

左心室の収縮能の評価としての peak left ventricular systolic pressure/end-systolic volume ratio の意義: 左室造影法と心エコー図法による対比

Significance of peak left ventricular systolic pressure/end-systolic volume ratio for the assessment of left ventricular contractility: Comparison of left ventriculography and echocardiography

樋熊 紀雄
筒井 牧子
戸枝 哲郎
山添 優
松田 博人
笠原 経子
荒井 裕
和泉 徹
朱 敏秀
田村 康二
室岡 寛
柴田 昭

Norio HIGUMA
Makiko TSUTSUI
Tetsuro TOEDA
Masaru YAMAZOE
Hiroto MATSUDA
Tsuneko KASAHARA
Yutaka ARAI
Tohru IZUMI
Toshihide SHU
Kohji TAMURA
Hiroshi MUROOKA
Akira SHIBATA

Summary

The purposes of this study were (1) to compare the Emax (peak ratio of pressure / volume) calculated from left ventriculography (LVG) with that from echocardiography (UCG) and (2) to examine whether peak left ventricular systolic pressure / end-systolic volume ratio (PLVP/ESV) from the echocardiogram was a sensitive index for the assessment of myocardial function in man.

Patients underwent left heart catheterization using Millar micromanometer-tipped angiographic

新潟大学医学部 第一内科
新潟市旭町 1-745 (〒951)

The First Department of Internal Medicine, Niigata
University School of Medicine, Asahimachi 1-754,
Niigata 951

Presented at the 19th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Kyoto, October 20-21, 1979
Received for publication December 10, 1979

catheter. Cineventriculography at 60 frames/sec was performed in the 30 degree right anterior oblique view using Conraxon H (30-40 ml) injected at a speed of 8-12 ml/sec. Every 2 frames of ventricular volumes were determined by the area-length method (Dodge et al) with the aid of a sonar pen digitizer (Oscon) and DEC computer system (model PDP 11). Just before the cineventriculogram, all echocardiographic measurements were made at a paper speed of 100 mm/sec. Ventricular volumes were determined by the method of Gibson et al. Left ventriculographic, echocardiographic and hemodynamic data were digitized. Data were processed and analyzed using PDP 11 computer. Pressure-volume loops, instantaneous pressure volume ratio, $E(t)=P(t)/[V(t)-V_d]$ curve, PLVP/ESV and ejection fraction (EF) were determined. $E(t)$ was not corrected for zero pressure.

The results were as follows:

(1) Comparison of estimates of E_{max} derived from LVG and UCG showed a close correlation ($r=0.978$ and $y=1.20x-0.194$). (2) Relation between PLVP/ESV and E_{max} derived from LVG showed good correlation ($r=0.996$). Relation between PLVP/ESV and E_{max} from UCG was also excellent ($r=0.989$). The value of PLVP/ESV was approximately 6 percent higher than E_{max} . (3) Comparison of estimates of PLVP/ESV derived from LVG and from UCG showed close correlation ($r=0.965$ and $y=1.169x-0.209$). (4) Relation of E_{max} derived from LVG to PLVP/ESV from UCG showed close correlation ($r=0.961$). (5) Comparison of estimates of EF derived from LVG and UCG showed good correlation ($r=0.85$). However, relation between EF and E_{max} or PLVP/ESV was curvilinear. When ejection fraction was less than 40%, the value for E_{max} and PLVP/ESV was less than 1.6 mmHg/ml. In patients with ejection fraction greater than 60%, E_{max} and PLVP/ESV ranged from 1.25 to 3.1 mmHg/ml. (6) The value of PLVP/ESV derived from UCG showed less than 2.0 mmHg/ml in patients with coronary artery disease, less than 3.1 mmHg/ml in patients with valvular heart disease and greater than 5.5 mmHg/ml in control, in this study. Therefore, PLVP/ESV derived from UCG, which was easily obtained in clinical practice, was a sensitive index in detecting subtle changes of myocardial function in man.

Key words

Peak left ventricular systolic pressure / end-systolic volume ratio (PLVP/ESV)	Peak ratio of pressure /		
volume (E_{max})	Ejection fraction	Instantaneous pressure-volume curve	Instantaneous pressure-volume ratio

はじめに

左室圧-容積関係は心筋の張力-長さ関係で現われ、その変化は左室内圧と内腔の大きさの変化である^{1,2)}。心エコー図法やX線左室造影映画と左室圧の測定^{3,4)}を同時に行って、臨床的にも心臓の動きを心筋線維の短縮と張力の発生の2面よりとらえられるようになってきた。特に最近心エコー図の発達はめざましく、造影剤を使うことなく繰り返し検査が可能になったことから、左室の収縮能の評価としての圧容積関係が広く用いられるようになってきた⁵⁻⁷⁾。

Nivatpuminら⁸⁾は収縮終期圧-容積関係⁹⁾を臨床的に用いるさい、収縮期の終り近くでは左室内

圧容積関係は一定であること、さらに最大左室収縮期圧が収縮終期圧に近似していることに注目し、最大左室収縮期圧と収縮終期容量の比 (peak-left ventricular systolic pressure / end-systolic volume ratio=PLVP/ESV) が、瞬時圧容積比の最大勾配すなわち E_{max} に近似し、臨床的にも駆出率より心疾患の左室収縮能を評価するのに良い指標であることを報告した。

そこで、この研究の目的は、左室造影法と左心カテーテル法を同時に行い、瞬時圧容積比を求め、左室造影直前に行った心エコー図法より求めた瞬時圧容積比と対比し、PLVP/ESVが、心エコー図法においても臨床的に左室収縮能を評価するに有用な方法であるかを検討することであった。

方 法

1. 対 象

胸痛を訴えるが、安静時および運動負荷時の心電図、冠状動脈造影法、左心カテーテル法、左室造影法で異常のみられなかった2例を対照とし、僧帽弁の逆流のない弁膜症の4例と、3本の冠状動脈に critical lesion をもち、山添ら¹⁰⁾の左室壁運動の評価法で一樣に左室壁運動の低下をみた冠動脈疾患の4例の合計10例で、年齢は35~55歳、男性6例、女性4例であった。各症例の血行動態を示すパラメーターは Table 1 に示した。

Table 1. Hemodynamic parameters

No	age	sex	Diagnosis	Heart rate beats/min.	LVP (mmHg) max. / min.	EDP mmHg	LVV (ml) EDV, ESV	AoP (mmHg) max. / min.
A control group								
1	SM	47	M	67	134.7/ 4.7	11	84.1 25.4	136 / 88
2	SS	51	F	69	110.7/ 0	9	82.1 21	113 / 63
B valvular heart disease								
3	SS	35	M	60	97.9/ 6.1	10	105 55.5	86 / 58
4	TE	55	F	78	110.4/ 1.4	6	92.9 41.1	112 / 70
5	IM	35	F	78	98.9/ 1.5	7	138.4 45.2	104 / 68
6	TJ	44	F	100	118 / 13.8	37	312.3 114.4	136 / 51
C coronary heart disease (three vessel disease)								
7	HH	40	M	52	125.9/ 0	9	198.5 91.1	122 / 88.3
8	TT	54	M	90	102.9/ 9.2	16	301.3 240.6	104.7/ 66.7
9	TS	42	M	64	113.1/ 12.8	27	190.3 116.3	110 / 78
10	MS	51	M	54	125.4/ 11.2	24	174.9 89.0	117 / 68

LVP=left ventricular pressure, EDP=endodiastolic pressure,
 LVV=left ventricular volume, EDV (ESV)=endodiastolic (endosystolic) volume,
 AoP=aortic pressure, F=female, M=male, MS=mitral stenosis,
 AR=aortic regurgitation, af=atrial fibrillation.

2. 方 法

Millar 製 (USA) PC471 micromanometer tipped angiographic catheter を用いて、左室内圧の測定を行った。トランスジューサーは Millar model TC160 transducer control unit に接続し、体温近くに温めたヘパリン加生理食塩水中でバランスをとり、血圧計を用いて補正を行った。一方、PC471 の fluid-filled lumen は Statham P23 db に接続して圧測定を行った。左室造影法は右前斜位 30 度、秒間 60 コマ、8~12 ml/sec で造影剤を注入し行った。造影中の左室圧は紙おくり速度 100 mm/sec で記録し、同時に造影剤注入の timing は cine-film 上および記録紙の上に記録した。

左室容積は 2 コマごと 33.3 msec 間隔で算出した。方法は sonar pen digitizer 付き、シネアンジオ分析装置 (Oscon および DEC computer system (PDP 11)) を用い、左室輪郭をトレースし、Dodge ら¹¹⁾の area-length 法により行い、左室造影に一致した左室内圧と対比し、圧容積曲線を求めた。

心エコー図の記録は左室造影直前に仰臥位、または左半側臥位で行った。M モード心エコー図は 2.25 MHz の平板トランスジューサーにて、Aloka 製 SSD 110 を使用し、Honeywell 製 (USA) strip chart recorder に、毎秒 100 mm の紙送り速度で記録した。同時に左室内圧、心電図、心基部心音図を記録した。左室容積は Gibson 法¹²⁾を用いて行った (Fig. 1)。

1) 瞬時圧容積比 $E(t)=P(t)/[V(t)-V_d]$

$P(t)$ =瞬時左室内圧

$V(t)$ =瞬時左室容積

V_d =定数 (収縮末期圧容積曲線の容積座標軸上の切点)

2) 最大左室収縮期圧 / 収縮終期容量

(=PLVP/ESV)

3) 駆出率 (EF)=1 回拍出量 / 拡張終期容量

の各パラメーターは次の方法にて算出した。Sonar pen-digitizer 付き、シネアンジオ分析装置より、左室造影、M モード心エコー図および左室圧を DEC computer system (PDP 11) に入力した。ついで、静電プロッターおよびタイプライターにて左室造影、心エコー図による圧容積曲線、瞬時圧容積比曲線とその最大値、収縮開始より瞬時圧容積比の最大値に達するまでの時間 (T), PLVP/ESV, EF を出力した。我々は、瞬時圧容積比の算出にあたり $V_d=0$ とした。また心エコー図では、中隔に異常運動のみられる症例は除外した。

結 果

Fig. 2 は左室造影法より得られた対照群の左室圧容積曲線と瞬時圧容積比、 $E(t)$ curve を示す。 $E(t)$ の算出には $V_d=0$ としたので、 $E(t)$ の最大

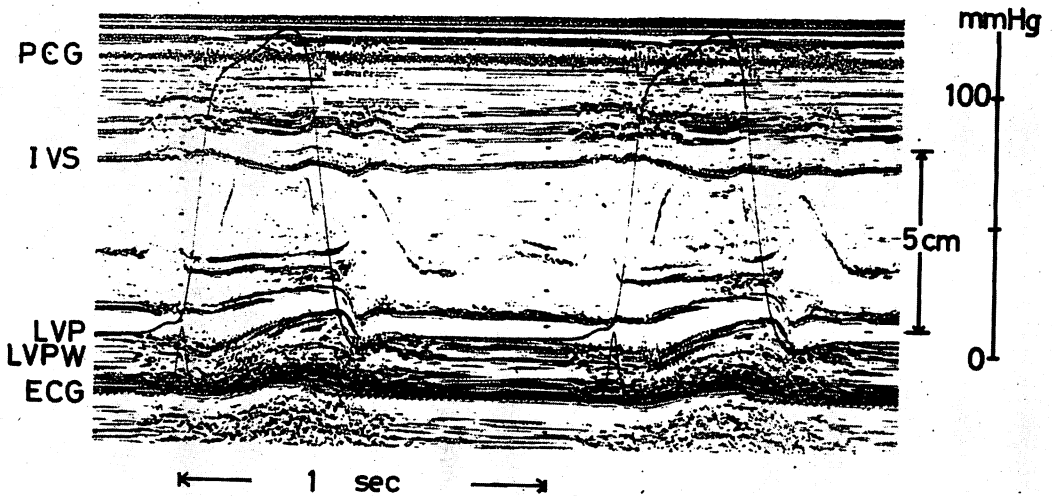


Fig. 1. Echocardiographic pressure recording of a patient with angina pectoris (H.H., 40 y.o.).

The pressure trace is obtained from PC 471 micromanometer tipped angiographic catheter. PCG=phonocardiogram; IVS=interventricular septum; LVP=left ventricular pressure; LVPW=left ventricular posterior wall; ECG=electrocardiogram.

値は Fig. 2 の左側のように容積軸のゼロをとる最大勾配で示された。したがって、この例では瞬時圧容積比の最大値は 4.43 mmHg/ml であり、PLVP/ESV は 5.27 mmHg/ml であった。Fig. 3 は Fig. 2 と同一例の心エコー図によって得られた左室圧容積曲線と、瞬時圧容積曲線を示す。心エコー図での E_{max} は 4.45 mmHg/ml と左室造影より得られた所見とほぼ一致した。

1. E_{max} : 左室造影法対心エコー図法

左室造影中と心エコー図記録中の瞬時圧容積比の最大値の時の左室内圧はそれぞれ、 109.4 ± 13.4 mmHg と 107.6 ± 20.0 mmHg (mean \pm 1SD) で、左室圧はほぼ等しかった。Fig. 4 中の○印は対照(C)を、■印は弁膜症例(VD)、▲印は冠動脈疾患例(CHD)を示す。2方法によって得られた E_{max} の間には、 $r=0.978$ の高い相関があり、その回帰式は $y=1.20x-0.194$ であった。

2. 駆出率

Fig. 5 は左室造影法と心エコー図より得られた駆出率の関係を示した。両方法で得られた駆出率

の間には、 $r=0.85$ の相関があった。これは諸家の報告と一致する¹²⁻¹⁴⁾。しかしながら、Fig. 5 にみられるように、駆出率が正常範囲にある場合には対照例と鑑別できない症例があり、この方法では左室の収縮能をあらわす場合、特に逆流のある症例において十分な評価ができなかった。

3. E_{max} 対駆出率

左室造影法および心エコー図より得られた E_{max} に対する駆出率の関係では、Fig. 6 に示すように、両者の間には両方法ともに指数関数の関係がみられた。駆出率が正常範囲を示す時 E_{max} は正常から異常まで幅広く変化しているが、40%以下では E_{max} は 1.6 mmHg 以下で、臨床的には有用な方法である。

4. E_{max} 対 PLVP/ESV

Fig. 7 は左室造影法および心エコー図より得られた E_{max} に対する PLVP/ESV の関係を示す。最大左室収縮期圧および瞬時圧容積比を示した時の左室圧は、左室造影法では 111.2 ± 12.5 mmHg と 109.4 ± 13.4 mmHg で、心エコー図では 109.2

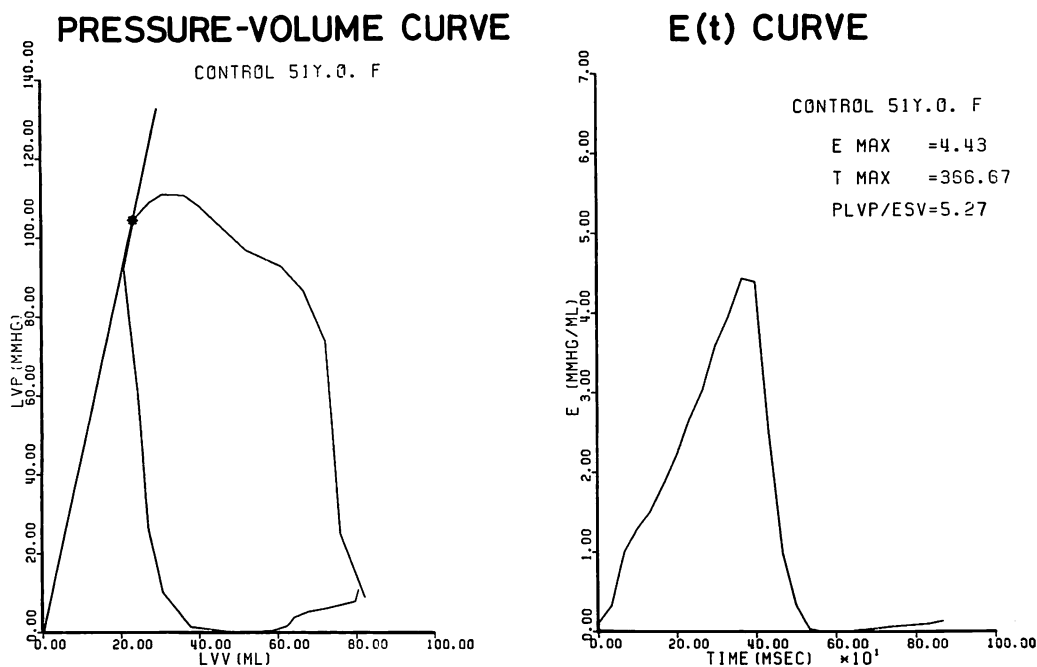


Fig. 2. Left panel shows left ventricular pressure volume relation and right panel shows instantaneous pressure volume ratio (E(t) curve) in a control patient by left ventriculography.

Emax is not corrected for zero pressure. Emax shows the highest volume for the ratio of ventricular pressure to systolic volume. PLVP/ESV=peak left ventricular systolic pressure/end-systolic volume ratio; T=time to Emax from the onset of systole.

± 20.3 mmHg と 107.6 ± 20.0 mmHg で、差はなかった。

この2方法によって得られた相関係数は、左室造影法が $r=0.996$ で、心エコー図では $r=0.989$ であった。

Emax も PLVP/ESV もともに冠動脈疾患では小さく、収縮能が低下していることを示し、弁膜症ではやや高い傾向を示した。

5. PLVP/ESV

左室造影法と心エコー図より得られた PLVP/ESV の関係を見ると、両方法の間には、 $r=0.965$ の相関がみられ、回帰式は $y=1.169x-0.209$ で、心エコー図のほうが約 10% 高い値を示した。

これは収縮終期容積が心エコー図のほうが小さいことによると思われた (Fig. 8)。

6. Emax (左室造影法) 対 PLVP/ESV (心エコー図)

左室造影法からの Emax と、心エコー図より得られた PLVP/ESV の間にみられる関係は $r=0.961$ であった。また両者の間の回帰式は $y=1.356x-0.282$ であった。

左室造影法による PLVP/ESV が臨床的に簡便で、収縮能の評価に有効であったように、心エコー図でも最大左室圧と収縮終期容量の比が臨床的に収縮能の評価に十分用いうるものであることが示された。

考 察

左室の収縮能を評価する方法としての駆出率は、本来の収縮能のほかに前負荷や後負荷を一括した心全体の機能評価が可能なることから、その計測の簡便さからも広く用いられている。しかしながら、

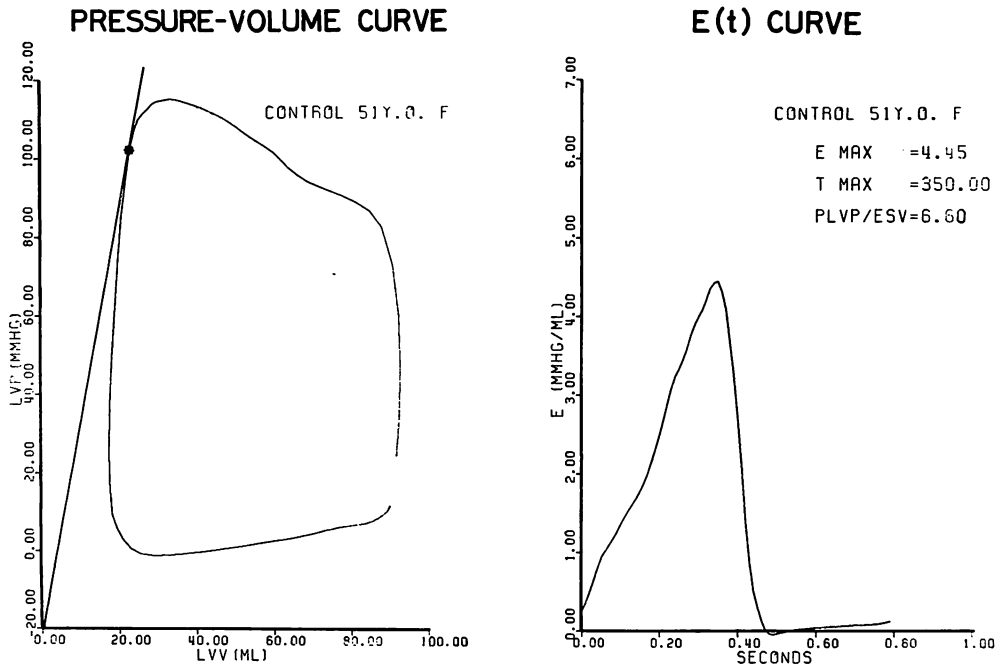


Fig. 3. Left ventricular pressure / volume relation (left panel) and instantaneous pressure volume ratio curve (right panel) from the same patients as in figure 2 by echocardiography.

Emax=peak ratio of ventricular pressure to systolic volume; PLVP/ESV=peak left ventricular systolic pressure / end-systolic volume ratio; T=time to Emax from the onset of systole.

駆出率は前負荷や後負荷に影響されるため、心収縮性のわずかな変化に対しては正常な機能をもつ心臓と病的な心臓を鑑別できないことがある。精度の高い micromanometer tipped angiographic catheter は、左心カテーテル法と同時に左室造影も可能とし、左室圧容積曲線が容易に得られ、瞬時圧容積比の最大値 (Emax) が左室収縮能の評価に用いられるようになった^{8,9)}。さらに、収縮終期の近くでは圧容積比はほとんど近似していること、測定の容易さから、end-systolic pressure / end-systolic volume ratio⁹⁾ が左室収縮能の指標として用いられるようになってきた。Suga ら¹⁵⁾ は実験結果から、収縮期中の瞬時圧容積関係の回帰直線の容積軸上の切点はほとんど一定の点で交わると報告したが、Sasayama ら⁷⁾ は必ずしも一定でなく、それは種々の負荷により、自律神経を介して種々複雑な適応機序が生体内に作動してくるた

めと説明している。また、重症例では薬剤負荷を行えない場合も多く、回帰直線を得ることができないなどの問題がないとはいえない。

臨床的に用いられる検査法は測定が単純なことや、他の確立された方法と比較して良い相関のみられる方法でなければならない。

Nivatpumin ら⁸⁾ は、PLVP/ESV の比を用いる理由は、それが瞬時圧容積比の最大値を現わしているという根拠に基づいている、と報告している。実際、最大左室収縮期圧と Emax における左室内圧の圧較差は約 10% 程度で、そのため PLVP/ESV が 10% 高い値をとると説明しており、日常の心カテーテル法で十分使用可能な検査法であるとした。

以上の考えに基づいて、我々はこの研究を行った。左室造影法による圧容積曲線で、容積軸上の切点を 0 とし、瞬時圧容積比の最大値 Emax を

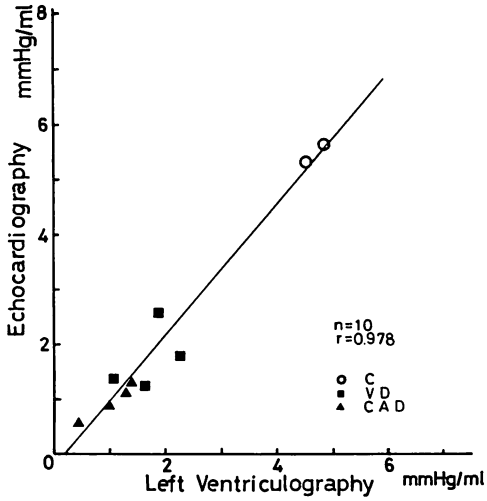


Fig. 4. Relation of Emax between left ventriculography and echocardiography.

$Y=1.20X-0.194$; $r=0.978$; ○ : control; ■ : valvular heart disease; ▲ : coronary artery disease.

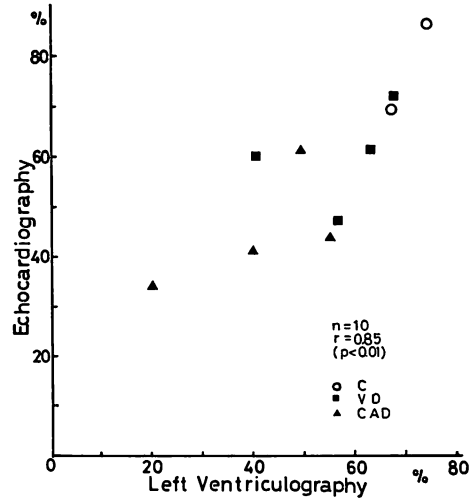


Fig. 5. Relation of ejection fraction between left ventriculography and echocardiography in control heart, patients with valvular heart disease and coronary artery disease.

Correlation coefficient is 0.85.

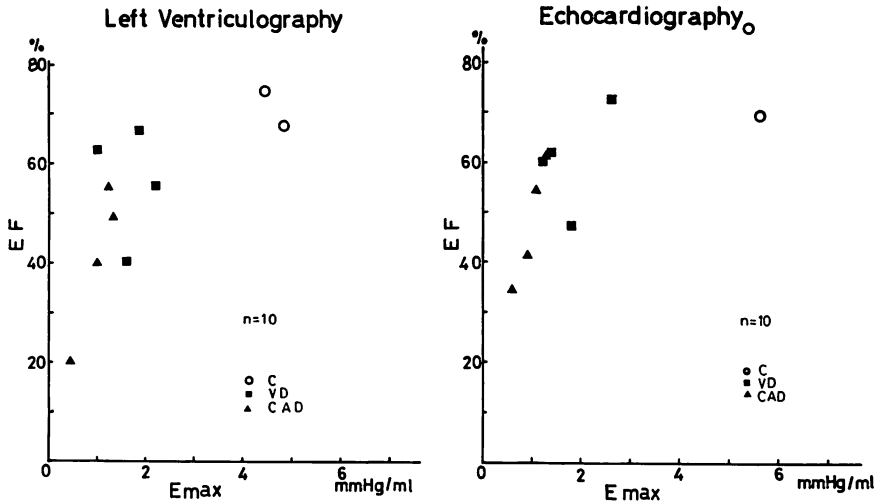


Fig. 6. Comparison of Emax and ejection fraction by ventriculography and echocardiography.

Relation between EF and Emax is curvilinear.

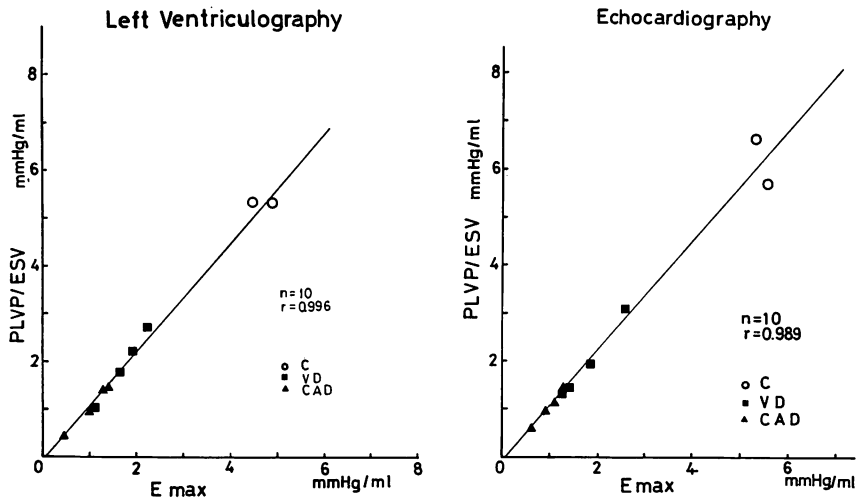


Fig. 7. Comparison of Emax and PLVP/ESV derived from left ventriculography and echocardiography.

Correlation between PLVP/ESV and Emax by LVG is excellent ($r=0.996$), and so is the relation between PLVP/ESV and Emax by UCG ($r=0.989$).

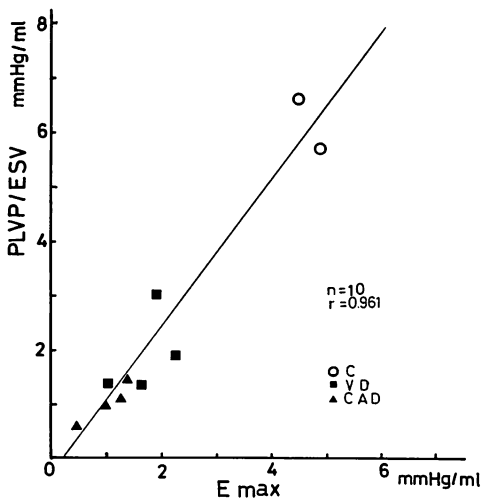


Fig. 8. Comparison of PLVP/ESV by echocardiographic and ventriculographic methods.

$$Y=1.169X-0.209; r=0.965.$$

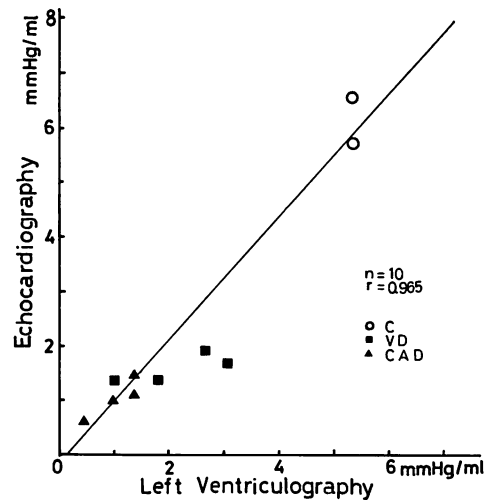


Fig. 9. Relation of PLVP/ESV from UCG to Emax from LVG.

$$Y=1.356X-0.282; r=0.961.$$

求めると、PLVP/ESV との間には、きわめてよい相関を示し、臨床的に十分用いられる指標であることを示した。さらに心エコー図法においても、

Emax, PLVP/ESV を求め、左室造影法による Emax との関係を見ると、それぞれの間には高い相関がみられた。これは心エコー図による PLVP/

要 約

ESV でも左室の収縮能の評価に十分な指標であることを示すものである。したがって、瞬時圧容積比を求めなくとも、左室の最大圧がわかれば、心エコー図より収縮末期容量を求めて、臨床的に時々刻々変化する心収縮能のモニターが可能なることを示す⁷⁾。

駆出率が正常でありながら、PLVP/ESV や Emax が低値をとるのは、Grossman ら³⁾は収縮末期容量が大きいためであるとし、それは我々の場合にも、大動脈弁閉鎖不全例でみられた。一方大動脈狭窄症では左室容量は小さく、左室内圧が高いことが考えられるので、PLVP/ESV は高い値を示すと考えられるが、今後は心房中隔穿刺法による経左房法で左室内圧の測定と造影を行い、大動脈弁狭窄症の心収縮能の正しい評価を行う必要がある。

冠状動脈疾患では、心エコー図法の対比という観点から、対象は三枝病変をもち、一様に壁運動の低下した症例とした。左室瘤を含む壁異常運動がみられる症例の収縮能の評価には、区分した壁ごとに収縮能の評価を試みるべきであると考え。

結 論

瞬時圧容積比 $E(t)$ は $Vd=0$ として、左室造影法と心エコー図法により求め、さらに PLVP/ESV を両方法より得て、特に心エコー図による PLVP/ESV の意義について検討した。

(1) 左室造影法より得られた Emax と心エコー図より得た PLVP/ESV の間には、 $r=0.961$ の相関があった。

(2) 心エコー図より得られた PLVP/ESV は、対照が 5.5 mmHg/ml 以上で、冠状動脈疾患では 2 mmHg/ml 以下と低く、弁膜症では 3.1 mmHg/ml 以下であった。

これらの結果より、心エコー図より求めた PLVP/ESV は左室の収縮能を評価するに十分な指標であり、臨床的にも十分用いられる新しい指標になりうると思われた。

この研究の目的は、(1) 左室造影法と心エコー図法より得られた Emax を比較検討し、心エコー図より得られた PLVP/ESV ratio が人の左室機能の評価に鋭敏な指標であるかどうかを検討することである。

全例で Millar 製 PC471 micromanometer-tipped angiographic catheter を用いて左心カテーテルを施行した。X線左室造影映画は秒間 60 コマで、右前 30 度斜位にて施行した。2 コマごとに Sonar pen digitizer で左室輪郭をトレースし、Dodge らの area-length 法にて左室容積を算出した。左室造影直前に、心エコー図は紙送り速度 100 mm/秒 で記録し、左室容積は Gibson 法にて算出した。Sonar pen digitizer つきシネアングリオ分析装置を用いて、左室造影、M モード心エコー図、左室圧を DEC computer system (PDP 11) に入力し、圧容積曲線、瞬時圧容積比とその曲線、PLVP/ESV、駆出率を静電プロッターにて出力した。E(t) を得るにあたり $Vd=0$ とした。

結果は次のごとくである。

(1) LVG と UCG より得られた Emax の間にはきわめて良い相関がみられた ($r=0.978$, $y=1.20x-0.194$)。

(2) LVG から得られた Emax と PLVP/ESV の間には $r=0.996$ の相関があり、UCG の場合も同様 $r=0.989$ の良い相関があった。PLVP/ESV が Emax より約 6% 高値を示した。

(3) LVG および UCG から得られた PLVP/ESV の関係では、 $r=0.965$ の相関があり回帰直線は $y=1.169x-0.209$ であった。

(4) LVG の Emax に対する UCG の PLVP/ESV は $r=0.961$ の良い相関がみられた。

(5) LVG と UCG より得られた EF の間には $r=0.85$ の良い相関がみられた。しかしながら、Emax や PLVP/ESV との間には指数関数の関係がみられた。EF が 40% 以下では Emax, PLVP/ESV はともに 1.6 mmHg/ml 以下であった。一

方 EF が 60% 以上では, E_{max} と PLVP/ESV は 1.25 から 3.1 mmHg/ml の範囲にあった.

(6) この研究からは, UCG による PLVP/ESV は冠状動脈疾患群では 2.0 mmHg/ml 以下, 弁膜症では 3.1 mmHg/ml 以下で正常は 5.5 mmHg/ml 以上であった.

以上から, 臨床上容易に得られる UCG からの PLVP/ESV は, 心機能の変化を評価するのに十分な指標であると考えられた.

文 献

- 1) Downing SE, Sonnenblick EH: Cardiac muscle mechanics and ventricular performance: Force and time parameters. *Amer J physiol* **27**: 704-715, 1964
- 2) Taylor RR: Active length-tension relations compared in isometric, afterloaded and isotonic contractions of cat papillary muscle. *Circulation* **26**: 279-288, 1970
- 3) Grossman W, Braunwald B, Mann T, McLaurin LP, Green LH: Contractile state of the left ventricle in man as evaluated from end-systolic pressure volume relations. *Circulation* **56**: 845-852, 1977
- 4) Rackley CE: Quantitative evaluation of left ventricular function by radiographic techniques. *Circulation* **54**: 862-879, 1976
- 5) 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**: 314-322, 1973
- 6) Gibson DG, Brown D: Measurement of instantaneous left ventricular dimension and filling rate in man, using echocardiography. *Brit Heart J* **35**: 1141-1149, 1973
- 7) Sasayama S, Kotoura H: Echocardiographic approach for the clinical assessment of left ventricular function. *Jpn Circulat J* **43**: 357-366, 1979
- 8) Nivatpumin T, Katz S, Scheuer J: Peak left ventricular systolic pressure / end-systolic volume ratio: A sensitive detector of left ventricular disease. *Amer J Cardiol* **43**: 969-974, 1979
- 9) Sagawa K, Suga H, Shoukas AA, Bakalar KM: Endsystolic pressure / volume ratio: A new index of ventricular contractility. *Amer J Cardiol* **40**: 748-753, 1977
- 10) 山添 優, 筒井牧子, 戸枝哲郎, 松田博人, 和泉徹, 荒井 裕, 樋熊紀雄, 田村康二, 柴田 昭: 左室造影法による虚血性心疾患の左心室壁運動の定量的検討. 最新医学投稿中 (in Japanese)
- 11) Dodge HT, Sandler H, Ballew DW: Usefulness and limitation of radiographic methods for determining left ventricular volume. *Amer J Cardiol* **18**: 10, 1966
- 12) Gibson DG: Estimation of left ventricular size by echocardiography. *Brit Heart J* **35**: 128-134, 1973
- 13) Teichholz LE, Kreulen TH, Herman MV, Gorlin R: Problems in echocardiographic volume determination: Echocardiographic correlations. *Circulation* **45 & 46** (Suppl): 75, 1972
- 14) Pombo JF, Troy BL, Russell RO Jr: Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. *Circulation* **43**: 480-490, 1971
- 15) Suga H, Sagawa K: Instantaneous pressure-volume relationships and their ratio in the excised, supported canine left ventricle. *Circulat Res* **35**: 117-126, 1974