

《原 著》

心電図同期心プールシンチグラフィによる左室圧・
容量曲線の作成と心機能解析——リストモードデータ・生体アナログデータの順方向および
逆方向編集法の開発——

| | | | |
|--------|---------|---------|--------|
| 稲垣 末次* | 杉原 洋樹* | 中川 達哉* | 片平 敏雄* |
| 窪田 靖志* | 勝目 紘* | 足立 晴彦* | 中川 雅夫* |
| 松井 進** | 池谷 憲生** | 水川 勝海** | |

要旨 左室圧・容量曲線 (PV-loop) の作成・解析を安全、容易、かつ高精度にするため、心電図同期心プールシンチによる新システムを開発した。本法をアンジオテンシン II 投与による昇圧負荷に応用し、各種心疾患の後負荷増大時の反応を検討した。

対象は各種心疾患の15名。心プール法は放射性同位元素管理区域内に設置された心カテーテル検査室で施行した。同時収集した画像データおよび左室圧を、心電図 R 波を基準に、順方向および逆方向に編集し、データ精度の高い PV-loop を作成した。本法の施行は造影剤が不要、安全かつ容易で、昇圧時の反復検査も短時間に可能であった。また心機能指標の算出、PV-loop の時相別表示などの解析処理が簡易化された。E_{max} は正常例・狭心症で高値で、心筋梗塞症や僧帽弁閉鎖不全症で低下した。

従来、PV-loop は作成・解析が煩雑なため臨床応用が制限されていたが、本法は各種負荷試験に適し、重症心不全例や壁運動異常例にも適用可能で、かつ多彩な解析処理を容易にする実用的方法であり、広範な応用が期待される。

1. はじめに

左室容量と左室内圧を同一平面上にプロットして得られる左室圧・容量曲線は、容量あるいは圧単独のデータからは求め得ない心機能の評価を可能にする手法として古くから注目され¹⁾、心室の仕事量^{2,3)}、収縮性^{4~6)}、拡張期特性^{7,8)}などが検討されてきた。ヒト生体心を対象とした左室圧・容量曲線は従来、X線左室造影法により作成され

てきた^{9~11)}が、方法論としての限界¹²⁾をはじめ、造影剤に由来する血行動態の変化や使用量の制限、煩雑な手作業などの問題点があり、臨床応用が制約されてきた。心電図同期心プールシンチグラフィ (心プール法) は、非侵襲的な心機能評価法として確立されているが、近年、その心室容量曲線の作成における簡便性に注目し、心内圧データと心プール法を組み合わせた圧・容量曲線^{13~16)}が検討されている。しかし、心プール法を圧・容量曲線の作成に応用する際において、心内圧データの同時収集法、心プール法が本来もつ弱点の克服、左室絶対容量への変換法など、方法論上の解決すべき点は多い。今回、データ収集から解析処理にいたる過程を安全、容易かつ高精度で実行可能とするため、カテ先マノメータによる左室圧と心プールデータを同時収集し、順方向および逆方向

* 京都府立医科大学第二内科

** 東芝メディカル

受付：63年8月30日

最終稿受付：63年10月12日

別刷請求先：京都市上京区河原町広小路梶井町上ル
(☎ 602)

京都府立医科大学第二内科

稲垣 末次

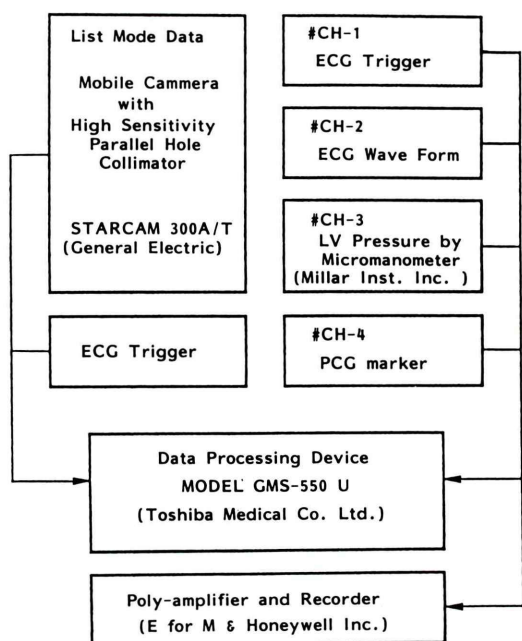


Fig. 1 A diagram showing data flow and equipments installed in cardiac catheterization labo. Radionuclide data acquired in list mode is transferred to the computer together with analog data of LV pressure, ECG and PCG simultaneously taken.

フォーマティングによる左室圧・容量曲線を作成・解析するシステムを新たに開発した。また本法を薬剤負荷へ適用し、アンジオテンシン II 投与による後負荷増大時の左室圧・容量曲線への応用を試みた。

II. 対象と方法

1) 対 象

陳旧性心筋梗塞症 3, 狭心症 5, 僧帽弁閉鎖不全症 1, 胸痛症候群 5, 肥大型心筋症 1, 計 15 名 (平均年齢 57.4 歳) である。なお胸痛症候群とは、前胸部痛のため精査したが正常冠動脈を有し明らかな心疾患を認めなかった症例で、今回正常例として用いた。

2) 検 査 室

心プール法は放射性同位元素管理区域内に設置された心カテーテル検査室で施行した。

3) データ収集

通常的心カテーテル検査の終了後, $^{99m}\text{Tc-RBC}$ (ピロリン酸生体内標識) 30 mCi が平衡に達した時点でデータ収集を開始した。画像データは、高感度平行孔型コリメータを装着した移動ガンマ

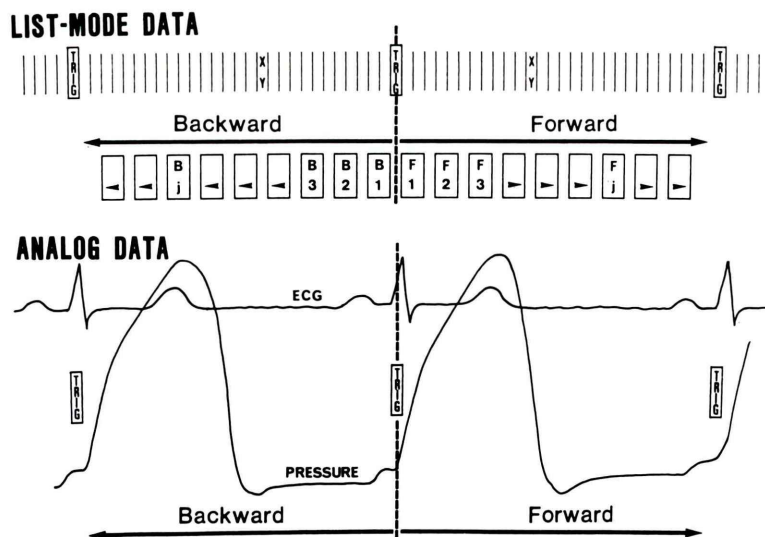


Fig. 2 A schematic illustration of forward and backward formatting of radionuclide and analog data. Radionuclide data in list mode is converted to image frames of 20 msec both forward (F₁, F₂, ...) and backward (B₁, B₂, ...) from ECG trigger. Analog data is bi-directionally formatted likewise.

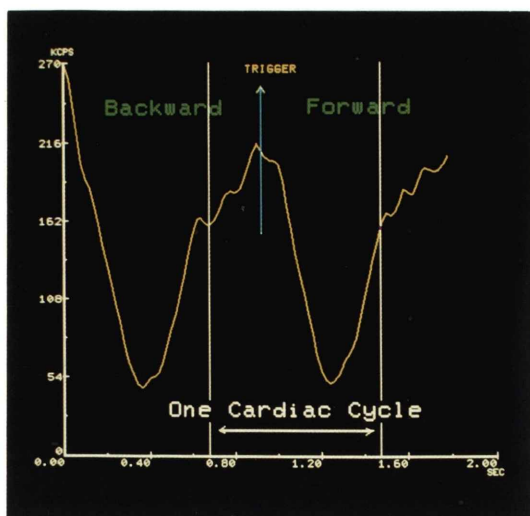


Fig. 3 For accurate volume curve from systole to late diastole, one cardiac cycle length is selected by setting a pair of cursors on the volume curve with two cycle length obtained by forward and backward formatting.

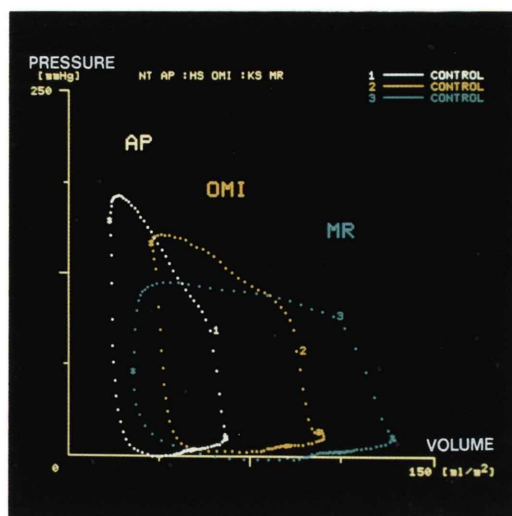


Fig. 5 Three representative PV-loops are drawn with time resolution of 10 msec. AP; angina pectoris, OMI; old myocardial infarction, MR; mitral regurgitation.

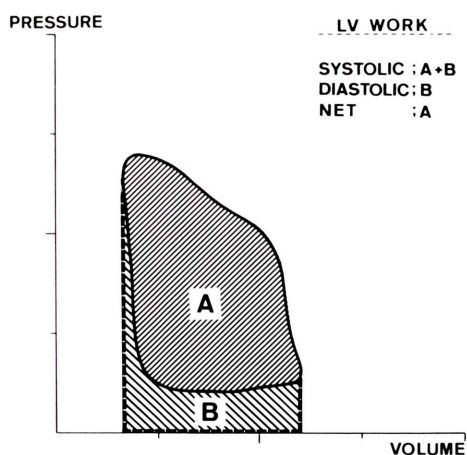


Fig. 4 The work diagram of the left ventricle.

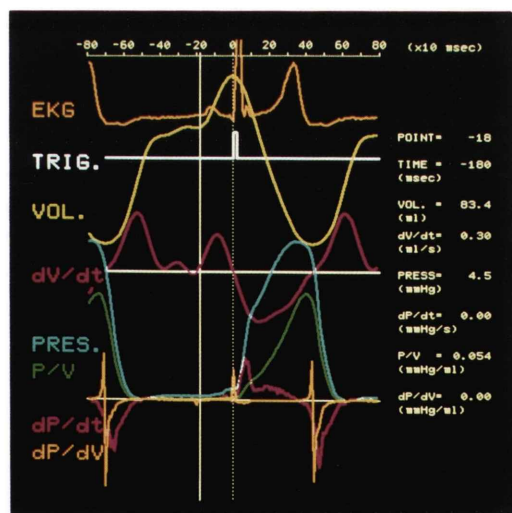


Fig. 6 Changes of ECG, LV volume, pressure and derived indices (dV/dt , P/V , dP/dV , etc.) are readily comparable with each other.

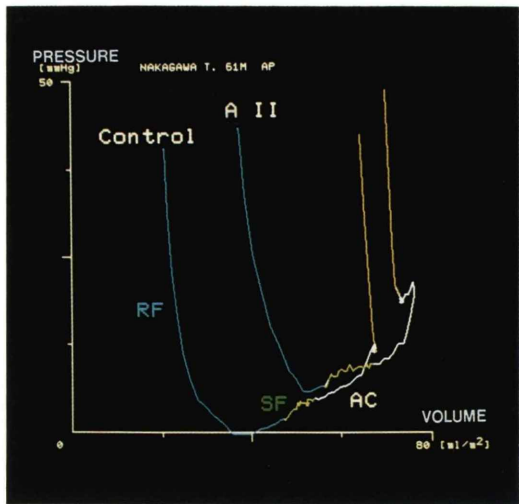


Fig. 7 Diastolic portion of PV-loop is magnified and phases of rapid filling (RF), slow filling (SF) and atrial contraction (AC) are displayed. Shift and deformation of diastolic portion are observed by infusion of angiotensin-II (AII).

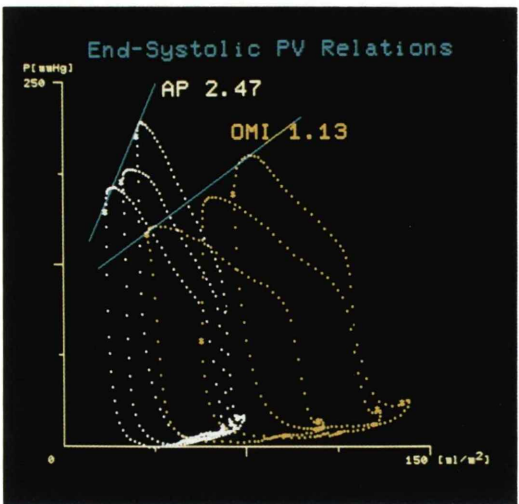


Fig. 9 Serial changes of PV-loop by the infusion of angiotensin-II are shown in cases of AP and OMI. E_{max} is determined by linear fitting of end-systolic PV points as illustrated.

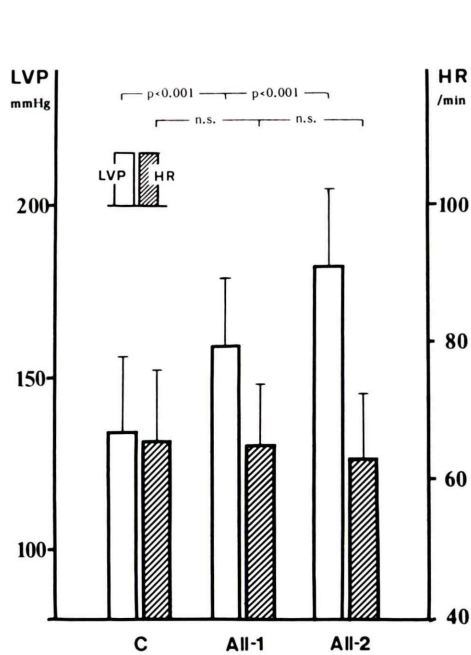


Fig. 8 Changes of peak left ventricular pressure (LVP) and heart rate (HR) by angiotensin-II. Mean LVP increased 134 mmHg to 159 mmHg at first stage (AII-1), and then to 182 mmHg at second stage (AII-2). On the other hand, HR did not change significantly.

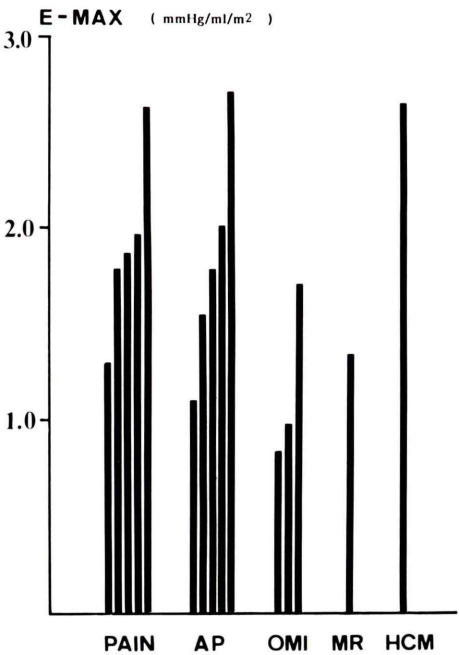


Fig. 10 E_{max} was higher in normals and AP than in OMI and MR. Chest pain syndromes with normal coronary anatomy (PAIN) were used as normal subjects in this study.

メラ STARCAM 300 A/T (General Electric) を左右の心房・心室が最も明瞭に分離される modified LAO に設定し、心電図 R 波トリガーとともにリストモードで 4500 k count 収集、核医学データ処理装置 GMS-550U (東芝) に転送した。左室圧はピッグテイル型カテ先マノメータ (Millar) により同時収集し、10 ミリ秒 (msec) ごとに生体アナログデータとしてデータ処理装置に転送した。本装置は、そのほかに 3 チャンネルの生体アナログデータが収集可能で、R 波トリガー、心電図波形、心音図などを同時収集した (Fig. 1)。

4) 左室圧・容量曲線の編集

心プール法では多数の心拍のデータの加算が必要であるため、不整脈や RR 間隔の変動に由来する精度低下への対策が不可欠である。そこで生理的条件下である洞調律において、収縮期～拡張早期～心房収縮期を通じて高い精度をもつ圧・容量曲線を作成するため、以下の編集法を開発した。リストモードおよび生体アナログデータは、不整脈の除去後、心電図 R 波トリガーを基準として順方向および逆方向にフォーマティング (1 frame = 20 msec) し、フレームモードに変換した (Fig. 2)。左室関心領域は拡張末期画像 (順方向の第 1 フレーム) において等カウント法にて設定し、バックグラウンド用関心領域を自動設定後、Fixed ROI 法にて順方向および逆方向の左室容量曲線を作成した。左室容量曲線はフーリエ級数高次項 (第六次) にて近似し、データの読み取り精度を 10 msec とした。一方、左室圧は収集された全データの中から約 20 心拍間隔で選択した 4～5 心拍を、容量曲線と同様に、順方向および逆方向に加算した。得られた連続 2 心拍分の左室圧および左室容量曲線のデータファイルから、任意の時相を起点とした 1 心周期長を選択し (Fig. 3)、左室圧・容量曲線を作成した。

5) 左室絶対容量への変換

X 線左室造影は心プールデータ収集に先立って施行し、右前斜位 single-plane にてイオパミロン-370 (iopamidol) 36 ml を 12 ml/秒で注入し 60 frame/秒で撮影した。左室容量は Cardio-200

(Kontron 社) を用いて area-length 法¹⁷⁾ で算出した。心プール法の左室カウント数から絶対容量への変換は以下の方法で行った。コントロール時の収集データにおける左室拡張末期容量 ([EDV] control) には、直前の左室造影から算出した値 ([EDV] cine) を使用した。

$$[\text{EDV}] \text{ control} = [\text{EDV}] \text{ cine}$$

その際に左室の関心領域のカウント数 ([EDC] control) および加算心拍数 ([BEAT] control) から絶対容量を求める変換計数 (F) を症例ごとに算出し、

$$F = [\text{EDV}] \text{ cine} * \frac{[\text{BEAT}] \text{ control}}{[\text{EDC}] \text{ control}}$$

昇圧負荷など第 2 回以降の左室容量 ([EDV] intervention) は、加算心拍数 ([BEAT] intervention) および ^{99m}Tc の半減期を補正後の左室カウント数 ([EDC] intervention) に変換計数を乗じて求めた。

$$[\text{EDV}] \text{ intervention}$$

$$= \frac{[\text{EDC}] \text{ intervention}}{[\text{BEAT}] \text{ intervention}} * \frac{1}{e^{-\lambda T}} * F$$

λ : decay constant of ^{99m}Tc

T: elapsed time from control acquisition

6) 昇圧負荷への応用

急性の後負荷増大時の左室機能を圧・容量曲線から検討するため、コントロール時のデータ収集に引き続きアンジオテンシン II (AII) を点滴静注し、収縮期血圧を約 10～20% 程度で段階的に上昇させ、その都度データ収集した。左室圧・容量曲線の面積から収縮期仕事量、拡張期仕事量および両者の差である外的仕事量を算出 (Fig. 4)、また収縮末期圧・容量関係から maximum time-varying elastance (E_{\max})^{4,18)} を算出した。

III. 結 果

1. データ収集および編集時間

1 回のデータ収集は 2～3 分間で終了し、負荷などで 3 回程度の収集を行う場合でも所用時間は 20 分以内であった。また、リストモードからフレームモードに変換する際には、従来、長い処理時間を必要とし不便であったが、今回使用したデータ処理装置では、変換処理専用のファームウェア

の採用により順方向および逆方向フォーマティングは数十秒で完了し、きわめて実用的であった。

2. 各種心疾患における左室圧・容量曲線

本法により作成した狭心症、陳旧性心筋梗塞症、僧帽弁閉鎖不全症のコントロール時における左室圧・容量曲線の代表例を示す (Fig. 5)。縦軸は左室圧、横軸は体表面積で補正した左室容量であり、ループを構成する各点は 10 msec ごとのデータである。

3. 拡張期左室圧・容量曲線の時相別表示

本法の左室圧・容量曲線は、収縮期から拡張早期は順方向フォーマティングにより、他方、拡張中期から心房収縮期にかけては逆方向フォーマティングにより編集されたもので、拡張期においてもその精度低下が少ない。左室圧・容量曲線の各時相を心電図および左室容量曲線やその一次微分を参考に決定し (Fig. 6)、拡張期の時相別に表示することも容易であった (Fig. 7)。

4. AII 投与による後負荷増大時の左室圧・容量曲線

コントロールデータ収集後に施行した2段階の昇圧負荷において、最大左室内圧は全症例の平均値で投与前の 135 mmHg から、第一段階で 157 mmHg (16.3% 増加)、第二段階で 181 mmHg (34.1% 増加) へ昇圧されたが、心拍数はそれぞれ 64.2/min, 64.3/min, 64.1/min であり変化を認めなかった (Fig. 8)。狭心症および陳旧性心筋梗塞症の結果例 (Fig. 9) では 投与前の左室圧・容量曲線に対し、昇圧後は右上方へ移動するとともにループは縦方向に延長し、昇圧に応じて変化した。コントロールおよび2段階の昇圧時の収縮末期圧・容量関係は、ともにほぼ直線的であり、回帰直線の勾配から求めた E_{max} はそれぞれ 2.47 (mmHg/ml/m²)、1.13 (mmHg/ml/m²) であった。同様に全症例で E_{max} を算出すると、正常例とみなした胸痛症候群や狭心症で高値であったが、陳旧性心筋梗塞症や僧帽弁閉鎖不全症では低値を示した (Fig. 10)。一方、収縮期仕事量、拡張期仕事量およびその差の外的仕事量は、昇圧とともに増加した (Fig. 11)。

IV. 考 案

心室の圧・容量曲線は、Frank¹⁾ による最初の報告以来、収縮末期の圧・容量関係から収縮性^{4~6,18)}、拡張期部分から拡張特性^{19~22)}、またループの面積から算出した仕事量^{2,3)} により心機能が評価されてきた。動物実験での成果の一部は、ヒト生体心においても試みられ、正常心および病的心の左室収縮能^{23~26)} や拡張期動態^{27,28)} が研究されてきた。しかしヒト生体心における正確な左室容量の計測¹²⁾ は容易でない。従来、左室造影法が golden standard として用いられてきたが、多数のシネフィルムのトレースによる左室容量曲線の作成、同一時相の左室圧の読み取り、さらに両者のプロットなどきわめて煩雑な手作業が必要であるため、圧・容量曲線の作成、解析は容易でない。またヨード系造影剤の使用はアレルギー反応をはじめ熱感等の副作用²⁹⁾ が多く、高浸透圧に起因する左室容量負荷³⁰⁾、心筋収縮力低下³¹⁾、拡張期コンプライアンスの低下³²⁾、不整脈の誘発、腎機能障害³³⁾ の可能性があり、特に心不全症例では使用量が制限される。したがって、左室圧・容量曲線の臨床例における応用は制限されたものであった。近年、非イオン性低浸透圧造影剤の開発により安全性が高められつつあるが、左室拡張末期圧や心拍数を有意に増加させる³⁴⁾ ほか、血栓症の危険性を警告する報告³⁵⁾ もあり、反復検査に伴う多量の使用は避けるべきである。

左室造影法に替えて心プール法を採用すれば、データ収集から解析までの過程で多くの利点が期待される。収集に関しては、造影剤の影響のない圧・容量データが得られ、しかも短時間に反復してデータ採取が可能³⁶⁾ である。また解析処理に関しては、左室容量曲線が容易に作成でき、同時収集データを同一の装置で一括処理し得るため、左室圧・容量曲線の作成や解析にコンピュータ処理を導入しやすい点があげられる。これらの利点は、心不全例への適用、薬剤負荷への応用など左室圧・容量曲線の臨床使用を容易にするものである。

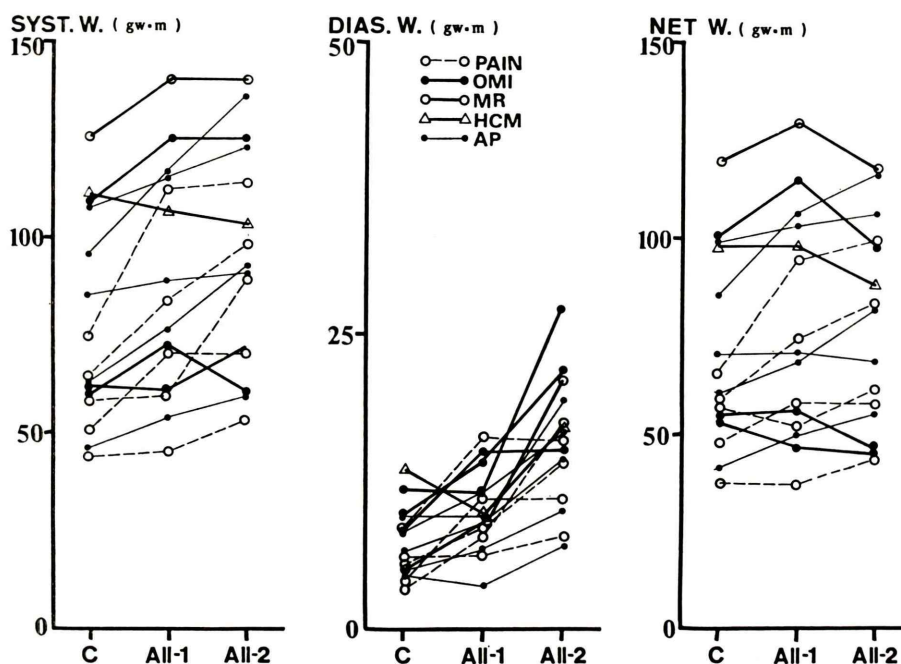


Fig. 11 Changes of systolic, diastolic and net work by the increase of afterload.

しかし、心プール法を圧・容量曲線の作成に応用する際において、心内圧データの同時収集法をはじめ、心プール法が本来もつ弱点の克服、左室絶対容量への変換法など、方法論として解決すべき点は多い。近年、心プール法を応用した右室圧・容量関係の検討¹⁶⁾や左室圧・容量曲線の作成報告^{13~15,36)}が散見されるが、前述の諸問題の検討は未だ不十分である。われわれは心プール法を用いた左室圧・容量曲線の作成・解析システムに望まれる条件を以下のごとく設定し開発した。

第一に、左室圧および容量は同時に収集される必要がある。このため心臓カテーテル検査時に心プール法を施行する必要があるが、本邦では一般の心臓カテーテル室など放射性同位元素管理区域外での放射性医薬品の使用が許可されていない。そこでわれわれは、管理区域内での心臓カテーテル室の設置を当施設改築時に実現した。

第二に、左室容量曲線の精度を収縮期から拡張期まで保持する工夫が必要である。心プール法では多数の心拍データの加算が必要であるため、

RR 間隔の変動によるデータ後半部の精度低下が生じる問題がある。Magorian ら¹³⁾は体外ペースングにより心拍数を一定にして対処したが、煩雑であるほか、血行動態は自己洞調律のものとは異なる。特に、薬剤負荷の観察には生理的な洞調律での収集が必須な場合がある。現在、拡張期後半から心房収縮期の容量曲線の作成には R 波から逆方向性の編集法^{38~41)}が用いられるようになった。われわれは正確な 1 心周期の左室容量曲線を作成するため、収縮期は順方向性データを使用し、一方、拡張期後半から心房収縮期は逆方向性データを使用し、2 心拍分のデータから適宜選択して 1 心周期分を得る方法を開発し、精度低下を解決した。

第三に、左室圧は生体アナログデータとして収集したのに対し容量曲線はマルチゲート像の解析の結果であり、異なるタイミングで収集された両データの時相を一致させる工夫が必要である。そこで順逆フォーマティングを画像データならびに左室圧アナログデータに対し同時に実行し、また

データの読み取り間隔を 10 msec に揃えることで、両データの時相を一致させた。

第四に、左室絶対容量の測定が必要である。左室カウント数から、体格や左室-コリメータ間の距離などを補正し絶対容量へ変換する報告⁴²⁻⁴⁴⁾があり、McKay ら¹⁵⁾ はこれを左室圧・容量曲線の作成に使用しているが煩雑である。本検査は、通常の診断的心臓カテーテル検査に引き続いて行われることから、直前に施行された左室造影法にて算出した左室拡張末期容量を第1回目の収集における値としてそのまま用いた。第2回以降の左室容量は症例ごとに算出した変換計数と加算心拍数および ^{99m}Tc の半減期を考慮して算出する方法を用いた。第1回目の収集は左室造影法の直後であること、また第2回以降の左室容量は左室カウント数を基にして症例ごとに考慮した変換計数を用いて算出したことから、いずれも左室絶対容量として妥当と考えられる。以上のように、本法は心プール法の利点を活かし、左室圧・容量曲線のデータ収集から解析までの過程を安全かつ簡易化するとともに、データ精度を保持するシステムと考えられる。

本法は、造影剤の影響のない圧・容量データが洞調律で収集でき、短時間に反復採取が可能なたため、薬剤負荷への応用に最適である。今回の AII 投与による後負荷増大時の検討への応用において、1回のデータ収集は2~3分間で、3回程度の収集を行う場合でも20分以内に終了したため、通常の心カテーテル検査の範囲内で施行可能である。左室圧・容量曲線は、投与前に対し昇圧後は右上方へ移動し、ループは昇圧に応じて縦方向に延長した。これは最大左室圧の上昇、拡張末期容量の増大、拡張末期圧の上昇、駆出率の低下の結果であるが、昇圧に対するループの移動・変形には疾患による差異が視覚的にも明らかである。一方、収縮期仕事量および拡張期仕事量は昇圧とともに増加したが、両者の差である真の仕事量は微増もしくは不変傾向を示した。順方向および逆方向フォーマティングにより心房収縮期から収縮期の左室圧・容量曲線が連続して描出できることが本法

の特長であるが、昇圧による明らかな変化が観察される症例を認めた。今回対象とした症例数は少なく、今後さらに症例を蓄積し検討する予定である。

左室圧・容量曲線は、容量あるいは圧単独のデータからは求め得ない心機能評価が可能であり、病的心の病態把握や各種薬剤の効果判定法として臨床的意義が高いと考えられる。左室圧・容量曲線の臨床応用を発展させるには心プール法を用いた作成法が最適と考えられる。今回開発したシステムは、データ収集から解析処理にいたる過程を安全、簡易かつ高精度で実行可能であり、左室圧・容量曲線の臨床応用を容易にする実用的方法であり、その広範な応用が期待される。

文 献

- 1) Frank O: Die Grundform des arteriellen Pulses. *Z Biol* 37: 483-526, 1898
- 2) Sarnoff SJ, Mitchell JH: Control of function of heart. In *Handbook of Physiology*, Sec 2, Circulation, Vol 11, edited by Hamilton WF, Dow P. Washington DC, American Physiological Society, 1963, pp. 489-532
- 3) Guyton AC, Jones CE, Coleman TG: *Circulatory Physiology: Cardiac output and its regulation*. Philadelphia, Saunders, 1973, pp. 237-284
- 4) 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
- 5) Sagawa K: The ventricular pressure-volume diagram revisited. *Circ Res* 43: 677-687, 1978
- 6) Monroe RG, French GN: Left ventricular pressure-volume relationships and myocardial oxygen consumption in the isolated heart. *Circ Res* 9: 362-374, 1961
- 7) Mirsky I: Assessment of passive elastic stiffness of cardiac muscle: mathematical concepts, physiologic and clinical considerations, direction of future research. *Prog Cardiovasc Dis* 18: 277-308, 1976
- 8) Mirsky I, Parmley WW: Assessment of passive elastic stiffness for isolated heart muscle and the intact heart. *Circ Res* 33: 233-243, 1973
- 9) Bunnell IL, Grant C, Greene DG: Left ventricular function derived from the pressure-volume diagram. *Am J Med* 39: 881-894, 1965
- 10) Rackley CE, Behar VS, Whalen RE, et al: Biplane cineangiographic determination of left ventricular

- function: pressure-volume relationships. *Am Heart J* **74**: 766-779, 1967
- 11) Dodge HT, Hay RE, Sandler H: Pressure-volume characteristics of the diastolic left ventricle of man with heart disease. *Am Heart J* **64**: 503-511, 1962
 - 12) Dodge HT, Sandler H, Baxley WA, et al: Usefulness and limitations of radiographic methods for determining left ventricular volumes. *Am J Cardiol* **18**: 10-24, 1966
 - 13) Magorian DJ, Shaffer P, Bush CA, et al: Assessment of left ventricular pressure-volume relations using radionuclide angiography, echocardiography, and micromanometer pressure recordings. *Circulation* **67**: 844-853, 1983
 - 14) 廣江道昭, 杉本圭市, 白井隆則, 他: 心プール法による左室圧-容量曲線の検討——方法論を中心に——. *核医学* **23**: 1749-1753, 1986
 - 15) McKay RG, Aroesty JM, Heller GV, et al: Left ventricular pressure-volume diagrams and end-systolic pressure-volume relations in human beings. *J Am Coll Cardiol* **3**: 301-312, 1984
 - 16) 安江隆夫, 渡辺佐知郎, 石黒源之, 他: RI心プールシンチと右室圧同時測定より求めた右室圧・容積ループの臨床応用. *J Cardiology* **13**: 511-521, 1983
 - 17) Greene DG, Carlisle R, Grant C, et al: Estimation of left ventricular volume by one-plane cineangiography. *Circulation* **35**: 61-69, 1967
 - 18) Suga H, Sagawa K: Instantaneous pressure-volume relationships and their ratio in the excised, supported canine left ventricle. *Circ Res* **35**: 117-126, 1974
 - 19) Sponitz HM, Sonnenblick EH, Spiro D: Relation of ultrastructure to function in intact heart: Sarcomere structure relative to pressure-volume curves of intact left ventricles of dog and cat. *Circ Res* **18**: 49-66, 1966
 - 20) Diamond G, Forrester JS, Hargis J, et al: Diastolic pressure-volume relationship in the canine left ventricle. *Circ Res* **29**: 267-275, 1971
 - 21) Noble MIM, Milne ENC, Goerke RJ, et al: Left ventricular filling and diastolic pressure-volume relations in the conscious dog. *Circ Res* **24**: 269-283, 1969
 - 22) Gaasch WH, Levine HJ, Quinones MA, et al: Left ventricular compliance: mechanism and clinical implications. *Am J Cardiol* **38**: 645-653, 1976
 - 23) Nivatpumin T, Katz S, Scheuer J: Peak left ventricular systolic pressure/end-systolic volume ratio: A sensitive detector of left ventricular disease. *Am J Cardiol* **43**: 969-974, 1979
 - 24) Grossman W, Braunwald E, Mann T, et al: Contractile state of the left ventricle in man as evaluated from end-systolic pressure-volume relations. *Circulation* **56**: 845-852, 1977
 - 25) Marsh JD, Green LH, Wynne J, et al: Left ventricular end-systolic pressure-dimension and stress-length relations in normal human subjects. *Am J Cardiol* **44**: 1311-1317, 1979
 - 26) Mehmel HC, Stockins B, Ruffmann K, et al: The linearity of the end-systolic pressure-volume relationship in man and its sensitivity for assessment of left ventricular function. *Circulation* **63**: 1216-1222, 1981
 - 27) Alderman EL, Glantz SA: Acute hemodynamic interventions shift the diastolic pressure-volume curve in man. *Circulation* **54**: 662-671, 1976
 - 28) Mann T, Brodie BR, Grossman W: Effect of angina on the left ventricular diastolic pressure-volume relationship. *Circulation* **55**: 761-766, 1977
 - 29) Shehadi WH, Toniolo G: Adverse reactions to contrast media. *Radiology* **137**: 299-302, 1980
 - 30) Brundage BH, Cheitlin MD: Ventricular function curves from the cardiac response to angiographic contrast: A sensitive detector of ventricular dysfunction in coronary artery disease. *Am Heart J* **88**: 281-288, 1974
 - 31) Newell JD, Higgins CB, Kelley MJ, et al: The influence of hyperosmolality on left ventricular contractile state: Disparate effect of nonionic and ionic solutions. *Invest Radiol* **15**: 363-370, 1980
 - 32) Slutsky R, Higgins C, Costello D, et al: Mechanism of increase in left ventricular end-diastolic pressure after contrast ventriculography in patients with coronary artery disease. *Am Heart J* **106**: 107-113, 1983
 - 33) Berkseth RO, Kjellstrand CM: Radiologic contrast induced nephropathy. *Med Clin of North Am* **88**: 351-370, 1984
 - 34) 隈崎達夫, 田島廣之, 鈴木宗治, 他: 血管造影における非イオン性低浸透圧造影剤 Iohexol の臨床評価——多施設によるパイロット試験結果について——. *脈管学* **26**: 37-46, 1986
 - 35) Grollman JH, Liu CK, Astone R, et al: Thromboembolic complications in coronary angiography associated with the use of nonionic contrast medium. *Catheterization and Cardiovascular Diagnosis* **14**: 159-164, 1988
 - 36) Slutsky R, Watkins J, Peterson K, et al: The response of left ventricular function and size to atrial pacing, volume loading and afterload stress in patients with coronary artery disease. *Circulation* **63**: 864-870, 1981
 - 37) Herrmann HC, Ruddy TD, Dec GW, et al: Inotropic effect of enoximone in patients with severe heart failure: Demonstration by left ventric-

- ular end-systolic pressure-volume analysis. *J Am Coll Cardiol* **9**: 1117-1123, 1987
- 38) 玉木長良, 児玉秋生, 米倉義晴, 他: R 波前後方向同期心プールイメージングによる虚血性心疾患の検討——左室機能および左室局所機能の解析——. *核医学* **22**: 147-155, 1985
- 39) 石田良雄: 心音 II 音同期・心電図 R 波逆同期 RI 心プールイメージング法による冠動脈疾患の左室拡張期充満動態の解析——拡張早期充満異常と左房収縮の役割——. *核医学* **21**: 831-843, 1984
- 40) 近藤 武, 菱田 仁, 根岸幸雄, 他: 心電図同期心プールシンチグラフィーによる前収縮期における左室充満の評価. *J Cardiography* **12**: 189-202, 1982
- 41) Bacharach SL, Green MV, Borer JS: Instrumentation and data processing in cardiovascular nuclear medicine: Evaluation of ventricular function. *Semin Nucl Med* **9**: 257-274, 1979
- 42) Slutsky R, Karliner J, Ricci D, et al: Left ventricular volumes by gated equilibrium radionuclide angiography: a new method. *Circulation* **60**: 556-564, 1979
- 43) Links J, Becker L, Shindledacker J, et al: Measurement of absolute left ventricular volumes from gated blood pool studies. *Circulation* **65**: 82-90, 1982
- 44) Burow RD, Wilson MF, Heath PW, et al: Influence of attenuation on radionuclide stroke volume determinations. *J Nucl Med* **23**: 781-785, 1982

Summary

Left Ventricular Pressure-Volume Diagram Determined by Forward and Backward Formatting of Radionuclide Ventriculography and Analog Pressure Data

Suetsugu INAGAKI*, Hiroki SUGIHARA*, Tatsuya NAKAGAWA*,
Toshio KATAHIRA*, Yasushi KUBOTA*, Hiroshi KATSUME*,
Haruhiko ADACHI*, Masao NAKAGAWA*, Kazuo Ikegaya**,
Susumu MATSUI** and Katsumi MIZUKAWA**

**Second Department of Internal Medicine, Kyoto Prefectural University of Medicine*

***Toshiba Medical Co., Ltd.*

Pressure-volume (PV) loop is of great value for the assessment of left ventricular (LV) function, but its clinical application has been limited by methodological complexity. A new system was developed to make accurate loop with simplified procedure, and was applied to clinical and interventional study.

The system constitutes of a mobile gamma camera, a poly-amplifier and a data processor (GMS-550U, Toshiba Medical) installed in cardiac catheterization labo for simultaneous raw data handling and successive analysis. Since LV time activity curve (TAC) obtained by usual ECG gating is not fully reliable for a entire cardiac cycle, radionuclide data acquired in list mode was formatted forward and backward from ECG trigger together with analog data of LV pressure, ECG and PCG. PV loops were drawn in 10 patients (OMI, AP, MR, HCM) and 5 normals before and after infusion of angiotensin-II (AII), and E_{\max} and LV work (systolic; SW, diastolic; DW, net; $NW=SW-DW$) were measured.

Radionuclide ventriculography was safely performed with cardiac catheterization even in patients with congestive heart failure. Satisfactory

PV loops were obtained by the advantage of simultaneous acquisition of RNV and analog data. Changes of ECG, PCG, volume, pressure and derived indices through one cardiac cycle were readily comparable each other. Peak LV pressure (mmHg) increased from 134 to 159 and then 182 by infusion of AII, but no change in heart rate was observed. E_{\max} was higher in normals and AP (mean 1.96 mmHg/ml/m²) than in OMI and MR (range of 0.85–1.36). SW increased in response to rise of LV pressure in all subjects. NW increased in normals and AP, but decreased in OMI and MR with relative increase in DW.

In conclusion, this new system is feasible for repetitive studies under drug intervention, since it makes accurate PV loop under physiologic state, i.e. without pacing and volume overloading. Variable changes of SW, DW, and NW in response to afterloading were clarified, which may be useful for the evaluation of cardiac reserve in normal and diseased heart.

Key words: Pressure-volume loop, Radionuclide ventriculography, Left ventricle, Ventricular work, E_{\max} .