

《原 著》

多結晶型ガンマカメラによる左室容量曲線の解析

千田 道雄* 玉木 長良* 米倉 義晴* 児玉 秋生*
 鳥塚 莞爾* 伊藤 秀臣** 才木 康彦** 朽尾 人司**
 山口 晴二** 池窪 勝治** 加藤 洋*** 吉川 純一***

要旨 多結晶型ガンマカメラを用いて、ファーストパス法による安静時心 RI アンギオグラフィーを 1 フレーム 0.02 秒で施行した。数心拍の重ね合わせによって得られた左室容量曲線とその一次微分から、収縮期および拡張期の種々の指標を算出しその有用性を検討した。心筋梗塞 (17例) では、最大駆出速度 (PER)、収縮早期 1/3 の駆出率 (1/3 EF) と平均駆出速度 (1/3 ER)、最大充滿速度 (PFR)、および拡張早期 1/3 の平均充滿速度 (1/3 FR) が、いずれも正常群 (6例) に比べ有意に低下した。狭心症 (10例) では、PFR が正常群に比べて有意に低下した。心筋梗塞や狭心症のなかに、EF は正常であるにもかかわらず PFR の低下している例がかなり認められた。多結晶型ガンマカメラは感度が高いので 0.02 秒毎の撮影が可能で、収縮期および拡張期の諸指標を算出することができ、心機能の評価にきわめて有用であると考えられた。

I. はじめに

心機能の評価するために、左室の容量曲線を解析して収縮期および拡張期の種々の指標を算出する試みが、広く行われてきた。古くはシネアンギオグラフィーによって行われたが^{1,2)}、心電図同期心プールシンチグラフィー³⁾の導入によって非侵襲的に容量曲線が得られるようになって以来、数多くの報告がなされてその有用性が高く評価されている⁴⁻⁹⁾。とくに虚血性心疾患において収縮機能障害がおこる以前に拡張機能障害がおこることが注目されており^{10,11)}、拡張機能を非侵襲的かつ正確に評価する方法の確立が待たれている。

心電図同期心プールシンチは、左室の ROI およびバックグラウンドのとり方に大きく影響をう

けるほか、R-R 間隔が一定でない場合良好な曲線が得られないという欠点がある。これに対してファーストパス法は、バックグラウンドが少なく左室の ROI のとり方の影響をうけにくい。また、R-R 間隔のばらつきの影響もうけにくい。しかし通常のアンガー型ガンマカメラでは、感度が低いために、ファーストパス法で容量曲線を求めて諸指標を算出することが困難である。

そこで今回われわれは、多結晶型ガンマカメラを用いてファーストパス法により左室容量曲線を求め、収縮期および拡張期の種々の指標を算出して心機能の評価を試みた。

II. 対象と方法

1. 対象

神戸市立中央市民病院にて心疾患またはその疑いのためファーストパス心 RI アンギオグラフィーを施行した患者のうち、病歴・心電図・負荷心電図 (トレッドミル)・超音波・²⁰¹Tl 心筋シンチグラフィー・冠動脈造影 (CAG) などにより診断が確定した例を対象とした。正常 (N 群) 6 例、狭心症 (AP 群) 10 例、心筋梗塞 (MI 群) 17 例、肥

* 京都大学医学部放射線核医学科

** 神戸市立中央市民病院核医学科

*** 同 循環器内科

受付: 58 年 11 月 8 日

最終稿受付: 59 年 1 月 12 日

別刷請求先: 京都市左京区聖護院川原町 (☎ 606)

京都大学医学部附属病院核医学科

千田 道雄

Table 1 Number of cases studied and their ejection fraction (EF). Patients with myocardial infarction (MI) were divided into two groups according to their EF

	Cases	EF (mean±SD) (%)
N (Normal)	6	73±7
AP (Angina)	10	69±7
MI-1 (EF>55)	10	67±10
MI-2 (EF<55)	7	38±11
HCM	5	66±8

大型心筋症 (HCM 群) 5 例の計 38 例である (Table 1)。N 群と AP 群は CAG にて有意な狭窄の有無を確認した。MI 群は駆出率 (EF) 55% を境界として 2 群に分けた。HCM は超音波と CAG によって診断し、肥大型閉塞性心筋症 (HOCM) は除外した。

2. データ収集

多結晶型ガンマカメラ (オートフルオロスコープ, Baird System 77) を使用して, ファーストパス心 RI アンギオグラフィーを施行した。患者は安静仰臥位とし, 外頸静脈より 15~20 mCi の $^{99m}\text{TcO}_4^-$ をボラス投与して, その初回循環を RAO 20° の位置から 1 フレーム 0.02 秒にて撮影した。データは付属のミニコンピューターに収集した。

3. データ処理

Dead time 補正および各結晶間の感度均一性の補正をしたのち, 付属のプログラムを利用して, まず三点時間スムージングを施した。次に左室相のイメージから左室に ROI をとり, その time-activity curve を得た。左室の ROI は, 各画素の拡張末期 (ED) の計数と収縮末期 (ES) の計数との差すなわち stroke volume の functional image から定めた。肺左房相のフレームをバックグラウンドとして補正したのち, 左室相 2~4 心拍の重ね合わせにより左室の容量曲線を得た。その一次微分を利用して, 以下に示す指標を算出した (Fig. 1)。

収縮期の指標

EF (Ejection fraction) (%)

PER (Peak ejection rate) (EDC/sec)

TPE (Time to peak ejection) (sec)

1/3 EF (One-third ejection fraction) (%)^{12,13)}

1/3 ER (One-third ejection rate) (1/sec)^{12,13)}

拡張期の指標

PFR (Peak filling rate) (EDC/sec)

TPF (Time to peak filling) (sec)

1/3 FF (One-third filling fraction) (%)¹⁴⁾

1/3 FR (One-third filling rate) (1/sec)⁷⁾

心房収縮の指標

AC/SC (Atrial contraction count divided by stroke count) (%)

ただし, PER と PFR の定義については, 歴史的に次元を [容積/時間] としているので^{1,2)}, ここでも [計数/時間] とし, 拡張末期カウント (EDC) で標準化した数値を記載するため諸家^{5,8,15)} にならって単位を (EDC/sec) とした。1/3 ER の定義は提唱した文献^{12,13)} にならった。その結果, PER の数値と 1/3 ER の数値とはいずれも EDC で標準化した形なので, 両者を直接比較することができる。

なお, 何でもって標準化すべきかという問題については本研究では検討しなかった。

4. 解析不能例の除外

計算に際して以下の場合には解析不能として除外した。

1) 容量曲線において, 拡張末期に山が 2 つ以上ある例や収縮末期に谷が 2 つ以上ある例で, ED または ES を決定できないもの。

2) 一次微分において, 収縮期の谷が 2 つ以上ある例や拡張早期の山が 2 つ以上ある例で, PER または PFR を決定できないもの。

なお, 容量曲線上心房収縮が不明瞭なもの (4 例) は除外しなかったが, 当然 AC/SC は計算できなかった。

解析不能例は 9 例 (19%) であった。

III. 結果

1. 収縮期の指標

EF は N 群, AP 群, MI-1 群, HCM 群の間

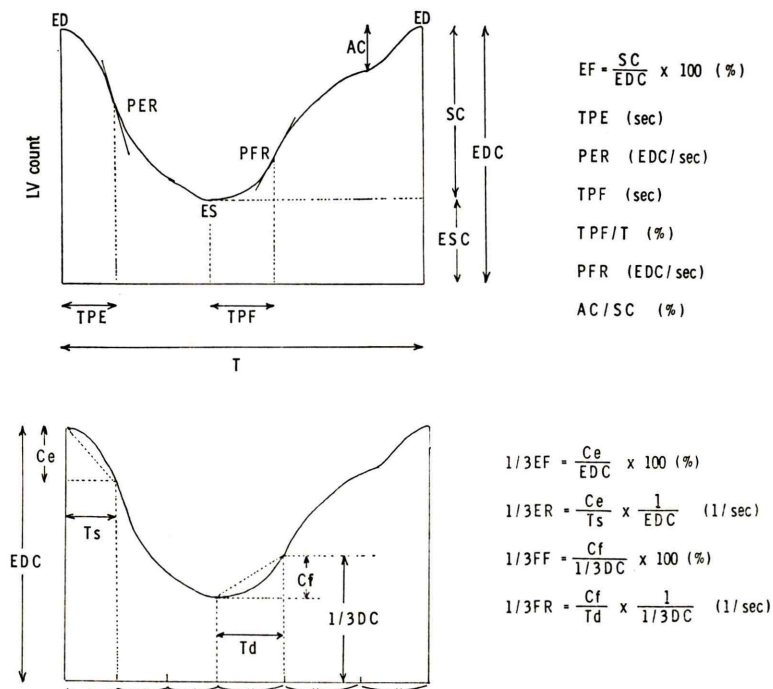


Fig. 1 Definition of systolic and diastolic indexes. These indexes were calculated from the LV time-activity curve and its first derivative.

ED: end-diastole. ES: end-systole. EDC: end-diastolic count. ESC: end-systolic count. SC: stroke count. AC: atrial contraction count. T: interval of cardiac cycle. TPE: time from ED to peak ejection. TPF: time from ES to peak filling. PER: peak ejection rate. PFR: peak filling rate. Ce: ejection count during the first third of systole. Ts: one third time of systole. Cf: filling count during the first third of diastole. Td: one third time of diastole. 1/3DC: count at the end of the first third of diastole. EF: ejection fraction. 1/3EF: one third ejection fraction. 1/3ER: one third ejection rate. 1/3FF: one third filling fraction. 1/3FR: one third filling rate.

に有意差を認めなかった (Table 1).

PER, 1/3 EF, 1/3 ER は、いずれも EF と良好な相関を示した (Table 2).

TPE は各群に有意差を認めなかったが、MI-1 群、MI-2 群の中に TPE の延長するものがみられた (Fig. 2).

PER は虚血性心疾患で下がる傾向を示し、N 群 (平均 $3.6 \pm SD 0.4$, 以下同じ) に比べて MI 群全体 (2.7 ± 1.0 , 17例) で有意に低下した。また、MI-2 群に限ると、さらに低値 (1.8 ± 0.61) を示した (Fig. 2).

1/3 EF は MI-1 群 (18 ± 7) と MI-2 群 (11 ± 6) において、N 群 (27 ± 8) に比べ有意に低い値を示した (Fig. 2).

1/3 ER も MI-1 群 (1.6 ± 8) と MI-2 群 (1.0 ± 0.6) において、N 群 (2.4 ± 0.6) に比べ有意に低下した (Fig. 2).

2. 拡張期の指標

TPF は各群に有意差を認めなかったが、MI-1 群と MI-2 群の中に TPF の延長するものが多くみられた。また、HCM 群の中に TPF の著しい延長を示すものがみられた (Fig. 3).

Table 2 Systolic and diastolic indexes and correlation coefficient between ejection fraction and each of these indexes

Indexes	Number of cases	mean±SD	Correlation coefficient between EF and the index
TPE	38	0.17±0.07 (sec)	-0.28 (NS)
PER	38	3.1 ±0.9 (EDC/sec)	+0.76 (p<0.01)
1/3EF	38	19±8 (%)	+0.63 (p<0.01)
1/3ER	38	1.7±0.8 (1/sec)	+0.57 (p<0.01)
TPF	33*	0.24±0.06 (sec)	-0.16 (NS)
TPF/T	33*	24±5 (%)	-0.40 (p<0.05)
PFR	38	2.6 ±0.6 (EDC/sec)	+0.80 (p<0.01)
1/3FF	33*	34±20 (%)	+0.88 (p<0.01)
1/3FR	33*	1.6±0.9 (1/sec)	+0.82 (p<0.01)
AC/SC	34	30±9 (%)	-0.33 (NS)

* Excluding HCM group.

虚血性心疾患における心機能の指標としてTPFを評価するため、HCM群を除いてTPFとEFとの相関を調べると、相関係数 $r=-0.16$ (33例)であった。ところが、TPFと心拍数(HR)の間には $r=-0.48$ (同33例, $p<0.01$)の有意な相関があり、心周期Tの長い例はTPFも長いという傾向が認められた。そこでTPFをTで補正したTPF/T¹⁵⁾を計算すると、TPF/TとEFとの間に $r=-0.40$ (33例, $p<0.05$)の有意な相関を認めた(Table 2)。

PFR, 1/3 FF, 1/3 FRは、いずれもEFと良好な相関を示した(Table 2)。

PFRは、AP群(2.8 ± 0.4)、MI-1群(2.6 ± 0.6)、MI-2群(1.6 ± 0.3)において、いずれもN群(3.2 ± 0.3)に比べて有意に低い値を示した。また、MI-1群とMI-2群との間にも有意差を認めた(Fig. 3)。

1/3 FFは、ばらつきが大きかったがMI群で低下する傾向があり、1/3 FRは、MI-1群(1.4 ± 0.7)とMI-2群(0.5 ± 0.6)でN群(2.3 ± 0.7)に比べ有意に低下した(Fig. 3)。

PFRをEFに対してプロットすると、AP群又はMI-1群に属する症例の中に、EFはN群とかわらないがPFRがN群よりも低下しているものがかかり認められた(Fig. 4)。

拡張期の指標の中では、N群に対してMI-1群を検出する点ではPFRと1/3 FRがすぐれ、AP

群を検出する点ではPFRがすぐれていた。

3. 心房収縮量の指標

AC/SCはN群でもばらつきが大きく、各群で有意差を認めなかった。しかし、MI-2群の中に50%に達するようような著しく大きい値を示すものがみられた(Fig. 5)。

AC/SCとEFの間には有意な相関を認めなかった(Table 2)。また、MI-2群に限って調べても¹⁶⁾、有意な相関を認めなかった。

4. 症例呈示

Figure 6に各群から1例ずつ症例を示す。

AP群の例ではPFRの低下を認める(EF=66, PFR=2.6)。MI-1群の例(EF=69)では、PFR(2.2)の低下と1/3 EF(19)、1/3 ER(1.7)の軽度低下を認める。MI-2群の例(EF=36)では、PER=1.4、1/3 EF=11、1/3 ER=1.1、PFR=1.8、1/3 FF=5、1/3 FR=0.4と、各指標がいずれも低下している。HCMの例ではTPF=0.40と延長している。

IV. 考 察

ファーストパス法は心電図同期心プールシンチグラフィと比べて次のような利点をもっている。(1)バックグラウンドが少ないので、左室のROIのとり方(いわゆる edge detection の問題)やバックグラウンドのとり方の影響をうけにくい。われわれはボーラス性を高めるため外頸静脈注入を

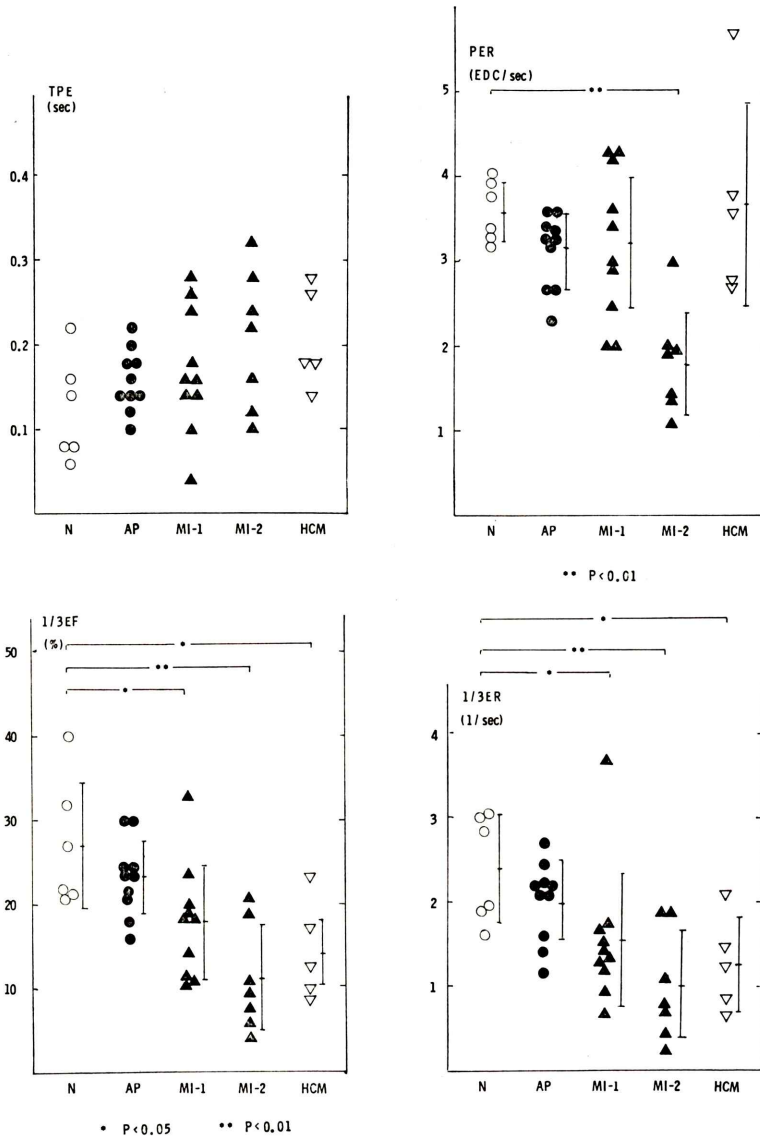


Fig. 2 Systolic indexes.

行ったが、このこともバックグラウンドをさらに低くすることに貢献したと考えられる。(2) R-R 間隔の変動の影響をうけにくい。したがって拡張期における曲線の信頼性は高いと考えられ、実際われわれの研究でも大部分の症例で atrial kick を確認できた。(3) 呼吸運動による心臓の動きの影響が少ない。(4) 検査が短時間で済む。(5) RAO

view が可能なので壁運動の評価にも適している。

しかし、ファーストパス法は得られるカウントが少ないため、容量曲線を解析して種々の指標を算出する試みは少ない^{14,17,18)}。

多結晶型ガンマカメラは感度が高く時間分解能にすぐれるので、1 フレーム 0.02 秒の撮影が可能であった。そして時間スムージングにより平滑

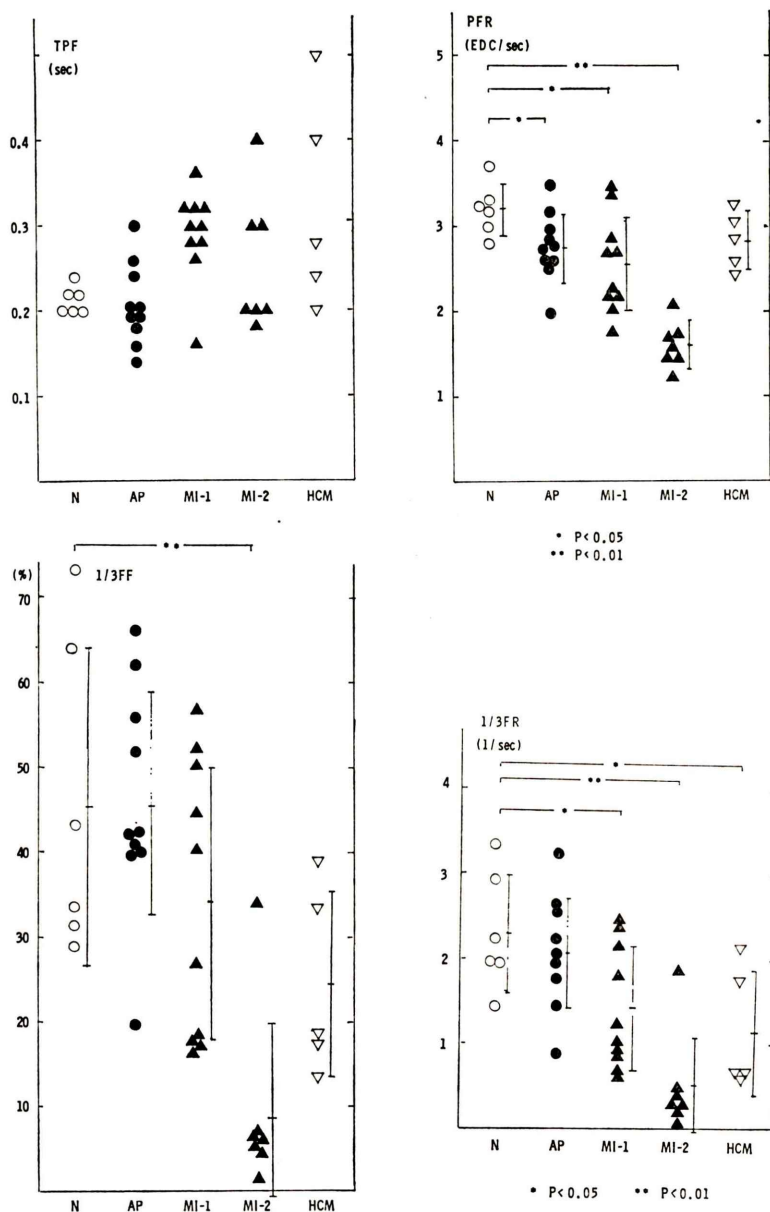


Fig. 3 Diastolic indexes.

な曲線が得られ、一次微分も容易に求めることができた (Fig. 6)。これらの曲線から、心機能を評価するための種々の指標を算出することができた。

われわれの結果をまとめると、心筋梗塞では収縮期の諸指標 (PER, 1/3 EF, 1/3 ER) と拡張期の

諸指標 (PFR, 1/3 FR) のいずれもが低下し、狭心症では収縮期の諸指標は低下しなかったが PFR が低下した (Fig. 2, 3)。また、心筋梗塞や狭心症のなかに EF は正常であるにもかかわらず PFR の低下している例がかなり認められ (Fig. 4), PFR

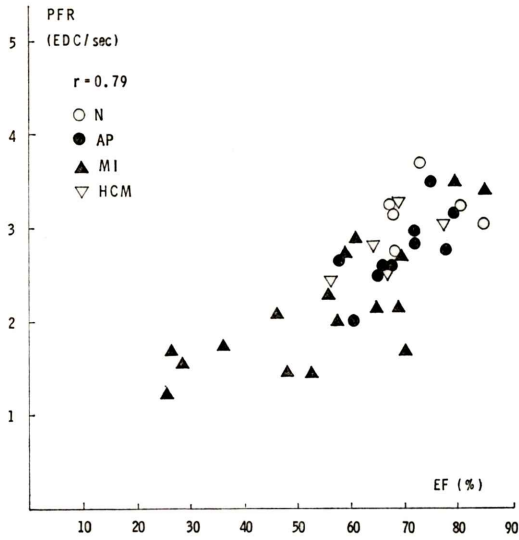


Fig. 4 Relationship between PFR and EF. Note several cases with AP or MI that have normal EF and decreased PFR.

が心機能低下を示すより sensitive な指標であることが示唆された。これらの結果は心電図同期心プールシンチを用いた諸家の報告と一致しており^{5,7)}、われわれの方法が収縮期及び拡張期の機能をよく表現していることを示している。

また HCM では、症例数が少なかったが、TPFの著しい延長を示す例がいくつか認められ、今までの知見と一致した^{9,19,20)}。

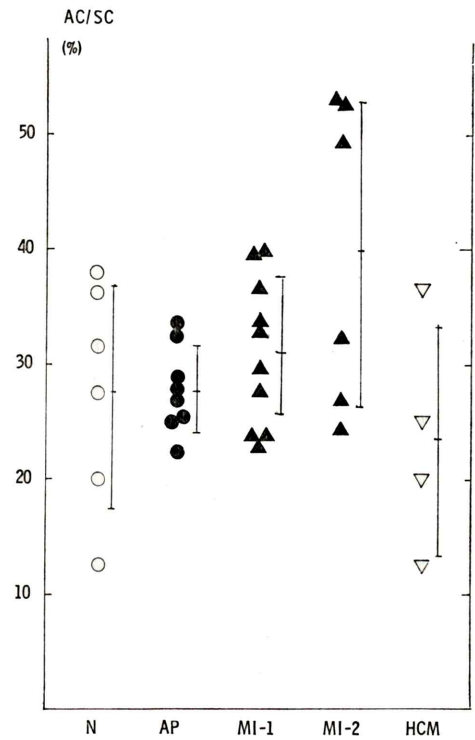


Fig. 5 Atrial contraction count divided by stroke count.

われわれは心房収縮量についても評価を試みた。EFの低下した心筋梗塞(MI-2群)でAC/SCが50%に達する例がいくつかあり(Fig. 5)、心室機

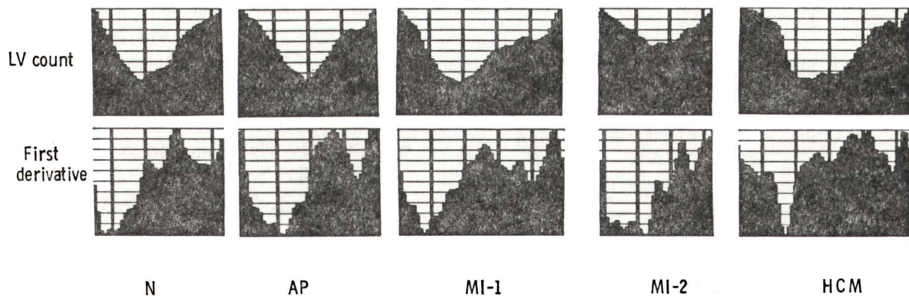


Fig. 6 LV time-activity curve and its first derivative of a case selected from each group. Each curve represents one cardiac cycle from end-diastole to the next end-diastole. LV time-activity curve is calibrated so that the top of the ordinate equals end-diastolic count of each case and that the bottom equals zero count. First derivative is calibrated so that the top of the ordinate equals maximal value (PFR) and that the bottom equals minimal value (PER). In either case, the abscissa is calibrated so that a bin of the histogram equals 0.02 sec.

能の低下を心房が代償していることが示唆された。しかし正常群でもばらつきが大きく、本法で心房収縮量を評価することは困難であると考えられる。拡張後期の評価は、通常的心電図同期心プールシンチでは不可能で、R波から逆に収集する方法が試みられているが¹⁶⁾、解析に時間がかかるなど問題も多い。今後簡便で精度の高い評価方法の開発が期待される。

本法の問題点は、ファーストパス法自体にいえることであるが、拡張期には左室内の血液の RI 濃度と左房から流入する血液の RI 濃度とが必ずしも等しくないということである。すなわち拡張期には放射能は厳密には容量を表わしてはいない。したがって、左室相から心拍を選んで重ね合わせる際に左室相の中央付近を採るように留意しなければならない。以上のような理論的限界があるにもかかわらず、本研究の結果は、本法によって拡張期の機能を十分評価しうることを示している。

そのほか、ボーラス性が悪い例や心機能が著しく悪い例では十分なカウントが得られないため良好な曲線が得られないという、検査実施上の問題もある。

しかし簡便にしかも短い時間で施行でき収縮期および拡張期の機能を評価できる検査法として、本法はきわめて有用であり、上記の問題点の改善を今後の課題としたい。

V. 結 論

- 1) 多結晶型ガンマカメラを用いて安静臥位でファーストパス法により心 RI アンギオグラフィーを施行し、RAO から 0.02 秒間隔で撮影した。得られた左室容量曲線を解析し、種々の指標を算出してその有用性を検討した。
- 2) 心筋梗塞では、PER, 1/3 EF, 1/3 ER, PFR, および 1/3 FR が、正常群に比べて有意に低下した。
- 3) 狭心症では、PFR が正常群に比べて有意に低下した。
- 4) 心筋梗塞や狭心症のなかに、EF は正常であるにもかかわらず PFR の低下している例が

なり認められた。

- 5) 心房収縮量については、評価が困難であった。
- 6) 本法は収縮期および拡張期の心機能の評価にきわめて有用であると考えられた。

本論文の概要は第23回日本核医学会総会において発表したものである。

文 献

- 1) Hammermeister KE, Brooks RC, Warbasse JR: The rate of change of left ventricular volume in man. I. Validation and peak systolic ejection rate in health and disease. *Circulation* **49**: 729-738, 1974
- 2) Hammermeister KE, Warbasse JR: The rate of change of left ventricular volume in man. II. Diastolic events in health and disease. *Circulation* **49**: 739-747, 1974
- 3) Strauss HW, Zaret BL, Hurley PJ, et al: A scintigraphic method for measuring left ventricular ejection fraction in man without cardiac catheterization. *Am J Cardiol* **28**: 575-580, 1971
- 4) 近藤 武, 菱田 仁, 金子堅三, 他: 心電図同期心プールシンチグラフィーによる左室充満の評価. *J Cardiology* **10**: 1097-1108, 1980
- 5) Bonow RO, Bacharach SL, Green MV, et al: Impaired left ventricular diastolic filling in patients with coronary artery disease: Assessment with radionuclide angiography. *Circulation* **64**: 315-323, 1981
- 6) 成田充啓, 栗原 正, 村野謙一, 他: 心プールイメージングによる虚血性心疾患における各種 systolic phase index の評価. *核医学* **19**: 409-417, 1982
- 7) 成田充啓, 栗原 正, 村野謙一, 他: 心プールイメージングより求めた Diastolic Phase Index の有用性——虚血性心疾患における検討——. *核医学* **19**: 1147-1157, 1982
- 8) 玉木長良, 向井孝夫, 湊小太郎, 他: フーリエ高次解析法を用いたマルチゲート心血液プール像の壁運動の定量評価. (1) 虚血性心疾患への応用. *核医学* **20**: 289-300, 1983
- 9) 池園 徹, 尾崎正治, 山岸 隆, 他: 平衡時心電図同期心プール法による左室 Relaxation の評価. *核医学* **20**: 659-665, 1983
- 10) Waters DD, Luz PD, Wyatt HL, et al: Early changes in regional and global left ventricular function induced by graded reductions in regional coronary perfusion. *Am J Cardiol* **39**: 537-543, 1977
- 11) Mann T, Goldberg S, Mudge Jr GH, et al: Factors

- contributing to altered left ventricular diastolic properties during angina pectoris. *Circulation* **59**: 14–20, 1979
- 12) Johnson LL, Ellis K, Schmidt D, et al: Volume ejected in early systole. *Circulation* **52**: 378–389, 1975
- 13) Slutsky R, Karliner JS, Battler A, et al: Comparison of early systolic and holosystolic ejection phase indexes by contrast ventriculography in patients with coronary artery disease. *Circulation* **61**: 1083–1090, 1980
- 14) Reduto LA, Wickemeyer WJ, Young JB, et al: Left ventricular diastolic performance at rest and during exercise in patients with coronary disease: Assessment with first-pass radionuclide angiography. *Circulation* **63**: 1228–1237, 1981
- 15) Mancini GBJ, Slutsky RA, Norris SL, et al: Radionuclide analysis of peak filling rate, filling fraction, and time to peak filling. *Am J Cardiol* **51**: 43–51, 1983
- 16) 近藤 武, 菱田 仁, 根岸幸男, 他: 心電図同期心
 プールシンチグラフィによる前収縮期における左室充満の評価. *J Cardiography* **12**: 189–202, 1982
- 17) Slutsky R, Battler A, Karliner JS, et al: First-third ejection fraction at rest compared with exercise radionuclide angiography in assessing patients with coronary artery disease. *Radiology* **136**: 197–201, 1980
- 18) Polak JF, Kemper AJ, Bianco JA, et al: Resting early peak diastolic filling rate: A sensitive index of myocardial dysfunction in patients with coronary artery disease. *J Nucl Med* **23**: 471–478, 1982
- 19) Sanderson JE, Traill TA, John Sutton MG, et al: Left ventricular relaxation and filling in hypertrophic cardiomyopathy. *Br Heart J* **40**: 596–607, 1978
- 20) Hamada M, Matsuzaki K, Kazatani Y, et al: Diagnostic significance of early diastolic time interval in patients with hypertrophic cardiomyopathy and myocardial hypertrophy due to essential hypertension. *Jpn Circ J* **47**: 522–527, 1983

Summary

Analysis of Left Ventricular Time-activity Curve Obtained from First-pass Radionuclide Angiography with Multicrystal Gamma Camera

Michio SENDA*, Nagara TAMAKI*, Yoshiharu YONEKURA*, Shusei KODAMA*,
 Kanji TORIZUKA*, Hidetomi ITO**, Yasuhiko SAIKI**, Hitoshi TOCHIO**,
 Haruji YAMAGUCHI**, Katsuji IKEKUBO**, Hiroshi KATO**
 and Jun'ichi YOSHIKAWA**

*Department of Radiology and Nuclear Medicine, Kyoto University Medical School, Kyoto

**Kobe Central Municipal Hospital, Kobe

First-pass radionuclide angiography was performed at rest with a multicrystal gamma camera in RAO projection at the framing rate of 0.02 sec. LV time-activity curve was obtained by summing several cardiac beats selected from LV phase. No curve fitting was done. From the curve and its first derivative, following indexes of cardiac performance were calculated: EF (Ejection fraction), PER (Peak ejection rate), TPE (Time to peak ejection), PFR (Peak filling rate), TPF (Time to peak filling), 1/3EF and 1/3ER (Ejection fraction and Mean ejection rate of first third of systole respectively, normalized by end-diastolic count), 1/3FF and 1/3FR (Filling fraction and Mean filling rate of first third of diastole respectively, normalized by the count at the end of the first

third of diastole).

Patients with myocardial infarction (MI) showed significantly lower PER, 1/3EF, 1/3ER, PFR, 1/3FF and 1/3FR than normal group. Those with angina pectoris had significantly lower PFR than normal. Some patients with angina or MI had normal EF but lower PFR than normal.

We conclude that indexes of systolic and diastolic parameters can be assessed using first-pass radionuclide angiography with multicrystal gamma camera and that this method is a useful technique for evaluating cardiac performance.

Key words: multicrystal gamma camera, time-activity curve, first-pass method, coronary artery disease, diastolic phase index.