1、第 2 の問題点は疾患の種類が関係する可能性があり、今後の検討が必要であろう。

第 3 の問題点としては ISDN 舌下投与後の動脈圧低下および心拍数増加の左室収縮性に与える影響があげられる。これは臨床例で何らかの負荷により、2 点を得るさいに常に問題になるところであろう。本研究に関する限り ISDN 舌下投与前後の心拍数の変化は 10/分以内であり、左室収縮性の変化にそれほど有意に働いたとは考え難いが、完全に否定はできない。

さらに第 4 の問題点は、大きさの異なった左室間の収縮性の比較に、何らかの標準化が必要かどうかという点である。Suga らは左室容積を左室壁体積で正規化して、収縮終期圧容積関係直線を描くことを示唆しているが、まだ確かめられていない。

以上のごとく収縮終期左室圧・容積関係に関してはまだ未知な点が残されており、今後の検討を待たねばならないが、実験的に前負荷から独立して左室収縮性をよく反映していることが確かめら

れた収縮終期圧容積関係が、ヒト病的心においても臨床症状や EF, Vcf, 左室機能曲線から示された左室機能をよく反映していることが知られた。

結 論

正常イヌ左心室の実験的研究により、左室収縮性を表すことが明らかにされた Emax を、種々の重症度の動脈弁閉鎖不全症 22 例において、ISDN 舌下投与前後の心エコー図、および直接上腕動脈圧の同時記録の分析から近似的に求め、従来、左室収縮性を含めた左室機能をよく反映することが認められている EF, Vcf, 左室機能曲線と比較検討した。

(1) Emax は EF, Vcf と良好な正相関を示し、Emax 減少の強い例ほど心機能曲線が右下方に位置する傾向がみられた。収縮終期圧・容積比のみでも同様の結果が得られた。Emax は左室収縮性をよく反映しているものと思われる。

(2) Vd は ESV と良好な正相関を、また EF および Vcf と疎な負の相関を示した。

(3) ESV は EF, Vcf, Emax と良好な負の相関を示し、ESV のみでも左室収縮性の指標となりうる可能性が示唆された。

文 献

- 1) Suga H, Sagawa K, Shoukas AA: Load independence of the instantaneous pressure-volume ratio of the canine left ventricle and effects of epinephrine and heart rate on the ratio. *Circulat Res* **32**: 314, 1973
- 2) Suga H, Sagawa K: Instantaneous pressure-volume relationships and their ratio in the excised, supported canine left ventricle. *Circulat Res* **35**: 117, 1974
- 3) Suga H, Sagawa K, Kostiuik DP: Controls of ventricular contractility assessed by pressure-volume ratio, Emax. *Cardiovas Res* **10**: 582, 1976
- 4) Klip W: Elastic and contractile properties of muscle. *J Appl Physics* **47**: 3341, 1976
- 5) Suga H, Yamakoshi K: Effects of stroke volume and velocity of ejection on end-systolic pressure of canine left ventricle. End-systolic volume clamping. *Circulat Res* **40**: 445, 1977

- 6) Weber KT, Janicki JS, Hefner LL: Left ventricular force-length relations of isovolumic and ejecting contractions. *Amer J Physiol* **231**: 337, 1976
- 7) Sagawa K: The ventricular pressure-volume diagram revisited. *Circulat Res* **43**: 677, 1978
- 8) Grossman W, Braunwald E, Mann T, McLaurin LP, Green LH: Contractile state of the left ventricle in man as evaluated from end-systolic pressure-volume relations. *Circulation* **56**: 845, 1977
- 9) Sasayama S, Franklin D, Ross J: Hyperfunction with normal inotropic state of the hypertrophied left ventricle. *Amer J Physiol* **232**: H418, 1977
- 10) Sasayama S, Kotoura H: Echocardiographic approach for the clinical assessment of left ventricular function. *Jpn Circulat J* **43**: 357, 1979
- 11) Quiniones MA, Gaasch WH, Alexander JK: Influence of acute changes in preload, afterload, contractile state and heart rate on ejection and isovolumic indices of myocardial contractility in man. *Circulation* **53**: 293, 1976
- 12) Fujii J, Watanabe H, Kuboki M, Kato K: Left ventricular function curve determined by echocardiography in patients with atrial fibrillation. *J Cardiography* **9**: 459, 1979
- 13) Mitchell JH, Wildenthal K, Mullins CB: Geometrical studies of the left ventricle utilizing biplane cinefluorography, *Fed Proc* **28**: 1334, 1969