

コンダクタンスカテーテル法による左室の機械的エネルギー効率と左室-動脈系適合の臨床的検討

Evaluation of left ventricular mechanical energy efficiency and ventriculo-arterial coupling in humans using the conductance catheter technique

菊池 文孝  
三国谷 淳  
東山 明弘  
小松 隆  
田村 太志  
小野寺庚午  
松井 哲郎\*  
大池弥三郎\*\*

Fumitaka KIKUCHI  
Atsushi MIKUNIYA  
Akihiro HIGASHIYAMA  
Takashi KOMATSU  
Hiroshi TAMURA  
Kogo ONODERA  
Tetsuro MATSUI\*  
Yasaburo OIKE\*\*

Summary

To evaluate left ventricular mechanical energy efficiency and ventriculo-arterial coupling in humans, left ventricular pressure-volume relations were determined using the conductance catheter technique in 20 patients undergoing cardiac catheterization. The results were as follows:

1. A convex, curvilinear relationship was observed between end-systolic pressure-volume relations ( $E_{max}$ ) and left ventricular ejection fraction (EF), as shown in the equation of  $EF = 28.5 \times \log(E_{max}) + 39.6$  ( $r = 0.67$ ,  $p < 0.01$ ,  $n = 20$ ); EF remained nearly constant in the range of  $E_{max} \geq 4$  mmHg/ml/m<sup>2</sup>, whereas, EF decreased markedly under the  $E_{max}$  of 4 mmHg/ml/m<sup>2</sup>.

2. A convex, curvilinear relationship was observed between  $E_{max}$  and mechanical energy efficiency (EW/PVA), as shown in the equation of  $EW/PVA = 30.5 \times \log(E_{max}) + 54.8$  ( $r = 0.83$ ,  $p < 0.01$ ,  $n = 16$ ).

3. A concave, curvilinear relationship was observed between  $E_{max}$  and ventriculo-arterial coupling ( $E_a/E_{max}$ ), as shown in the equation of  $E_a/E_{max} = -0.8 \times (E_{max})^{0.5} + 2.6$  ( $r = -0.85$ ,  $p < 0.01$ ,

弘前大学医学部 第二内科

弘前市在府町5 (〒036)

\*同 保健管理センター

弘前市文京町1

\*\*黎明郷リハビリテーション病院

青森県南津軽郡碓ヶ関村 (〒038-01)

The Second Department of Internal Medicine, Hirosaki University School of Medicine, 5 Zaifucho, Hirosaki 036

\*Health Administration Center of Hirosaki University

\*\*Reimeikyo Rehabilitation Hospital

Received for publication March 1, 1989; accepted May 26, 1989 (Ref. No. 36-94)

n=16).

Accordingly, EW/PVA was markedly decreased with changes in  $E_{max}$  in the range less than 4 mmHg/ml/m<sup>2</sup>, although it remained slightly increased above 4 mmHg/ml/m<sup>2</sup>.  $E_a/E_{max}$  was maintained constant ( $p < 0.5$ ) in the range of  $E_{max}$  above 4 mmHg/ml/m<sup>2</sup> but was abruptly decreased when  $E_{max}$  was reduced below 4 mmHg/ml/m<sup>2</sup>.

These results indicate that depressed left ventricle attempts to work effectively at the risk of mechanical energy efficiency and with suitable matching by aortic property. Application of pressure-volume relationships provides a new framework for evaluation and treatment of the failing heart.

#### Key words

Mechanical energy efficiency  
catheter

Ventriculo-arterial coupling

Ejection performance

Conductance

## はじめに

Suga ら<sup>1)</sup>により提唱された収縮末期圧-容積関係の勾配 ( $E_{max}$ ) は、現在では基礎収縮力を表わす最も適当な指標として認められている。また、その基となった圧-容積関係は、力学的現象のみならず、機械的エネルギー変化の情報をも持つことが実験的に明らかにされた<sup>2)</sup>。さらに同関係を用いて左室と動脈系の適合状態を評価する概念が提唱されるにいたり<sup>3)</sup>、圧-容積関係は心臓力学の研究面のみならず、不全心の治療という臨床的観点からも注目されるようになってきた。しかし、臨床的に左室圧と容積を同時に、かつ連続的に繰り返し測定することは、左室容積の測定に種々の制約があったため、困難であった。それゆえ、左室圧-容積関係についての臨床的研究は制限を受けていた。

しかし近年、Baan らにより開発されたコンダクタンスカテーテル法<sup>4)</sup>は、臨床例における左室の容積と圧を連続的、かつ繰り返し測定することを可能にした。今回我々は、コンダクタンスカテーテル法を用いて左室容積を繰り返し測定し、左室容積と同時に記録した左室圧から圧-容積ループを作成し、臨床例における左室の機械的エネルギー効率<sup>7)</sup>と左室-動脈系の適合<sup>3)</sup>について検討した。

## 対 象

対象は胸痛等の精査目的で心臓カテーテル検査を施行した患者のうち、異常が認められなかった健常者4例、高血圧症2例、狭心症7例、陈旧性心筋梗塞4例、心弁膜症1例ならびに拡張型心筋症2例の計20例(男性16例、女性4例)である。年齢は  $50 \pm 13$  歳(平均値 $\pm$ 標準偏差)である。

## 方 法

### 1. 左室容積と圧の測定

心行動態に影響のあるすべての薬剤を少なくとも48時間休止したうえで、心臓カテーテル検査を行った。心内圧測定、左室造影、冠動脈造影などの診断的手技を終了した後に、心行動態が十分に回復した時点で、左室の容積と圧の同時測定のため、8F サイズあるいは7F サイズのコンダクタンスカテーテル(Cordis 製多電極カテーテル)<sup>4)</sup>を左室心尖部まで進めた。コンダクタンスカテーテル法による左室容積の測定法の理論は既に報告されている<sup>5)</sup>が、実際の方法について概略すると、コンダクタンスカテーテルを Leicom 製 Sigma-5<sup>4)</sup>に接続後、動脈血をキューベット内に導き、血液の電気伝導特性  $\sigma$  を測定する。 $\sigma$  の値を Sigma-5 に入力した後、肺動脈に留置したカテーテルから5%食塩水 5 ml~10 ml を肺動脈に注入し、容積

測定のための補正值  $\alpha Vc$  を求める. このようにして補正された計測値は, 左室容積実測値とよく相関すると報告されている<sup>5)</sup>.

左室圧はコンダクタンスカテーテルに Statham 製 P50 圧トランスデューサを接続して, fluid filled 法で測定した.

容積ならびに圧の較正が終了した後, 前負荷あるいは後負荷を変動させ左室圧-容積関係を求めた. すなわち, 左室圧と左室容積を連続的に記録し続けながら, ニトログリセリン (5例) あるいはメトキサミン (9例) を負荷して血圧を 30~40 mmHg 変動させた. 一部の症例 (6例) では Medi-tech 製バルーンカテーテルを用いて 10 秒前後の下大静脈閉塞<sup>6,8)</sup>を行い, 前負荷を減少させながら, 左室圧と容積を連続的に記録した.

以上の記録には日本光電製ポリグラフシステム

RM-6000 を用い, 紙送り速度 50 mm/sec あるいは 100 mm/sec で左室容積ならびに左室圧の波形を連続的に記録した.

## 2. 左室圧-容積関係の解析

データの解析には, デジタイザー (Graphtec 製 KD4030B) とパーソナルコンピューター (NEC 製 PC-9801VX) を用いた. 較正値を参照して, 記録された圧と容積波形をデジタイザーで 25 msec 毎に解析し, そのデータをパーソナルコンピューターに入力した. 入力されたデータから左室収縮末期圧 (Pes), 左室拡張末期容積 (EDV), 左室収縮末期容積 (ESV), 1 回拍出量 (SV) および左室駆出率 (EF) を算出し, さらに, 薬剤負荷あるいは下大静脈閉塞時の複数の圧-容積ループを描かせ, 左室収縮末期圧-容積関係の勾配 ( $E_{max}$ ) と容積軸切片 ( $V_0$ ) を求めた (Fig. 1).

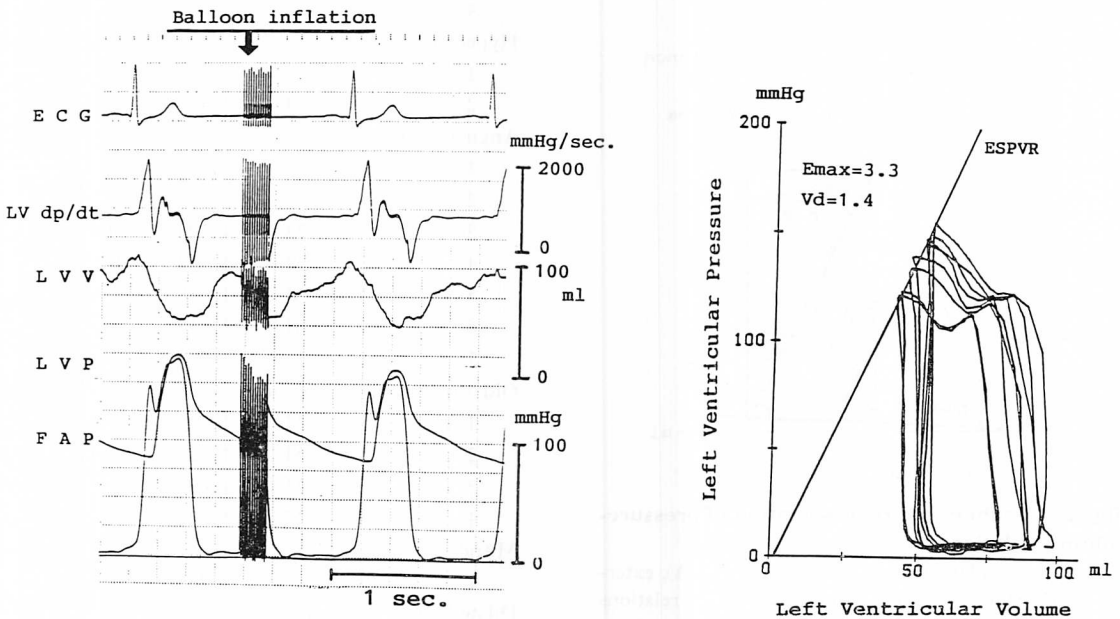


Fig. 1. Left ventricular pressure volume relations and pressure-volume loop.

Left ventricular pressure (LVP), femoral arterial pressure (FAP) and volume (LVV) are continuously traced as shown in the left panel before, during and after inferior vena caval occlusion less than 10 sec. Derived pressure-volume loops and end-systolic pressure-volume relations (ESPVR) are shown in the right panel.

3. 機械的エネルギー効率と左室-動脈系適合の指標 (Fig. 2)

各時相における左室機械的エネルギー効率を表わす指標として PVA と EW の比 (EW/PVA)<sup>7)</sup> を, 左室-動脈系適合状態を表わす指標として Ea と Emax との比 (Ea/Emax)<sup>13)</sup> を用いた. すなわち, 圧-容積ループと左室収縮末期圧-容積関係 (Emax line) から左室的仕事量 (External work: EW), ポテンシャルエネルギー (PE), ならびに実効動脈エラストランス (Ea)<sup>3)</sup> を求め, 圧-容積ループの右側と Emax line で囲まれる部分から左室収縮期圧容積面積 (PVA)<sup>2)</sup> を求めると, EW はループの面積として, PE は PVA から EW を差し引いた値として算出される. ここでは張力発生に関する内的エネルギーであり<sup>2)</sup>, また, Ea は収縮末期と拡張末期を結ぶ直線の傾きとして与えられ, 動脈系の後負荷特性を示す指標である.

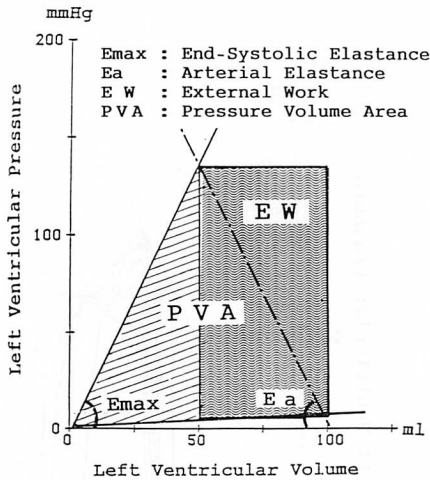


Fig. 2. A schematic representation of pressure-volume relations.

Left ventricular pressure-volume area (PVA), external work (EW), systolic pressure-volume relations (Emax), and arterial elastance (Ea) are measured from pressure-volume loops obtained by the conductance catheter technique. Left ventricular mechanical energy efficiency is estimated from EW/PVA, and ventriculo-aortic coupling is estimated from Ea/Emax.

なお, すべての計測値を平均値±標準偏差で表わし, 各群間の比較には Student の unpaired t-test を用いて, 危険率<5% を有意の変化とした.

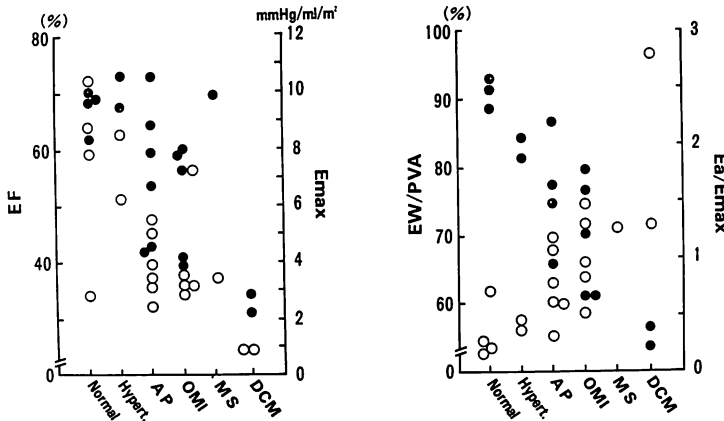
結 果

1. 疾患別にみた左室拡張末期容積係数 (EDVI), 左室駆出率 (EF), 収縮末期圧-容積関係 (Emax), 機械的エネルギー効率 (EW/PVA) ならびに左室-動脈系適合 (Ea/Emax)

対象とした全例のプロフィールを Table 1 に

Table 1. Clinical and hemodynamic findings in the six groups of subjects

Diagnosis	Age (yrs)	Sex	BSA (m <sup>2</sup> )	EDVI (ml/m <sup>2</sup> )	EF (%)
Normal					
1	16	M	1.548	141	79
2	34	F	1.412	101	69
3	38	M	1.752	97	69
4	39	F	1.530	76	62
Hypertension					
1	55	M	1.460	101	73
2	57	M	1.432	55	68
Angina pectoris					
1	54	M	1.543	78	59
2	56	M	1.920	65	43
3	60	M	1.720	64	73
4	62	M	1.768	101	43
5	63	M	1.448	105	65
6	64	M	1.659	78	59
7	68	M	1.598	73	53
Old myocardial infarction					
1	43	M	1.740	82	56
2	54	M	1.650	119	39
3	55	M	1.692	93	40
4	59	M	1.622	83	65
Mitral stenosis					
1	49	F	1.285	86	69
Dilated cardiomyopathy					
1	32	M	1.665	264	34
2	36	F	1.665	156	31
Mean	50		1.605	100	57
SD	13		0.150	44	14



**Fig. 3. Ejection fraction (EF), end-systolic pressure-volume relations (Emax), mechanical energy efficiency (EW/PVA) and ventricular-arterial coupling (Ea/Emax) of all groups.**

Normal=normal controls; Hypert.=hypertension; AP=angina pectoris; OMI=old myocardial infarction; MS=group of mitral stenosis; DCM=dilated cardiomyopathy.

示す。対象の EDVI は 55 ml から 264 ml にわたり、平均は  $100 \pm 44$  ml で、疾患でみると拡張型心筋症の 2 例で大であった。EF は 31% から 73% の間にあり、平均が  $57 \pm 14\%$ 、拡張型心筋症で最小であった。Emax, EW/PVA, Ea/Emax については (Fig. 3), EF と同様の傾向を示し、健常者群で最も高値であり、拡張型心筋症群で最小であった。また左室の機械的仕事効率を表わす EW/PVA は、健常者群で最も高値を示し、拡張型心筋症群で最も低値であった。これに対して Ea/Emax は、逆に拡張型心筋症群で大であり、健常者群で小であった。

心機能障害の程度と Emax, EW/PVA, Ea/Emax との間の関係をより明らかにするために、対象を左室駆出率により 3 群に分けて検討した (Fig. 4)。すなわち、正常ポンプ機能を有する A 群 ( $EF \geq 60\%$ )、中等度機能低下の B 群 ( $60\% > EF > 40\%$ )、高度低下の C 群 ( $EF \leq 40\%$ ) の 3 群である。Emax は A 群の  $5.94 \pm 2.86$  mmHg/ml/m<sup>2</sup> に対して、B 群  $3.38 \pm 1.29$  mmHg/ml/m<sup>2</sup> ( $p < 0.05$ )、C 群  $2.05 \pm 1.25$  mmHg/ml/m<sup>2</sup> ( $p < 0.01$ ) で有意に小であった。EW/PVA は A 群の 86.4 ±

4.5% に比し、B 群  $71.0 \pm 6.4\%$  ( $p < 0.01$ )、C 群  $60.6 \pm 7.1\%$  ( $p < 0.01$ ) と小であった。また Ea/Emax については、A 群  $0.45 \pm 0.30$ 、B 群  $1.01 \pm 0.28$ 、C 群  $1.52 \pm 0.77$  で、A 群が B 群、C 群よりも小であった ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.01$ )。

2. 収縮末期圧-容積関係の勾配 (Emax) と左室駆出率 (EF)

Fig. 5 に示されるように、EF と Emax との間には  $EF = 28.5 \times \log (Emax) + 39.6$  で表される正の相関関係があった ( $r = 0.67$ ,  $p < 0.01$ ,  $n = 20$ )。すなわち、EF は  $Emax = 4$  mmHg/ml/m<sup>2</sup> に注目するとそれ以上ではほぼ一定の値に保たれるが、それ以下では急激に低下した。 $Emax = 4$  mmHg/ml/m<sup>2</sup> は式では  $EF = 57\%$  に相当した。

3. 心収縮性からみた左室の機械的エネルギー効率と左室-動脈系適合

16 例について、Emax と EW/PVA ならびに Emax と Ea/Emax との関係について検討した (Fig. 6)。Emax と EW/PVA との間には、 $EW/PVA = 30.5 \times \log (Emax) + 54.8$  で表される正の相関関係があった ( $r = 0.83$ ,  $p < 0.01$ ,  $n = 16$ )。また、

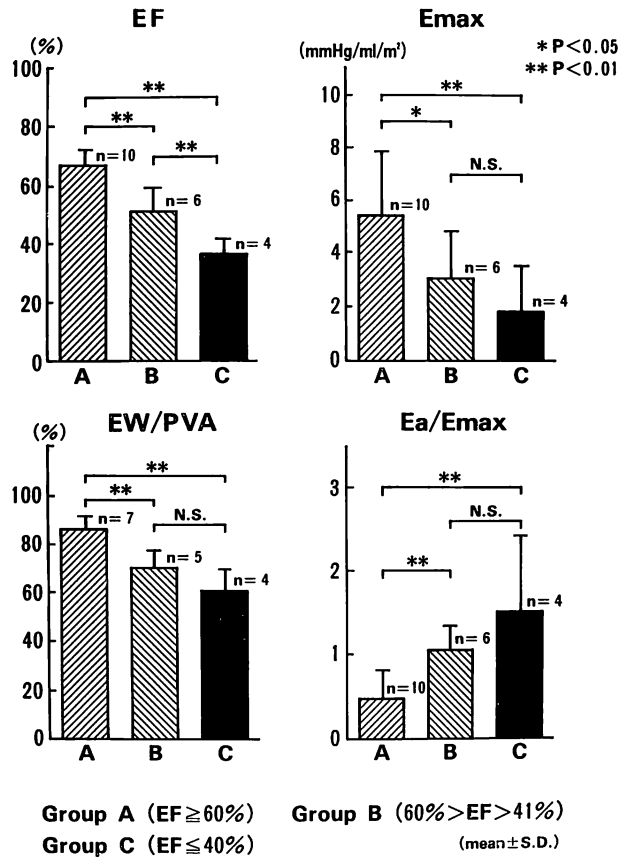


Fig. 4. Comparisons of Emax, EW/PVA and Ea/Emax in 3 subgroups.

Subjects are categorized according to their ejection fractions into as Group A (EF ≥ 60%), Group B (60% > EF > 40%) and Group C (EF ≤ 40%).

\* p < 0.05, \*\* p < 0.01.

Emax と Ea/Emax との間には  $Ea/Emax = -0.8 \times (Emax)^{0.5} + 2.6$  で表される負の相関関係が認められた ( $r = -0.85$ ,  $p < 0.01$ ,  $n = 16$ ). すなわち, 機械的エネルギー効率 は Emax が  $4 \text{ mmHg/ml/m}^2$  以上ではあまり増加しないが, それ以下では急激に低下する傾向にあった. また左室 - 動脈系適合は, Emax が  $4 \text{ mmHg/ml/m}^2$  以上の例では動脈系エラスタンスが左室エラスタンスよりも小で, その比はほぼ 0.5 以内にとどまるが, Emax が  $4 \text{ mmHg/ml/m}^2$  より小となると, 動脈系エラスタンスが左室エラスタンスを越えて急激に大と

なる関係にあった.

#### 4. 左室の機械的エネルギー効率と左室 - 動脈系適合との関係

理論的に, 機械的エネルギー効率を表わす指標 EW/PVA は, 左室 - 動脈適合状態を表わす指標 Ea/Emax を用いて, その関数として表わすことが可能である. すなわち,  $C = Ea/Emax$  とすると, 機械的エネルギー効率は  $2/(C+2)$  と表される. (文末付録参照).

一方, 今回の検討で得られた臨床例の機械的エネルギー効率と左室 - 動脈系適合との関係を

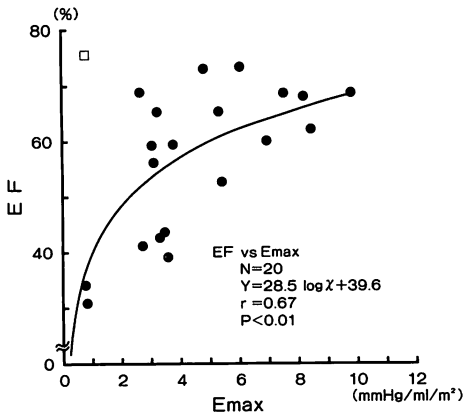


Fig. 5. Relationship between Emax and ejection fraction (EF).

There is a convex, curvilinear relationship between Emax and EF. Emax of 4 mmHg/ml/m<sup>2</sup> corresponds to EF of 57% in this equation.

みると (Fig. 7),  $EW/PVA = 99.7 - 30.5 \times Ea/(Emax)^{0.5}$  ( $r = -0.93, p < 0.01, n = 16$ ) であり,  $Ea/Emax = 0.5$  で  $EW/PVA = 78\%$ ,  $Ea/Emax = 1$  で  $EW/PVA = 69\%$ ,  $Ea/Emax = 2$  で  $EW/PVA = 57\%$  となる. これらの値は理論的に求め得る値と良く一致し, 今回の検討における測定法の妥当

性を支持するものであった.

考 按

圧-容積ループから得られる左室圧-容積面積(PVA)は, 心収縮性が一定のもとでは酸素消費量と高い直線相関を示し<sup>9~11</sup>, PVAの心筋酸素消費量に対する比(エネルギー変換効率)は負荷条件, 心拍数, 収縮性の変化によっても不変であるといわれている<sup>12</sup>. 一方, 1回拍出量-収縮末期圧関係で表されるEaはある定常状態における動脈系エラスタンスを表わし, 収縮力を表わすEmaxとの比Ea/Emaxは左室-動脈系適合状態を表わす<sup>3</sup>. それゆえ, これらの概念を用いると, 左室の機械的エネルギー効率やある与えられた拡張容積から左室のなす1回外部仕事量を最大にするような後負荷条件の推定が可能である<sup>3,13</sup>. 本研究では, コンダクタンスカテーテル法を用いて左室圧-容積ループを記録し, そのループの解析から, 種々の程度の心機能を有する左室の機械的エネルギー効率とその左室-動脈系適合状態について検討した.

まずEFで表わされる心ポンプ機能とEmaxで表わされる心収縮力の関係についてみると, EF

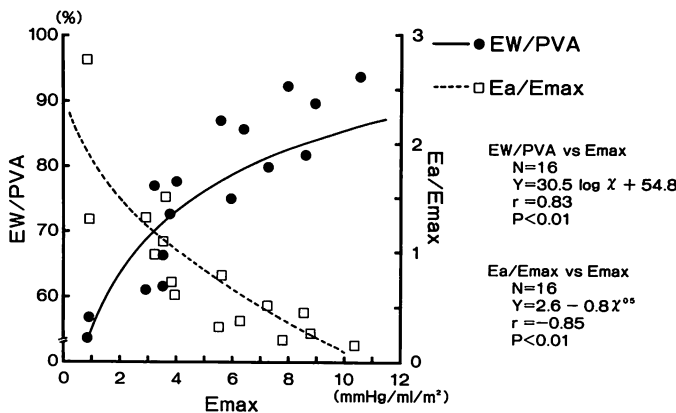


Fig. 6. Relationships between Emax and EW/PVA, and between Emax and Ea/Emax.

There is a convex, curvilinear relationship between Emax and EW/PVA, and a concave, curvilinear relationship between Emax and Ea/Emax. In both relationships, the point close to Emax of 4 mmHg/ml/m<sup>2</sup> seems to be critical.

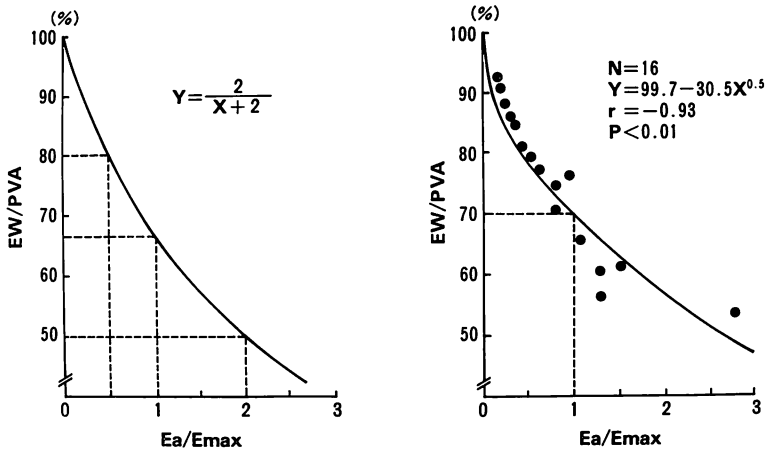


Fig. 7. Expected and measured relationships between EW/PVA and Ea/Emax. Measured relationship (right panel) matched well with the expected correlation (left panel).

と  $E_{max}$  との間には正の指数関係が認められた。 $E_{max}$  が  $4 \text{ mmHg/ml/m}^2$  以上では EF は比較的一定に保たれるが、 $4 \text{ mmHg/ml/m}^2$  以下では EF は急激に低下していた。それゆえ、 $E_{max}$  は心ポンプ機能としては代償されている収縮力低下例を鋭敏に検出し得ると考えられる。なお、本研究の結果では  $E_{max}$  の  $4 \text{ mmHg/ml/m}^2$  に相当する EF は 57% であった。

つぎに左室の機械的エネルギー効率とその左室と動脈系の適合状態についてみると、心ポンプ機能が保たれている正常な左室では、機械的エネルギー効率を表わす EW/PVA は  $86.4 \pm 4.5\%$  と最も高値であった。しかし、EF が 40~60% の中等度低下例では EW/PVA は  $71.0 \pm 6.4\%$  とやや低下し、高度低下例では EW/PVA は  $60.6 \pm 7.1\%$  と最も低下していた。つまり正常な左室では一定の入力されたエネルギーから効率よく仕事を行っているが、心ポンプ機能が障害された左室では、その効率が次第に低下しているのが認められた。この時の左室-動脈系の適合状態についてみると、健常例では適合状態を表わす指標である  $E_a/E_{max}$  が  $0.45 \pm 0.30$ 、中等度低下例では  $1.01 \pm 0.28$ 、高度低下例では  $1.52 \pm 0.77$  であった。動脈系と左室のエラスタンスが等しい場合 ( $E_a/E_{max}$

= 1) に外的仕事量が最大となるから<sup>15)</sup>、中等度心機能低下例では与えられた左室拡張末期容積から発生される外的仕事量が最大となるように動脈エラスタンスが変化しているのであり、健常例では与えられた動脈負荷に対して収縮予備力が十分にある状態といえよう。これに対して高度低下群では、動脈系エラスタンスの変動幅を越えて収縮力が低下している状態と考えられ、実際、我々の結果からみると  $E_{max}$  は  $E_a$  の約 2/3 であり、安静時でも十分な 1 回拍出量の維持が難しくなっている状態が示唆された。これらの変化は  $E_a/E_{max} = 1$ 、あるいは左室駆出率 = 57% の点までは比較的緩やかに進行し、それ以下では急激に進行する。つまり EF = 57%、 $E_{max} = 4 \text{ mmHg/ml/m}^2$  が臨界点である。この関係を機械的エネルギー効率に置き換えてみると、臨界点は 69% であった。

以上から、なんらかの原因によって左室が障害されると、左室と動脈系は、機械的エネルギー効率を犠牲にしながらも、外的仕事量を維持し得るようなより至適な適合を求めて変動するものと理解される。しかし、ある限界を越えて心収縮力が低下した場合には、機械的エネルギー効率も、外的仕事量も低下していくのであろう。

なお、健常例における左室-動脈系適合の値



0.45±0.30 は, Burkhoff, Sagawa らの解析モデルを用いた理論的検討<sup>7)</sup>の値とほぼ一致し, 臨床例で行った我々の結果の妥当性を支持するものと思われた。

### 結 語

収縮性が正常に保たれている左室では機械的エネルギー効率が高く, 与えられた動脈負荷に対して収縮予備力が十分にある状態であった。左室駆出率が 40~60% の中等度低下例では, 機械的エネルギー効率はやや低下しているものの, 与えられた左室拡張末期容積から発生される外的仕事量が最大となるように, 動脈エラスタンスが変化していた。しかし, 左室駆出率が 40% 以下の高度低下例では, 動脈系エラスタンスの変動幅を越えて収縮力が低下していた。以上から, 左室は収縮性が低下した場合でも, 機械的エネルギー効率を多少犠牲にしながらも, 動脈系と連動して十分な仕事量の維持に努めると考えられる。

### 付 録

#### EW/PVA と Ea/Emax の理論的關係

外的仕事量 (EW) を収縮末期圧 (Pes) と 1 回拍出量 (SV) の積と近似すると,

$$\begin{aligned} EW &= SV \times \text{End-systolic pressure (Pes)} \\ &= (EDV - ESV) \times Pes \end{aligned}$$

さらにポテンシャルエネルギー (PE) は

$$PE = \frac{(ESV - V_0) \times Pes}{2}$$

と置き換えることが可能であり, PVA=PE+EW であるから, 機械的エネルギー効率 (EW/PVA) は左室容積の関数として置き換えることが出来る。すなわち,

$$\frac{EW}{PVA} = \frac{2 \times (EDV - ESV)}{(2 \times EDV) - ESV - V_0} \quad (1)$$

Emax line と Ea line の収縮末期圧 (Pes) は等しいことから, Ea/Emax は左室容積の関数として置き換えることが可能である。すなわち,

$$Pes = E_{max} \times (ESV - V_0) = E_a \times (EDV - ESV)$$

$$\therefore \frac{E_a}{E_{max}} = \frac{(ESV - V_0)}{(EDV - ESV)}$$

この式を変形し, Ea/Emax=C とすると,

$$ESV = \frac{C \times EDV + V_0}{C + 1}$$

ここで上式を (1) に代入すると,

$$\begin{aligned} \frac{EW}{PVA} &= \frac{2 \times (EDV - V_0)}{C \times (EDV - V_0) + 2 \times (EDV - V_0)} \\ &= \frac{2}{C + 2} \end{aligned}$$

となる。

### 要 約

種々の程度の心ポンプ機能を有する患者の左室圧-容積ループをコンダクタンスカテーテル法により求め, 左室の機械的エネルギー効率ならびにその時の左室-動脈系適合について検討し, 以下の結果を得た。

1. 収縮末期圧-容積関係 (Emax) と左室駆出率 (EF) との間には, EF=28.5×log (Emax)+39.6 で表される関係があった (r=0.67, p<0.01, n=20). すなわち, Emax≥4 mmHg/ml/m<sup>2</sup> では EF はほぼ一定の値に保たれるが, Emax<4 mmHg/ml/m<sup>2</sup> では EF は急激に低下する。

2. Emax と機械的エネルギー効率 (EW/PVA) との間には, EW/PVA=30.5×log (Emax)+54.8 で表される関係がみられた (r=0.83, p<0.01, n=16). また, Emax と Ea/Emax (左室-動脈系適合) との間には Ea/Emax=-0.8×(Emax)<sup>0.5</sup>+2.6 で表される関係が認められた (r=-0.85, p<0.01, n=16). すなわち, EW/PVA は Emax が 4 mmHg/ml/m<sup>2</sup> 以上ではあまり増大しないが, それ以下では急激に低下する傾向にある。また Ea/Emax は, Emax が 4 mmHg/ml/m<sup>2</sup> 以上の例ではその比はほぼ 0.5 以内にとどまるが, Emax が 4 mmHg/ml/m<sup>2</sup> より小となると急激に大となる。

これらの結果から, 左室は収縮性が障害された場合でも, 機械的エネルギー効率を犠牲にしながら, 動脈系と連動して十分な仕事量の維持に努めると考えられる。圧-容積関係の応用は, 不全心の評価と治療についての新しい視点を提供する。

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. *Circ Res* **32** : 314-322, 1973
- 2) Suga H : Total mechanical energy of a ventricle model and cardiac oxygen consumption. *Am J Physiol* **236** : H498-H505, 1979
- 3) Sunagawa K, Maughan WL, Burkhoff D, Sagawa K : Left ventricular interaction with arterial load studied in isolated canine ventricle. *Am J Physiol* **245** : H773-H780, 1983
- 4) Baan J, Van der Velde ET, De Bruin HG, Smeenk GJ, Koops J, Van Dijk AD, Temmerman D, Senden J, Buis B : Continuous measurement of left ventricular volume in animals and humans by conductance catheter. *Circulation* **70** : 812-823, 1984
- 5) Burkhoff D, vander Velde E, Kass DA, Baan J, Maughan WL, Sagawa K : Accuracy of volume measurement by conductance catheter in isolated ejecting canine hearts. *Circulation* **72** : 440-447, 1985
- 6) Kass DA, Yamazaki T, Burkhoff D, Maughan WL, Sagawa K : Determination of left ventricular end-systolic pressure-volume relationships by the conductance (volume) catheter technique. *Circulation* **73** : 586-595, 1986
- 7) Burkhoff D, Sagawa K : Ventricular efficiency predicted by an analytical model. *Am J Physiol* **250** : R1021-R1027, 1986
- 8) Van-Fossen D, Fontana ME, Unverferth DV, Walker S, Kolibash AJ, Bashore TM : Safety and efficacy of inferior vena caval occlusion to rapidly alter ventricular loading conditions in idiopathic dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol* **59** : 937-942, 1987
- 9) Suga H, Hayashi T, Shirahata M : Ventricular systolic pressure-volume area as predictor of cardiac oxygen consumption. *Am J Physiol* **240** : H39-H44, 1981
- 10) Suga H, Hayashi T, Suehiro S, Hisano R, Shirahata M, Ninomiya I : Equal oxygen consumption rates of isovolumic and ejecting contractions with equal systolic pressure volume areas in canine left ventricle. *Circ Res* **49** : 1082-1091, 1981
- 11) Suga H, Hisano R, Goto Y, Yamada O, Igarashi Y : Effect of positive inotropic agents on the relation between oxygen consumption and systolic pressure volume area in canine left ventricle. *Circ Res* **53** : 306-313, 1983
- 12) Suga H, Yamada O, Goto Y, Igarashi Y, Ishiguri H : Constant mechanical efficiency of contractile machinery of canine left ventricle under different loading and inotropic conditions. *Jpn J Physiol* **34** : 679-698, 1984
- 13) Sunagawa K, Maughan WL, Sagawa K : Optimal arterial resistance for the maximal stroke work studied in isolated canine left ventricle. *Circ Res* **56** : 586-595, 1985