

虚血性心疾患における左心機能の検討

—左心カテーテル検査および左室造影映画像の解析—

川崎医科大学 胸部心臓血管外科

藤原 巍, 山根 正 隆

高原 郁 夫, 佐藤 方 紀

勝村 達 喜

(昭和51年9月30日受付)

Evaluation of the left ventricular function in ischemic heart disease

By left side cardiac catheterization
and left ventricular cine-angiography

Takashi Fujiwara, Masataka Yamane, Ikuo Takahara

Masaki Sato and Tatsuki Katsumura

Division of Thoracic and Cardiovascular Surgery,
Department of Surgery, Kawasaki Medical School

(Accepted on Sept. 30, 1976)

左心カテーテル検査 および 35 mm 左室造影映画像の解析により, 正常例 5 例, 虚血性心疾患 13 例の左室機能を計測し, 検討した.

1. 正常例の左室機能は次の如くであった. 左室拡張終期容量 122.2 ± 9.2 ml, 収縮終期容量 35.5 ± 6.2 ml, 一回心拍出量 86.7 ± 6.1 ml, 駆血率 71.3 ± 3.4 %, 左室拡張終期圧 9.4 ± 0.4 mmHg, 平均駆出率 299.6 ± 22.2 ml/sec, 左室一回仕事量 119.4 ± 18.1 gM, 左室円周平均短縮率 23.1 ± 2.3 cm/sec, 左室一回仕事量, 拡張終期圧比 12.6 ± 1.6 gM/mmHg であった.

2. 狭心症, 左室壁不共同収縮をともなわない心筋硬塞例では左室拡張終期圧を除く各種左室機能は殆んど正常範囲であった.

3. 左室壁不共同収縮をともなう心筋硬塞群では著明な左室機能の低下を示した.

4. 虚血性心疾患では左室拡張終期圧および左室拡張終期容量が左室機能を最も敏感に反映し, 有効な指標である.

The left ventricular functions have been studied by means of the analysis of left heart catheterization and left ventricular cine-angiogram in the 13 cases of ischemic heart disease and 5 normal cases.

1. The left ventricular functions of the cases without cardiac disease are as follows:

End-diastolic volume = 122.2 ± 9.2 ml (mean value and standard error), end-systolic volume = 35.5 ± 6.2 ml, stroke volume = 86.7 ± 6.1 ml, ejection fraction = $71.3 \pm 3.4\%$, left ventricular end-diastolic pressure = 9.4 ± 0.4 mmHg, mean systolic ejection rate = 299.6 ± 22.2 ml/sec, left ventricular stroke work = 119.4 ± 18.1 gM, mean circumferential shortening rate = 23.1 ± 2.3 cm/sec, left ventricular stroke work/end-diastolic pressure = 12.6 ± 1.6 gM/mmHg.

2. The cases with angina pectoris or myocardial infarction which is not associated with left ventricular asynergy show normal left ventricular functions except the left ventricular end-diastolic pressure.

3. The cases with myocardial infarction which is associated with left ventricular asynergy reveal a marked fall in the left ventricular functions.

4. Left ventricular end-diastolic pressure and volume is the most sensitive and useful criterion for the left ventricular functions in the cases with ischemic heart disease.

はじめに

近年、冠動脈造影、左室造影法が比較的安全におこなわれるようになり虚血性心疾患に対して Aorto-coronary bypass 術や硬塞部切除など積極的な外科的治療が試みられ、よい成績があげられるようになってきた。

左心カテーテル検査や左室造影による左心系の血行動態、左室運動の解析はまだ端緒にすぎたばかりで、その意義については不明な点が多いが、虚血性心疾患においては臨床症状や心電図変化などとは異なった貴重な左室機能の各種の客観的データを与えてくれ、手術適応の決定、手術成績、予後の推定のための大きな要素となる。

我々は川崎医大胸部心臓血管外科でおこなった冠動脈造影、左心カテーテル検査、左室造影像を解析し、とくに虚血性心疾患の各種左室機能について検討を加えたので報告する。

検査の対象と方法

臨床所見や諸検査で冠循環や左室機能に異常を認めないと考えられた5例を対照群とし、狭心症7例、心筋硬塞6例を対象とした。年齢は対照群では22歳より38歳、男2、女3例であり、狭心症群は全例労作性狭心症で40歳より

59歳、全例男、心筋硬塞群は21歳より44歳で全例男であった。

臨床的重症度分類では狭心症群、心筋硬塞群はともに NYHA II 期までの症例で臨床的に心不全を有した症例はない。

左心カテーテル検査は Pig tail catheter を Seldinger 法により大腿動脈より挿入し、心内圧の測定は日本光電社製ポリグラフ、ミンゴグラフで記録した。とくに時間測定は 100 mm/sec のスピードで記録した。

左心カテーテル検査では①大動脈収縮期圧、拡張期圧、平均圧、②左室駆出時間 (SEP)、③左室収縮期圧、拡張終期圧 (LVEDP) を測定した。

左室造影は圧測定に使用した Pig tail catheter から 80% アンギオコンレイ 40~50 cc を 30 kg/cm^2 の圧で左室内に注入し、左室の全貌を最もよく現わす右前 30° の第1斜位でフォトソニック 35 ハイスピードカメラを使用し、毎秒 60 コマで 35 mm 映画撮影をおこなった。フィルムはコダック Tri-X を使用した。なお映画の一コマ一コマに心電図を同時記録した。

映画撮影の拡大率を一定にするため第1斜位の心尖拍動の位置から image intensifier 面までの距離を一定にした。また映画像では中心部と周辺部で拡大率が異なるため、産婦人科で骨

盤のX線計測に用いる銅板に0.5 cm おきに小孔をあけた計測盤を心尖拍動の高さにおいて映画撮影をおこない、9インチと5インチのimage intensifierで撮影した映画像の部位別の拡大率の変化をしらべた。その結果、9インチimage intensifierを使用し、その中心部に左室像を位置した時には拡大率の差は殆んど無視し得ることが判明した。したがって我々は9インチimage intensifierを使用し、映画の左室像は拡大率が同一として計測した。

撮影した左室造影35 mm 映画はTagarno 35.3により1コマづつ連続投影し、拡張終期、収縮終期像をグラフ用紙上に複写し、さらにスローモーション映写で左室壁の動きを観察、不共同運動の有無をみた。

左室容積の計測

左室容積の計測は各種指標の基本となるものであり、これまでに左室を楕円回転体として考えるGreen法¹⁾、Kasser²⁾と、多数の回転円板の集積体と考えるSimpson法などがあるが、虚血性心疾患では左室は楕円回転体とは著るしく異なる例が多いことから、Green法¹⁾、Kasser法²⁾は大きな誤差を生じるおそれがあるとされている³⁾。

我々は左室を回転円板の集積体と考えるSimpsonの方法を用い、長軸上4 mmの厚さにスライスし、次の式により左室容積を求めた。

$$V = \frac{\pi h}{f} \sum (r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_n^2)$$

h : 0.4 cm

f : 拡大率

r : 各円板の半径

左室容量および左心カテーテル検査で得られた心内圧から次の諸量を計算した。

- ④ 左室拡張終期容量 (LVEDV) ml
- ⑤ 体表面積 1 m^2 当りの左室拡張終期容量
- ⑥ 左室収縮終期容量 (LVESV) ml
- ⑦ 体表面積 1 m^2 当りの左室収縮終期容量
- ⑧ 一回心拍出量 (SV) ml

$$SV = LVEDV - LVESV$$

- ⑨ 体表面積 1 m^2 当りの一回心拍出量 ml/ m^2

- ⑩ 駆血率 (EF) %

$$EF = \frac{SV}{LVEDV} \times 100$$

- ⑪ 左室平均駆出率⁴⁾ (MSER) ml/sec.

$$MSER = \frac{SV}{SEP(\text{左室駆出時間})}$$

- ⑫ 左室円周平均短縮率⁵⁾ (MCSR) cm/sec.

左室を拡張終期容量、収縮終期容量の球体と仮定し、その赤道面の円周の短縮速度をあらわす。

$$MCSR = \frac{2\pi(rd - rs)}{SEP}$$

$$LVEDV = \frac{4}{3} \pi rd^3$$

$$LVESV = \frac{4}{3} \pi rs^3$$

rd : 左室拡張終期容量の球体の半径

rs : 左室収縮終期容量の球体の半径

- ⑬ 一回左室仕事量⁶⁾ (SW) gM

$$SW = \frac{SV \times (\text{mean } A_o - LVEDP)}{100} \times 1.36$$

- ⑭ 体表面積 1 m^2 当りの一回左室仕事量 = 左室一回仕事係数

成 績

検査の対象とした症例を次の如く4群に分けて検討し、統計は平均値と標準誤差で表わした。

- I 群 正常例——5例
- II 群 狭心症群——7例
- IIIa 群 不共同収縮をともしない心筋硬塞——2例
- IIIb 群 不共同収縮をともし心筋硬塞——4例

1, 左室拡張終期容量

- I 群 91.7~148cc 平均 $122.2 \pm 9.2\text{cc}$
- II 群 91.9~166.5cc 平均 $139.2 \pm 11.8\text{cc}$
- IIIa 群 116.1~151.3cc 平均 133.7cc
- IIIb 群 161.7~248cc 平均 $201.9 \pm 19\text{cc}$

左室の不共同収縮をともし心筋硬塞群に左室の著明な拡張を示した。

2. 左室収縮終期容量

- I 群 24.9~55.2cc 平均 $35.5 \pm 6.2\text{cc}$

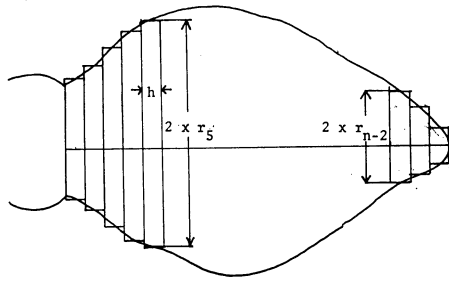


Fig. 1. Calculation of left ventricular volume

$$V = \frac{\pi h}{f^3} \sum [r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_n^2]$$

h: 0.4 cm

f: magnification rate

II 群 19.8~78.6cc 平均 44.9±8.8cc

III_a 群 33cc, 41.9cc 平均 37.5cc

III_b 群 69.4~151.6cc 平均 107.9±18.3cc

左室収縮終期容量, すなわち左室内残留血液量は狭心症群で正常例よりやや増加するが, 不共同収縮をともなう心筋硬塞群では正常例の約3倍と著明な増加を示した。

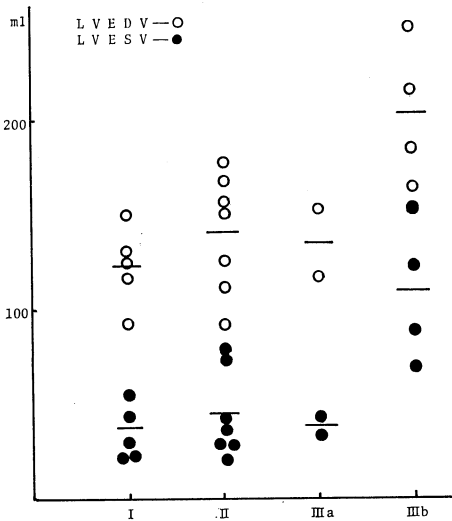


Fig. 2. Left ventricular end-diastolic and end-systolic volume.

I : normal

II : angina on effort

III_a : myocardial infarction without left ventricular asynergy.

III_b : myocardial infarction with left ventricular asynergy.

3. 体表面積 1 m² 当りの左室容量

体表面積 1 m² 当りの左室拡張終期容量, 収縮終期容量はほぼ同じ傾向の変動を示し, 不共同収縮をともなう心筋硬塞群では両者ともに著明に増加を示した。

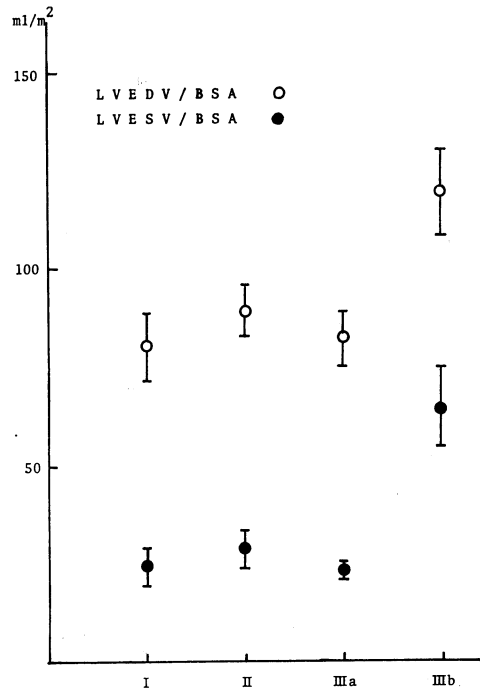


Fig. 3. Left ventricular end-diastolic and end-systolic volume per BSA.

4. 一回心拍出量 (Stroke volume)

I 群 64.1~99.9cc 平均 86.7±6.1cc

II 群 63.3~132.1cc 平均 94.1±8.6cc

III_a 群 83.1cc, 109.4cc 平均 96.3cc

III_b 群 92.6~96.4cc 平均 94.2±1.0cc

一回心拍出量は4群ともにほぼ同じ値を示し。左室のつよい拡張を示した不共同収縮をともなう心筋硬塞群でも心拍出量はみかけ上正常に保たれている。

5. 駆血率 (Ejection fraction)

左室のポンプ機能の最もよい指標となる駆血率は, I 群, II 群, III_a 群ともに70%前後と良好に保たれているが, 不共同収縮をともなう心筋硬塞群では38.9~58.1%, 平均 47.8±8.3%と駆血率の低下を示した。

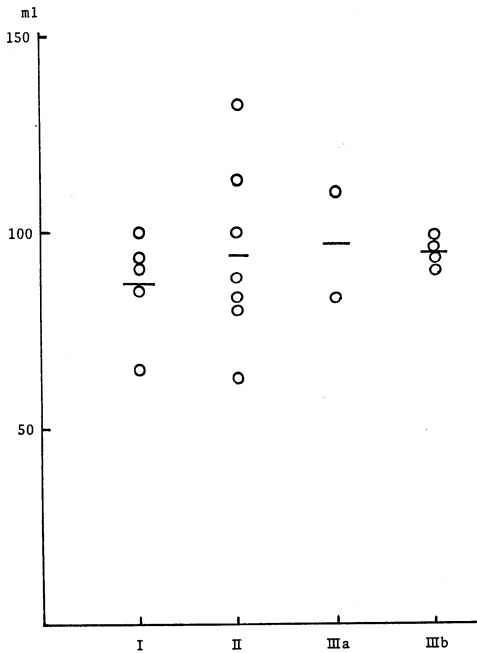


Fig. 4. Stroke volume

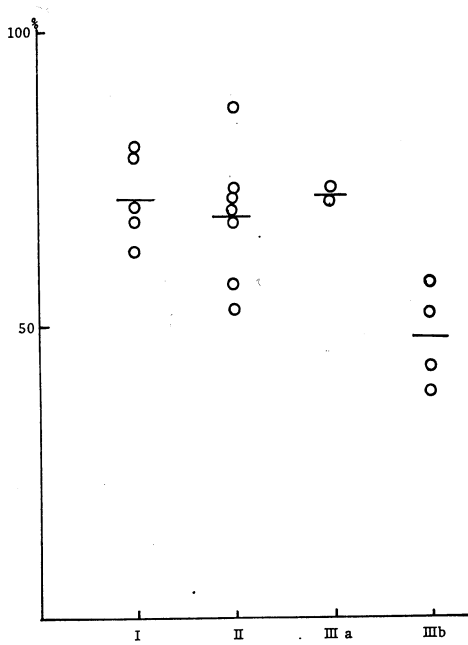


Fig. 5. Ejection fraction

6. 左室平均駆出率 (Mean systolic ejection rate)

一回心拍量をその駆出時間で除した左室平均駆出率は全群ともに 300 cc/sec 前後で正常

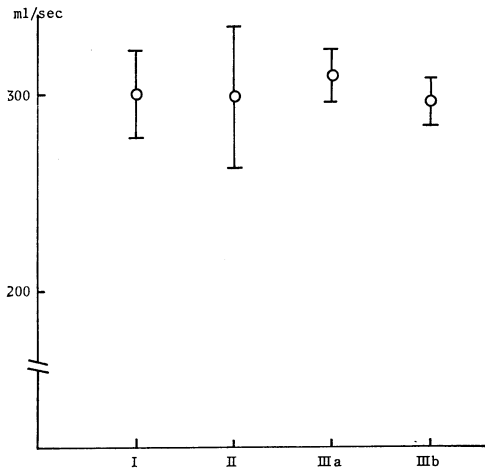


Fig. 6. Mean systolic ejection rate

に保たれている。

7. 左室円周平均短縮率 (Mean circumferential shortening rate)

左室腔を長軸に 0.4 cm の厚さの円板の集積体として容積を求めたが、これを同じ容積の球体と仮定し、その赤道周囲の短縮速度は、

I 群 18.4~28.7 cm/sec

平均 23.1 ± 2.3 cm/sec

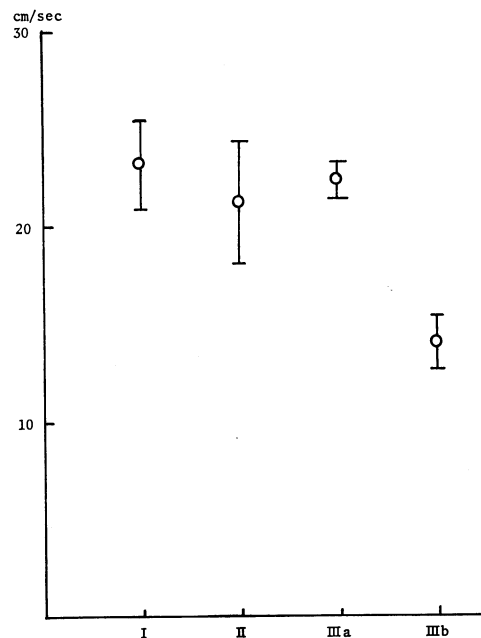


Fig. 7. Mean circumferential shortening rate

II 群 13.1~37.9 cm/sec
 平均 21.1±3.1 cm/sec
 III_a 群 21.4, 23.1 cm/sec
 III_b 群 11.4~16.7 cm/sec
 平均 13.9±1.4 cm/sec

と左室の拡張, 駆血率の悪い III_b 群で低値を示した。

8. 左室拡張終期圧

左室拡張終期圧は左心カテーテル検査で容易に測定され, 前述した各種の心機能パラメーターと異なり, 正常群と各疾患群であきらかな差を示した。すなわち,

I 群 8~10 mmHg 平均9.4±0.4 mmHg
 II 群 9~30 mmHg 平均18±2.7 mmHg
 III_a 群 13, 19 mmHg 平均16 mmHg
 III_b 群 16~34 mmHg 平均23.5±3.8 mmHg

であり臨床的に心不全を示さない例でも, 心機能を敏感に反映している。

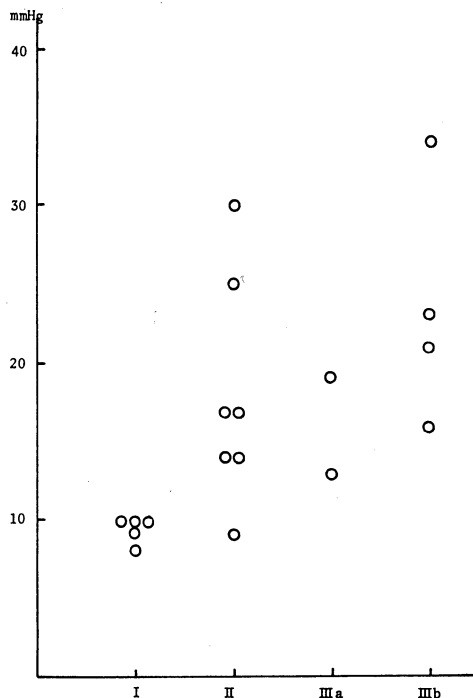


Fig. 8. Left ventricular end-diastolic pressure

9. 左室一回仕事係数

体表面積 1m² 当りの左室一回仕事量は

I 群 80.2~182 gM/m²
 平均 119.4±18.1 gM/m²
 II 群 68~175 gM/m²
 平均 131±13.4 gM/m²
 III_a 群 105.1, 162 gM/m²
 III_b 群 83.1~136.8 gM/m²
 平均 117.3±12.0 gM/m²

左室一回仕事量には体血圧の因子が加わるため, 左室高血圧を示した狭心症群にやや高い傾向がみられたが, 心筋硬塞群でも低値を示す例はなく, ほぼ正常に保たれていた。

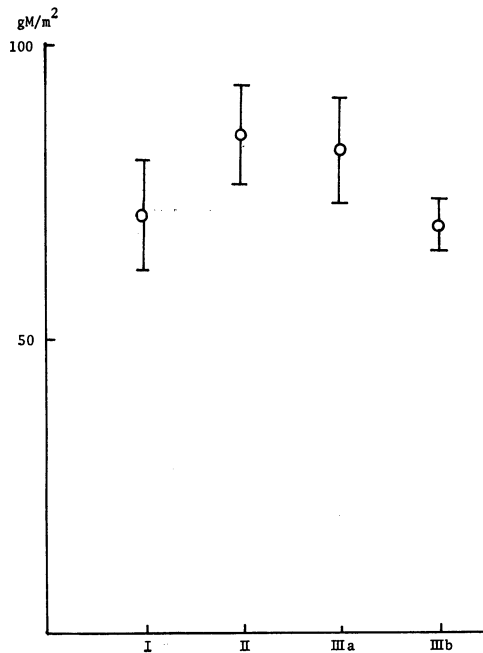


Fig. 9. Stroke work index

10. 左室仕事量, 左室拡張終期圧比

心機能の低下はまず, 左室拡張終期圧の上昇, ついで心不全が表われるにつれて左室仕事量の低下がみられるが, 両者の比を各群別にみると,

I 群 9.95~18.2 gM/mmHg
 平均 12.6±1.6 gM/mmHg
 II 群 4.0~15.0 gM/mmHg
 平均 8.4±1.6 gM/mmHg
 III_a 群 8.1, 8.5 gM/mmHg
 III_b 群 2.4~8.1 gM/mmHg
 平均 5.6±1.2 gM/mmHg

と狭心症群，心筋硬塞群では正常群より低値を示したが，我々の症例では心不全例がなく，左室一回仕事量は 4 群ともに殆んど変化がみられないことから，この低値の原因は左室拡張終期圧の上昇によるもので，左室一回仕事量の因子は加わっていない。

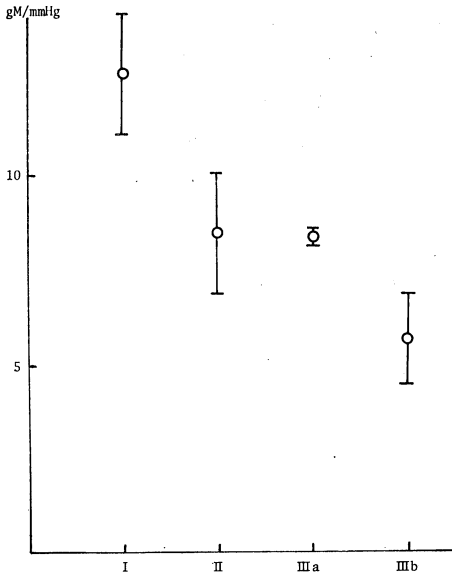


Fig. 10. Stroke work per left ventricular end-diastolic pressure

11. 左室拡張終期容量と左室拡張終期圧との関係

左室機能の低下は左室拡張終期圧の上昇と左室の拡大をきたすが，両者の関係をみると図11の如く，左室拡張終期圧の上昇は，左室拡張終期容量の増加をほぼ直線的にきたし， $r=0.638$ で両者の間に有意の相関を示した。しかし，この関係には限度があることはいうまでもない。

考 按

著者らは左心カテーテル検査および左室造影画像を用いて，虚血性心疾患の左心機能について解析，検討してきた。

左心機能低下の臨床的表現である左心不全症状を呈した例は著者らの対象例にはみられなかったため，各種の左心機能のうち，左室拡張終

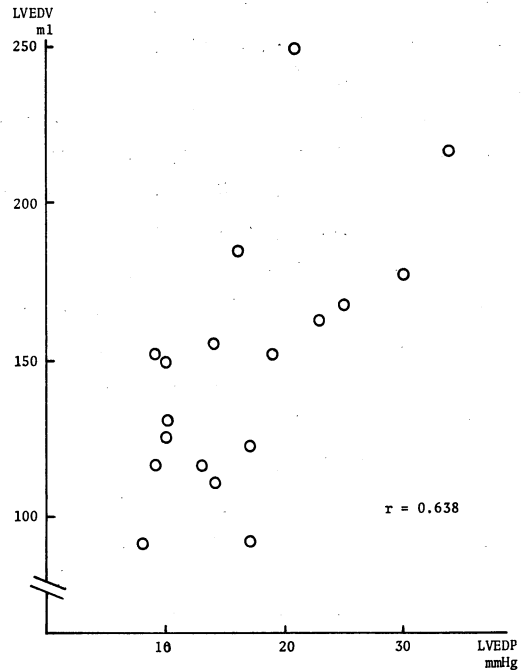


Fig. 11. Relation between left ventricular end-diastolic volume and pressure

期圧が関係したものを除いて，左室壁の不共同収縮を有する心筋硬塞群以外の各疾患群では正常例との間に殆んど差をみることはできなかった。

しかし狭心症群のなかでも，NYHAの重症度分類でⅡ期，心不全は示さない2例では，左室拡張終期容量は166.5，176.4cc，左室収縮終期容量は78.6，75.6ccと著しい拡張を示し，駆出率は52.8，56.7%，左室円周平均短縮率は13.1，15.4 cm/sec. 左室拡張終期圧は，25，30 mmHg，左室一回仕事量，左室拡張終期圧比は4.92，4.93 gM/mmHgと不共同収縮をとる心筋硬塞群とはほぼ同じ程度の左室機能の著明な低下を示しており，これらのことから左室機能の低下はかなり高度にならなければ，臨床的に心不全症状として表われないことがうかがわれる。

虚血性心疾患では何をもって左心不全の重症度を定めるかは非常に困難な問題であり，狭心痛や冠不全は左心不全とは異なる因子で，多くは左心不全の前に，あるいは全く無関係に出現

する。したがって NYHA の機能分類のように心不全を主体とした臨床的重症度分類にはあてはまらない症例が多い。

虚血性心疾患の外科的治療の目的は心臓弁膜症の手術とは異なり、左室機能の改善を主眼とするもので、したがって虚血性心疾患の重症度の分類には冠動脈造影所見、左心カテーテル検査、左室造影により得られた左心機能を重要な因子として加味したものでなければならない。

左室機能は 1) 心筋線維の収縮性、2) 心臓のポンプ作用、3) 心室壁の収縮様式の3つの機能の総和として表わされる。

1) 心筋線維の収縮性

心筋線維の収縮性の指標は左室内圧を微分して得られる $\max dp/dt^{7)}$ 、 $T-dp/dt$ 、 $dp/dt/II T^{9)}$ 、さらに $dp/dt/p$ より得られる負荷を0としたときの最大収縮速度 $V \max$ などがあげられるが、著者らは左室圧を演算回路を用いて微分し、これらの値を測定しているが、変動が非常に大きく、現在のところ、疾患別にも何ら相関をみることはできなかった。

心筋の収縮性に関するこれらの指標は心筋線維そのものの特性を表わすとされているが、この基礎となるものはとりだされた乳頭筋の実験によるもので、これを総合的にある機能をもった心臓全体にあてはめることに根本的な問題があり、臨床的な左室機能の指標とするには理論的にも、また測定上にも問題があるとされている⁹⁾。

2) 左室のポンプ作用

左室拡張終期容量、収縮終期容量、一回拍出量、駆血率、左室一回仕事量、左室平均駆血率、左室拡張終期圧、左室平均短縮率など、左室容積計測を基礎とした多数の指標が得られている。

遠藤ら⁹⁾は虚血性心疾患の左室機能を重症度と疾患群別に検討し、疾患群と左室機能の間には著者らの成績と全く同様に、心筋硬塞群だけが、すべての項目にわたって左室機能の低下を認めたが、狭心症群では正常群と殆んど差をみない。そして虚血性心疾患で左室機能の低下、心不全を有する例は心筋硬塞で広範囲の

asynergy の合併例か、心室瘤を有する例であったと報告している。

左室機能の低下は左室拡張終期容量の増加、左室拡張終期圧の上昇をまねき、著者らの成績でも両者の間には有意の相関 ($r=0.638$) を示したが、この傾向は asynergy を有する心筋硬塞群だけでなく、狭心症群にも認められた。

遠藤ら⁹⁾は各種の左室機能パラメーターのなかで、左室仕事量、左室拡張終期圧比 ($SW/LVEDP$) が臨床的重症度と最もよく一致したとのべている。著者らの成績でも、重症心不全例がなかったため左室仕事量には差を認めなかったが、左室拡張終期圧が最も敏感に左室機能を反映していることからその逆数である $SW/LVEDP$ も極めて意義のある指標と考えられる。

3) 左室収縮様式

著者らの対象とした心筋硬塞6例のうち4例に不共同収縮を認めた。左室壁の不共同収縮はその他の心筋線維の収縮力がいかに良好であってもポンプ機能は低下する⁹⁾¹⁰⁾。とくに虚血性心疾患における左室機能低下は不共同収縮の有無により大きく異なることは著者らの成績でもあきらかである。

左室壁の不共同収縮の部位によっても左室機能は異なるといわれ⁹⁾¹⁰⁾、前壁は後壁より左室機能の低下は著しいが、心尖部の不共同収縮はあまり影響はつよくないとされている。これは心臓の長径より短径の方がより左室収縮に影響が大きいとされている¹¹⁾。

不共同収縮を有する例には左室の拡張がつよいことは、不共同収縮そのものが左室の機能におよぼす影響の他に、不共同収縮のない例と同じ一回心拍出量を出すためには、健常心筋に、よりつよい負荷が加わり、この負荷に耐えるには、心筋線維の長さや収縮張力は相関するといふ Starling の法則から、筋線維の延長が、より有利となり、心拡大が生じるとされている。

結 語

左心カテーテル検査および映画による左室造

影法により虚血性心疾患の左室機能を解析し、検討した。

1. 正常例では左室拡張終期容量 122.2 ± 9.2 cc 左室収縮終期容量 35.5 ± 6.2 cc, 一回心拍出量 86.7 ± 6.1 cc, 駆血率 71.3 ± 3.4 %, 左室拡張終期圧 9.4 ± 0.4 mmHg, 平均駆出率 299.6 ± 22.2 cc/sec, 左室一回仕事量 119.4 ± 18.1 gM/sec, 左室円周平均短縮率 23.1 ± 2.3 cm/sec, 左室一回仕事量, 左室拡張終期圧比 12.6 ± 1.6 gM/mmHg であった。

2. 狭心症群では左室拡張終期圧を除いて各

種左室機能は正常例と殆んど差を認めなかった。

3. 左室壁の不共同収縮をともなう心筋硬塞群では収縮期, 拡張期ともに左室の拡張がつかなく, 一回心拍出量, 一回左室仕事量を除いてすべての左室機能の指標に著るしい低下をみた。この左室機能の低下は心不全によるものではなく, 左室壁の不共同収縮によるものである。

4. 左室機能を表わす各種の指標のうちで, 左室拡張終期圧および容量が最も敏感に左室機能を反映する。

文 献

- 1) Green, D. R., Grant, C. C., Bunnell, I.: Estimation of left ventricular volume by one-plane cineangiography. *Circulation*, 35: 61—69, 1967.
- 2) Kasser, I. S., and Kennedy, J. W.: Measurement of left ventricular volume in man by single plane cineangiography. *Invest. Radiol.* 4: 83—90, 1969.
- 3) 遠藤真弘, 酒井 章, 水庭弘進, 谷本欣徳, 小原邦義, 平塚博男, 林 久恵, 今野草二: 左室造影法と左室機能からみた手術適応と手術の評価. *胸部外科*, 27: 826—845, 1974.
- 4) Braunwald, E., Sarnoff, S. J. and Stansby, W. N.: Determinants of duration and mean rate of ventricular ejection. *Circulation Res.* 63: 319—325, 1958.
- 5) Gorlin, R., Rolett, E. L. Yurchak, P. M. and Elliott, W. C.: Left ventricular volume in man measured by thermodilution. *J. Clin. Invest.* 42: 1203—1221, 1964.
- 6) Weisse, A. B., Saffa, R. S., Levinson, G. E. Jacobson, W. W. and Regan, T. J.: Left ventricular function during the early and late stage of scar formation following experimental myocardial infarction. *Am. Heart J.* 79: 370—383, 1970.
- 7) Mason, D.: Usefulness and limitation of the rate of rise of intraventricular pressure (dp/dt) in the evaluation of myocardial contractility in man. *Am. J. Cardiol.* 23: 516—527, 1969.
- 8) Mason, D. Sonnenblick, E. M. and Ross, J.: Time to peak dp/dt: A useful measurement for evaluating the contractile state of the human heart. *Circulation* 31, 32 (Suppl II): 145, 1965.
- 9) 遠藤真弘, 小原邦義, 宮田捷一, 細田嗟一, 今野草二: 虚血性心疾患の左室機能. *心臓*, 4: 807—825, 1972.
- 10) Herman, M. V., Heinle, R. A., Klein, M. D. and Gorlin, R.: Localized disorders in myocardial contraction. Asynergy and its role in congestive heart failure. *New Engl. J. Med.* 277: 222—232, 1967.
- 11) Bishop, V. S. and Horwitz, L. D.: Left ventricular transverse internal diameter, Value in study ing left ventricular function. *Am. Heart J.* 82: 507—514, 1970