

## 《原 著》

## 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

### (3) 肥大心と虚血心との対比検討

児玉 秋生\* 玉木 長良\* 向井 孝夫\* 米倉 義晴\*  
 湊 小太郎\* 千田 道雄\* 小西 淳二\* 鳥塚 荘爾\*  
 鈴木 幸園\*\* 田巻 俊一\*\* 野原 隆司\*\* 神原 啓文\*\*  
 河合 忠一\*\*

**要旨** マルチゲート心血液プール像の左室全体、および画素ごとの容量曲線をフーリエ高次項にて近似し、正常群14例、肥大心群28例 (HCM 9例, HOCM 7例, HT 12例), IHD 群37例の合計79例の収縮期、拡張期機能を検討した。左室全体の指標として駆出率 (EF), 収縮末期までの時間 (TES), 最大駆出速度 (PER), それまでの時間 (TPE), 最大充満速度 (PFR), それまでの時間 (TPF) を求めた。さらに左室内の TES, TPE, TPF の各位相分布ヒストグラムの標準偏差 (SD) を左室 asynchrony の指標とした。収縮期指標 TPE は HCM, HOCM では HT より短縮傾向を示した。拡張期指標 TPF は肥大心, IHD 群ともに延長し, PFR は IHD 群で低値を示し拡張期障害を示した。拡張期 asynchrony の指標 TPF (SD) は IHD 群および HCM, HOCM で高値となり, asynchronous relaxation の存在が示唆された。このようにフーリエ高次項近似は肥大心, IHD の左室全体および局所の収縮期、拡張期の評価に有用であった。

### I. はじめに

マルチゲート法心血液プール像をフーリエ変換によって近似する位相解析法は、刺激伝導異常の検出や<sup>1)</sup>、壁運動異常の評価<sup>2)</sup>に広く用いられている。しかしフーリエ1次項近似ではその精度に限界があり、収縮期、拡張期の評価には問題が残る。最近フーリエ高次項近似により曲線近似の精度をあげる報告がなされ<sup>3,4)</sup>著者らもその臨床的有用性について報告してきた<sup>5)</sup>。今回はその解析法を肥大心および虚血性心疾患に応用し、両者の収縮期、拡張期機能を対比検討したので報告する。

### II. 対象と方法

#### 1. 対象 (Table 1)

対象は、心肥大がなく他に心疾患を認めない正常群 (N 群) 14 例と肥大心群 28 例 (肥大型心筋症 (HCM) 9 例、肥大型閉塞性心筋症 (HOCM) 7 例、高血圧の既往があり、心電図、心筋シンチ等にて左室肥大を認めた高血圧性心疾患 (HT) 12 例)、および冠動脈造影にて 75% 以上の狭窄を有する虚血性心疾患群 (IHD 群) 37 例の 3 群、合計 79 例からなる。IHD 群は駆出率 (EF) が 50% 以上の例を IHD (I) 群、50% 未満の例を IHD (II) 群とした。なお著しい不整脈をきたす症例は、対象から除外した。

#### 2. 方法

20 mCi の  $^{99m}\text{TcO}_4^-$  を用いて、in vivo 赤血球標識を行い、平衡に達した後、左前斜位 35~45°、足方に 10° 前後傾けた modified LAO から汎用コリ

\* 京都大学医学部放射線核医学科

\*\* 同 第三内科

受付：58年11月14日

最終稿受付：59年2月6日

別刷請求先：京都市左京区聖護院川原町 54 (〒606)

京都大学医学部放射線核医学科

児玉秋生

メータを装着したガンマカメラ (Searle; Pho/Gamma LFOV) を用いて、オンライン接続したデータ処理装置 (DEC; PDP 11/60) にて、安静時のデータを収集した。収集法は、マルチゲート法でフレームモードを用い、1心拍を 25 等分し 300~500 心拍加算した。これにより全収集カウントは 700~1,200 万カウントを得ることができた。なお平均 R-R 間隔を  $\pm 100$  msec こえるデータは収集の際除外された。得られたデータは、まず画像を平滑化して  $32 \times 32$  画素に圧縮した。これにより 1 画素あたりのカウント数は 400~600 カウ

ント/フレームとなる<sup>6)</sup>。得られた各画素ごとの容量曲線をフーリエ 2 次項にて近似し、近似曲線を作成した。なお近似に際して R-R 間隔不整による誤差を小さくするために、最後から 3 フレームは近似の対象から除外された<sup>4)</sup>。

得られた近似曲線により、Fig. 1 に示すように以下の 6 つの指標を算出し、その指標の機能分布図 (functional image) を作成した。

1. EF (ejection fraction): stroke volume の相対量 (%)
2. TES (time to endsystole): 収縮末期までの

Table 1 The results of EF and R-R interval of each material

	Normal	Hypertrophy			IHD	
		HCM	HOCM	HT	IHD (I)	IHD (II)
Case	14	9	7	12	17	20
EF (%)	$60 \pm 9$	$64 \pm 9$	$67 \pm 14$	$63 \pm 10$	$58 \pm 5$	$39 \pm 6^{**}$
R-R (msec)	$878 \pm 109$	$977 \pm 97$	$921 \pm 134$	$910 \pm 148$	$972 \pm 105^*$	$867 \pm 144$

\*p<0.05, \*\*p<0.001

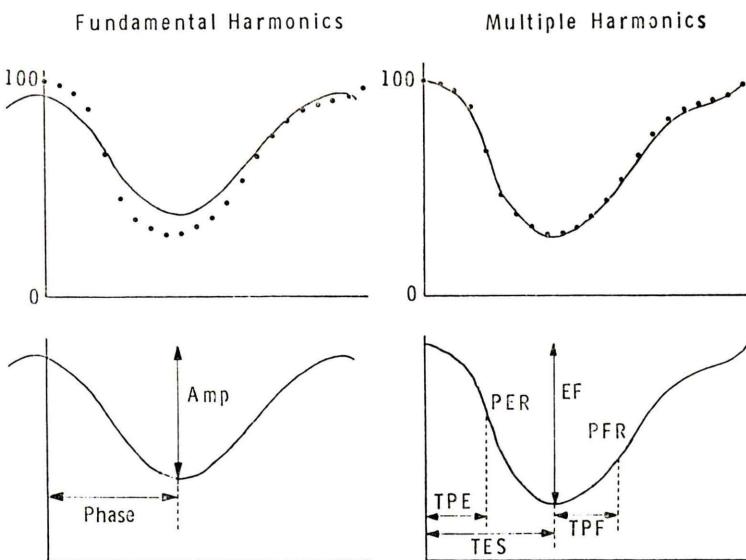


Fig. 1 The left ventricular time-activity curves and the fitted curves by first harmonic sine wave and higher order harmonic wave. Curve fitting is more accurate and various parameters can be obtained from higher order harmonics.

Amp: amplitude; EF: ejection fraction; TES: time to endsystole; PER: peak ejection rate; TPE: time to peak ejection; PFR: peak filling rate; TPF: time to peak filling.

- 時間 (msec)
3. PER (peak ejection rate): 最大駆出速度 (EDV/sec)
  4. TPE (time to peak ejection): R 波から最大駆出までの時間 (msec)
  5. PFR (peak filling rate): 最大充満速度 (EDV/sec)
  6. TPF (time to peak filling): 収縮末期から最大充満までの時間 (msec)

収縮期、拡張期の時間的不均等性 (asynchrony) を評価するため、TES, TPE, TPF の各指標の左室内位相分布ヒストグラムを作成し、その標準偏差 (SD) を左室 asynchrony の指標とした<sup>6)</sup>。SD は以前の報告<sup>6,7)</sup>に従い、心周期を  $360^\circ$  として度数 (degree) で表示した。

左室全体の指標として、左室全体の容量曲線をフーリエ 3 次項にて近似し、前述の 6 つの指標を求めた。また収縮期・拡張期の比の指標として PFR/PER, TPF/TPE を算出した。

### III. 結 果

#### 1. 各群の駆出率および R-R 間隔 (Table 1)

Table 1 に示すとく、R-R 間隔は N 群 (878

$\pm 109$  msec) と IHD (I) 群 ( $972 \pm 105$  msec) との間にわずかに有意差を認めたが、他は差がなかった。

#### 2. 左室全体の指標 (Fig. 2, 3, 4)

左室全体の指標では、TPE (Fig. 2) は肥大心群の中で HCM ( $170 \pm 33$  msec) は HT ( $198 \pm 25$  msec) に比し有意に短くなり、HOCM ( $166 \pm 22$  msec) でも短縮傾向を示したが、例数が少ないので HT と有意差はなかった。TPF は肥大心群 (HCM:  $180 \pm 51$  msec, HOCM:  $159 \pm 37$  msec, HT:  $157 \pm 35$  msec), IHD 群 (I 群:  $154 \pm 42$  msec, II 群:  $151 \pm 44$  msec) ともに N 群 ( $108 \pm 22$  msec) に比し明らかに延長したが、HCM において特にその傾向が大であった。

PER (Fig. 3) は肥大心群 (HCM:  $4.14 \pm 1.07$  EDV/sec, HOCM:  $4.42 \pm 0.95$  EDV/sec, HT:  $4.03 \pm 1.13$  EDV/sec) では N 群 ( $3.24 \pm 0.66$  EDV/sec) に比し有意に高値を示したが、IHD 群では逆に N 群に比べ低値を示す傾向にあり、II 群 ( $2.58 \pm 0.71$  EDV/sec) との間に有意差を認めた。PFR は肥大心群では N 群よりわずかに低い傾向を示したが有意差を認めず、IHD 群では N 群 ( $3.25 \pm 0.98$  EDV/sec) に比し I 群 ( $2.32 \pm 0.55$  EDV/sec), II 群 ( $1.64 \pm 0.46$  EDV/sec) ともに有意に低かった。

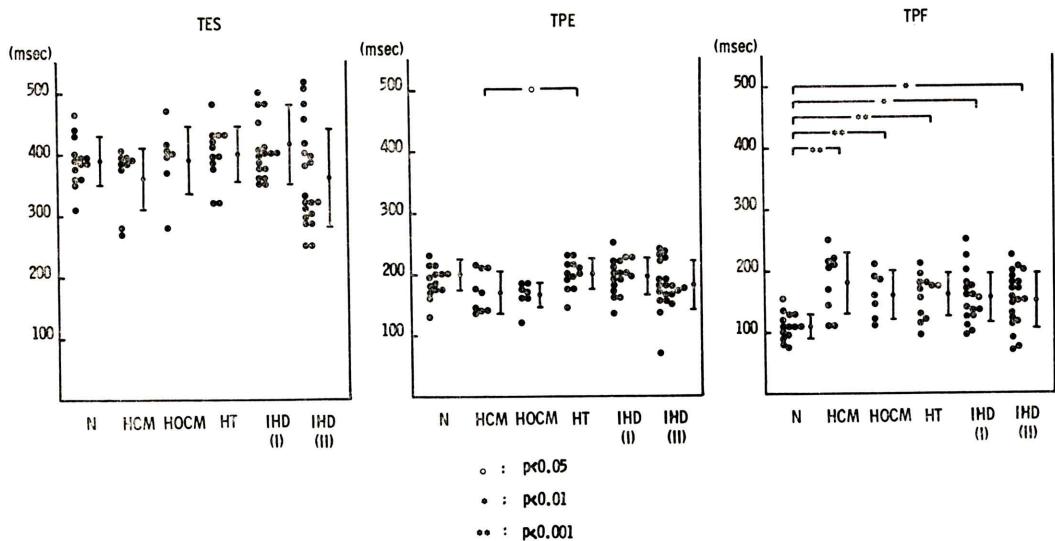


Fig. 2 Results of various left ventricular global parameters.

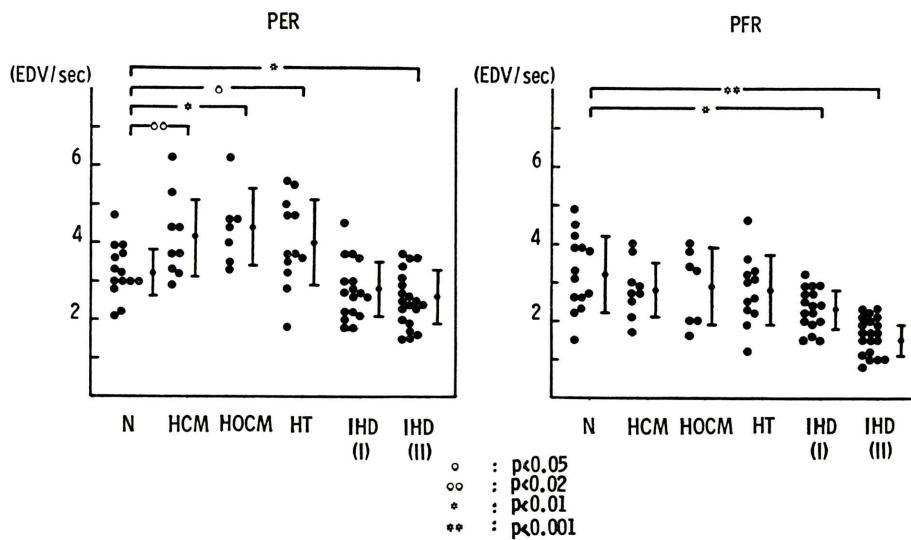


Fig. 3 Results of various left ventricular global parameters.

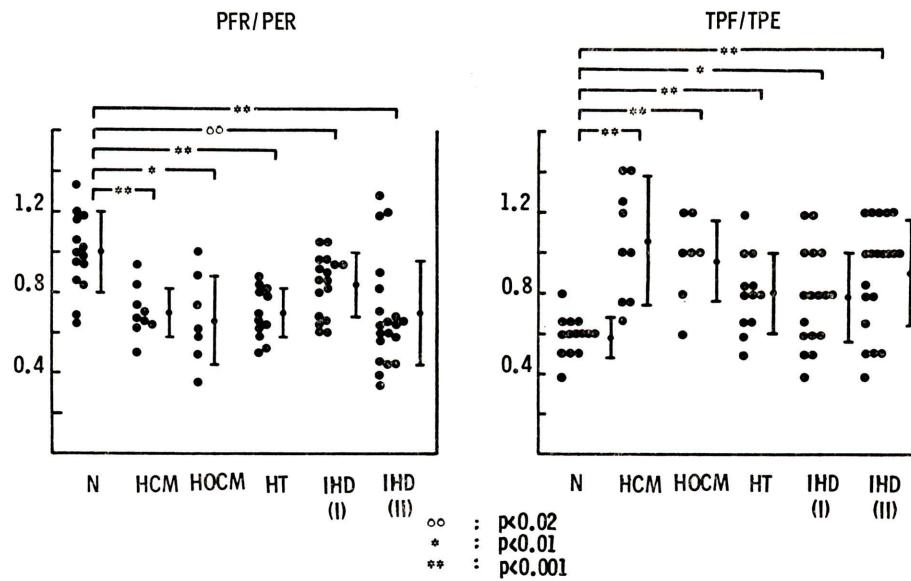


Fig. 4 Results of various left ventricular global parameters.

収縮期・拡張期の比である PFR/PER (Fig. 4) は肥大心群 (HCM:  $0.69 \pm 0.12$ , HOCM:  $0.66 \pm 0.22$ , HT:  $0.69 \pm 0.12$ ), IHD 群 (I 群:  $0.84 \pm 0.15$ , II 群:  $0.68 \pm 0.26$ ) とともに N 群 ( $0.99 \pm 0.19$ ) より有意に低値を示した。TPF/TPE は、N 群 ( $0.58 \pm 0.09$ ) に比べ肥大心群 (HCM:  $1.07 \pm 0.32$ , HOCM:

$0.96 \pm 0.21$ , HT:  $0.79 \pm 0.19$ ), IHD 群 (I 群:  $0.77 \pm 0.23$ , II 群:  $0.89 \pm 0.26$ ) ともに有意に高く、HCM で特に顕著であった。

### 3. 左室 asynchrony の指標 (Fig. 5)

TPF (SD) は N 群 ( $5.2 \pm 3.7$  deg) に比し、IHD (II) 群 ( $21.6 \pm 9.6$  deg) のみならず HCM ( $14.1 \pm$

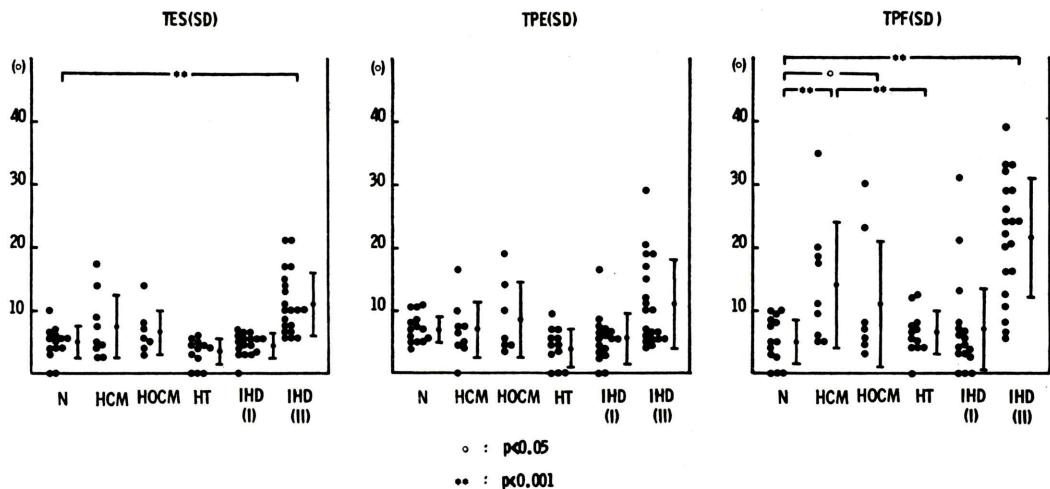


Fig. 5 Results of various left ventricular regional parameters.

9.7 deg), HOCM ( $11.7 \pm 10.4$  deg) でも明らかに高値を示す傾向にあり, asynchronous relaxation の存在が示唆された。また同じ肥大群でも HT ( $6.3 \pm 3.5$  deg) は高値を示さず, HCM との間に有意差を認めた。

#### 4. 症例呈示

Figure 6 は、正常人の各指標の functional image を示す。AMP, PER, PFR は青から白へいく程増大を示し、それらの左室内分布は、ほぼ同じで心尖部を中心として大きい。TES, TPE, TPF は白から青へいく程遅れを示すが、それらはともに同じ色を呈し、位相の不均等は認められなかった。

Figure 7 は、HCM の症例である。TES, TPE の左室内の位相の分布はほぼ均一であるが、TPF では中隔から心尖部にかけて明らかな遅れがあり、asynchronous relaxation の存在が示された。

Figure 8 は、HOCM の症例である。すべての指標で左室の狭小化と中隔の著しい肥厚が認められた。左室内の位相分布は、TPF で心尖部にわずかに遅れを認めた。

Figure 9 は、HT の症例である。AMP, PER, PFR, TES, TPE はともに正常な pattern を示す。TPF は左室全体としてやや遅れているが、ほぼ均一であった。

Figure 10 は、IHD の症例で前壁中隔の梗塞例

である。中隔において AMP, PER, PFR が減少し、位相では、TES, TPE に比し TPF の遅れが著明であった。

Figure 11 は、各群の代表例の左室全体の volume curve を示す。黄色が fitting curve、赤がその 1 次微分、青が 2 次微分を示す。HCM では正常例に比べ、収縮期の勾配は急で PER は大となり、TPE も短縮する傾向にあった。TPF は延長しているが勾配は変わらず、PFR は変化しなかった。HOCM でも同様の傾向がみられた。IHD では、収縮期、拡張期とともに勾配はゆるやかで、PER, PFR の低下と TPF の延長を示した。

#### IV. 考 案

心電図同期心プール像をフーリエ変換する位相解析法は、Adam<sup>2)</sup> らの報告以来急速に普及したが、最近フーリエ 1 次項近似では volume curve の fitting が十分でないことが指摘されている<sup>3~5)</sup>。今回用いたフーリエ高次項近似は、fitting の精度がよく、収縮期と拡張期を別々に評価することが可能であり、種々の指標が一度に算出されるという利点をもっている。著者らはこれを用いて、虚血性心疾患において早期から出現する拡張期障害について報告したが<sup>5)</sup>、拡張期の問題はその重要性のためにさまざまな方法を用いて検討されてい

る<sup>8~11)</sup>。またその問題は、虚血性心疾患のみならず肥大心においても検討が加えられている<sup>12~15)</sup>。しかし虚血性心疾患、肥大心の両者の収縮期および拡張期について、各種の指標で比較検討した報告は少ない。

### 1. 収縮期の指標

左室全体の収縮期の指標である TPE は、肥大心群の中の HCM, HOCM は HT より短縮する傾向にあったが、HT では正常との間に差は認められなかつた。これは両者の after load の違いによるものと思われる。Hammermeister らは、X 線左室造影所見より、S dV/dt までの時間(TPE に相等する)が Idiopathic hypertrophic subaortic stenosis (IHSS) で正常より短縮し、Aortic stenosis で正常と同じという報告<sup>16)</sup>をしており、著者らの結果もこれと同様の意義をもつと思われる。また成田らは、収縮期指標の 1/3 ER mean が HCM では HT より高値を示すと報告している<sup>15)</sup>が、今回のわれわれの検討では、PER は両者間に有意差ではなく、HCM における TPE の短縮がこれに関与していると考えられる。

### 2. 拡張期の指標

肥大心および IHD 群に共通してみられた拡張期障害は TPF の延長であり、病的心における拡張期障害を示す有用な指標であった。すなわち TPF の延長は、病的心の収縮機能あるいは EF が異常を示す以前に出現する鋭敏な指標と思われる。

PFR は、Bonow らの報告のごとく<sup>9,17,18)</sup>、IHD 群で低値を示し、HCM では正常との差は認められなかつた。また HCM, HOCM, HT 間にも有意差を認めず、これは成田らの報告<sup>10)</sup>とほぼ一致した。

### 3. 収縮期・拡張期の比の指標

PFR/PER, TPF/TPE はともに、肥大心群、IHD 群の大部分の症例で明らかな異常値を示し、これらの心疾患群と正常人とを分離できる最も優れた指標と考えられた。

### 4. 左室 asynchrony の指標

左室の拡張期の asynchrony を示す TPF (SD) は、IHD 群のみならず、HCM, HOCM でも高値を示し、asynchronous relaxation の存在を示唆し

た。すなわち asynchronous relaxation は IHD に特異的所見ではないと考えられる。Samir<sup>19)</sup> らや Philip らの報告<sup>20)</sup>のごとく、IHD における asynchronous relaxation (Segmental early relaxation) の意義については検討されているが、HCM や HOCM の asynchronous relaxation の意義についてはまだ明らかでなく、今後さらに検討が必要と思われる。また同じ肥大心群でも HT では高値を示さず、特に HCM との間に有意差を認めた。これは肥大の均一性の違いが関与していると推定されるが、今後症例を重ねて検討する必要があろう。

### 5. フーリエ高次項近似について

マルチゲート心プール法は、非観血的に左室容量曲線を得ることができ、種々の画像処理も簡便なため、心機能評価に広く利用してきた。なかでも位相解析法は、各画素ごとの容量曲線をフーリエ近似して曲線の特長を抽出する優れた方法の一つである。しかし従来の 1 次項近似では fitting の精度に問題があるため、収縮期、拡張期を別々に評価できる高次項近似が望ましい<sup>3~5)</sup>。だが近似的の次数をあげると統計雑音をも近似してしまう危険があり、最適な近似が求められる。

著者らは、最適な近似の次数を求めるため、左室全体、および画素ごとの容量曲線の拡張末期総カウント数をそれぞれ 2 万、および 200~400 カウントと仮定したシュミレーションカーブによる検討を行った<sup>21)</sup>。その結果、左室全体の容量曲線には 3 次項、画素ごとの容量曲線には 2 次項を用いた場合が最も近似の精度がよくなり、誤差も TES, TPE, TPF で 50 msec 以内、PER, PFR で 10% 以内におさまった。この結果をもとにして、今回の検討では左室全体の曲線にはフーリエ 3 次項、画素ごとの曲線にはフーリエ 2 次項で曲線近似を行った。

左室全体の容量曲線の解析には多項式や最小二乗法<sup>8,16)</sup>による近似が多く用いられており、必ずしもフーリエ近似を利用する必要はないと思われる。しかし時間的雑音の含まれた曲線の解析には、何らかの曲線近似は必要であり、フーリエ近似は周期関数を利用した簡便な近似法のひとつとして

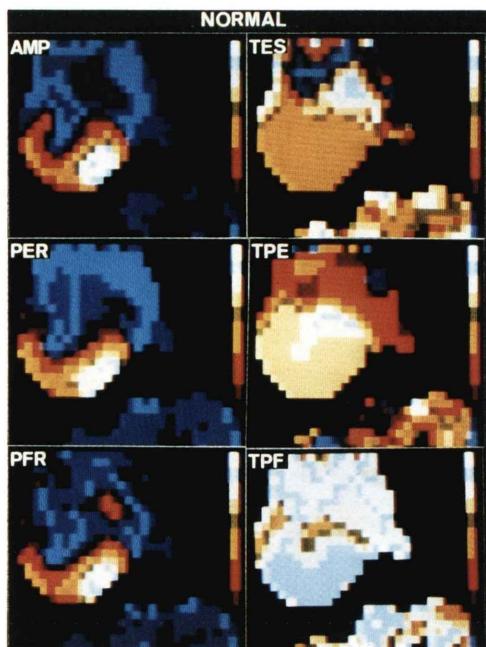


Fig. 6 The functional image of normal person. Note homogenous TES, TPE, and TPF distribution of left ventricle.

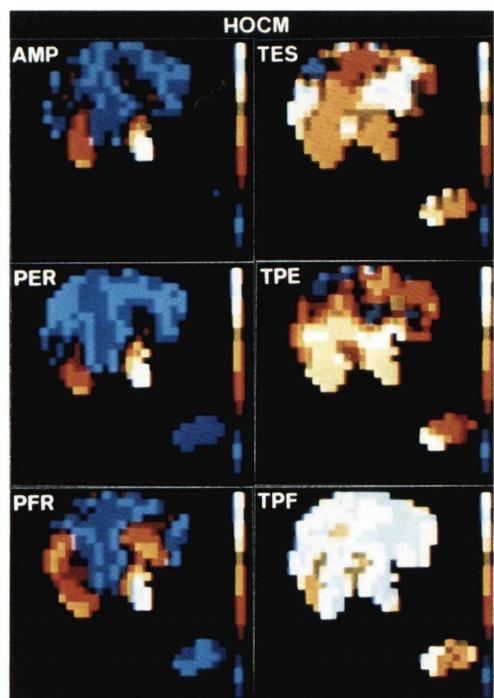


Fig. 8 The functional image of patient with HOCM. Note narrow left ventricular cavity with hypertrophied interventricular septum. Slight delay of TPF is observed in the apical region.

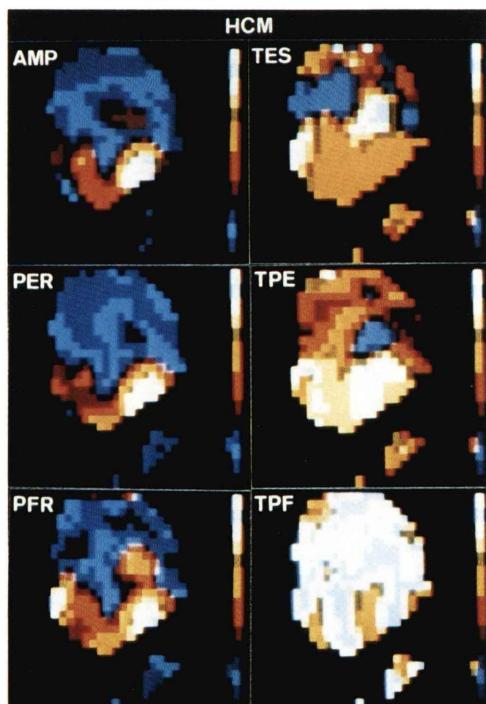


Fig. 7 The functional image of patient with HCM. Note marked delay of TPF than TES, and TPE.

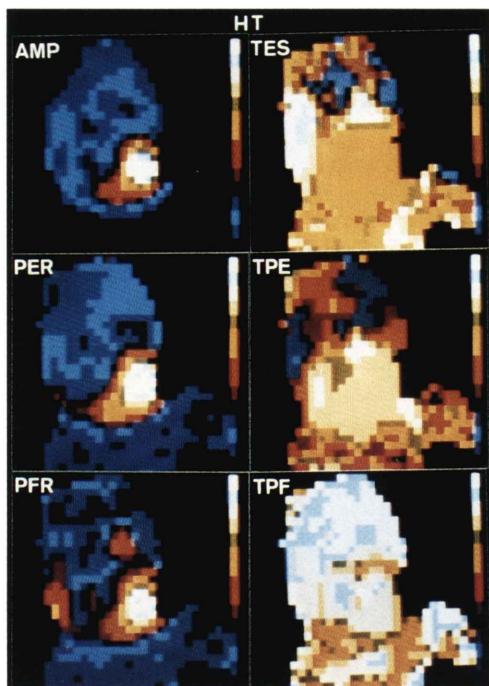


Fig. 9 The functional image of patient with HT. Note homogenous and slight delay of TPF.

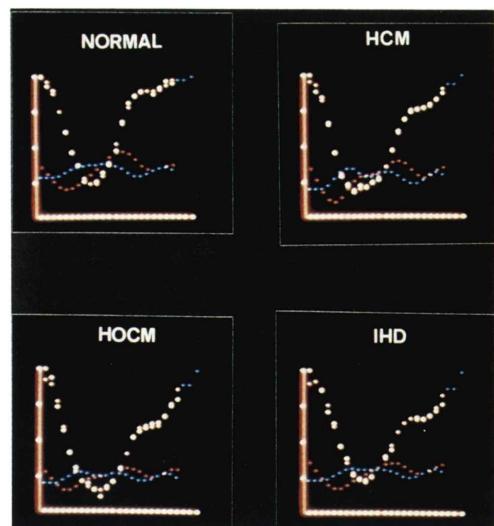


Fig. 11 Representation of left ventricular volume curves of each patient. Yellow curve represents fitted curve. Red and blue points indicate the first and second derivative, respectively. Patients with HCM shows larger PER, shorter TPE, and longer TPF than the normal. Patients with HOCM shows similar pattern in HCM. Patients with IHD shows smaller PER, PFR, and longer TPF than the normal.

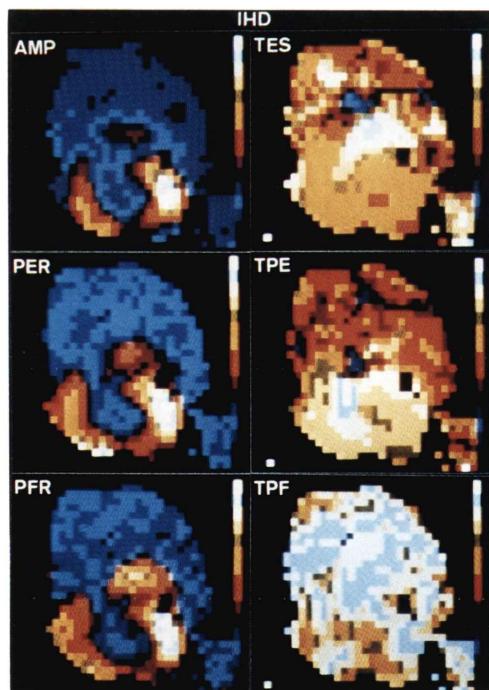


Fig. 10 The functional image of patient with IHD (anteroseptal infarction). Note decrease of AMP, PER, and PFR in anteroseptal region. Marked delay of TPF is observed in the same region, as compared with the mild delay of TES and TPE.

応用しやすい方法である。また、心マルチゲート法の大きな特長はX線左室造影法や超音波断層法などでは得ることのできない局所の容量曲線の解析であるが、フーリエ高次近似によって局所における収縮期機能、拡張期機能の評価が可能となった。すなわちフーリエ高次項近似法は、左室全体および局所の収縮期、拡張期を別々に評価できる簡便で優れた方法と考えられる。

## V. 結語

左室容量曲線を画素ごとおよび左室全体を対象とし、肥大心およびIHDの評価を行った。

- 1) 収縮期の指標のTPEは肥大心群において、HCM, HOCMはHTより明らかに短縮し、これはafterloadの違いによるものと思われた。
- 2) 拡張期の指標のPFRはIHD群で有意に低値を、TPFはIHD群および肥大心群ともに有意に延長を示し、これらの指標は拡張期障害を示す有用な指標であった。
- 3) 収縮期・拡張期の比の指標のPFR/PER, TPF/TPEはともに病的心において高率に異常値を呈し、拡張期障害を示す最も優れた指標であった。

4) 局所の拡張期におけるasynchronyの指標であるTPF(SD)は、IHD群のみならずHCM, HOCMでも高値を示し、これらにおけるasynchronous relaxationの存在が示唆された。

5) フーリエ高次項による曲線近似法は、種々の重要な指標が得られ、左室全体および局所の収縮期、拡張期を別々に評価でき、肥大心およびIHDの評価にきわめて有用と考えられた。

本論文の要旨の一部は第23回日本核医学会総会(1983年9月、高槻)にて発表したものである。

## 文献

- 1) Botvinick E, Dunn R, Frais M, et al: The phase image: Its relationship to patterns of contraction and conduction. *Circulation* **65**: 551-560, 1982
- 2) Adam WE, Tarkowska A, Bitter F, et al: Equilibrium (gated) radionuclide ventriculography. *Cardiovasc Radiol* **2**: 161-173, 1979
- 3) 前田寿登, 竹田 寛, 中川 肇, 他: マルチゲート法心プールデータについてのフーリエ解析応用による心 functional imaging. *核医学* **19**: 765-776, 1982
- 4) Mukai T, Tamaki N, Yonekura Y, et al: Optimum order harmonics of Fourier analysis in multigated blood-pool studies. *J Nucl Med* **24**: 17, 1983 (abst)
- 5) 玉木長良, 向井孝夫, 渥小太郎, 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
- 6) 玉木長良, 向井孝夫, 渥小太郎, 他: Phase analysisによる左室局所壁運動の定量評価——位相分布ヒストグラムによる検討. *核医学* **19**: 1241-1248, 1982
- 7) Tamaki N, Mukai T, Ishii Y, et al: Evaluation of asynchrony by phase analysis of resting and exercise blood pool studies. *J Nucl Med* **23**: 83, 1982 (abst)
- 8) Hammermeister KE, Warbase JR: The rate of change of left ventricular volume in man II. Diastolic events in health and disease. *Circulation* **49**: 739-747, 1974
- 9) 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
- 10) 成田充啓, 栗原 正, 村野謙一, 他: 心プールイメージより求めた 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
- 11) 近藤 武, 菊田 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 Cardiography* **10**: 1097-1103, 1980
- 12) Stewart S, Mason DT, Braunwald E, et al: Impaired rate of left ventricular filling in idiopathic hypertrophic subaortic stenosis and valvular aortic stenosis. *Circulation* **37**: 8-14, 1968
- 13) Hamada M, Matsuzaki K, Kazatani Y, et al: Diagnostic significance of early diastolic time intervals in patients with hypertrophic cardiomyopathy and myocardial hypertrophy due to essential hypertension. *Jpn Circulation J* **47**: 522-527, 1983
- 14) Sanderson JE, Traill TA, Sutton MGST, et al: Left ventricular relaxation and filling in hypertrophic cardiomyopathy. An echographic study. *Br Heart J* **40**: 596-601, 1978
- 15) 成田充啓, 栗原 正, 村野謙一, 他: 肥大心における拡張期指標の有用性——<sup>99m</sup>Tc-心プールイメージングによる検討——. *核医学* **20**: 1133-1143, 1983
- 16) Hammermeister KE, Brooks RC, Warbase JR, et al: 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, 1973

- 17) Bonow RO, Rosing DR, Bacharach SL, et al: Effects of verapamil on left ventricular systolic function and diastolic filling in patients with hypertrophic cardiomyopathy. Circulation **64**: 787-796, 1981
- 18) Bonow RO, Frederick TM, Bacharach SL, et al: Atrial systole and left ventricular filling in hypertrophic cardiomyopathy: Effect of verapamil. Am J Cardiology **51**: 1386-1391, 1983
- 19) Samir EA, William AT, Airlie C, et al: Asynchronous ventricular relaxation: An angiographic temporal analysis of asynchronous left ventricular relaxation in man. Am J Cardiology **43**: 41-46, 1979
- 20) Philip AL, Joseph DB, Alan JT, et al: Association of asynchronous protodiastolic segmental wall motion with impaired left ventricular relaxation. Circulation **64**: 1201-1211, 1981
- 21) 玉木長良, 向井孝夫, 濑小太郎, 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——(2) シュミレーションカーブによる基礎的検討. 核医学 **20**: 301-307, 1983

### Summary

#### Quantitation of Regional and Global Cardiac Performance by Phase Analysis Using Higher-order Harmonics: (3) Comparison of Hypertrophic Heart Disease and Ischemic Heart Disease

Shusei KODAMA\*, Nagara TAMAKI\*, Takao MUKAI\*, Yoshiharu YONEKURA\*, Kotaro MINATO\*, Michio SENDA\*, Junji KONISHI\*, Kanji TORIZUKA\*, Yukisono SUZUKI\*\*, Shunichi TAMAKI\*\*, Ryuji NOHARA\*\*, Hirofumi KAMBARA\*\* and Chuichi KAWAI\*\*

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

Fourier analysis of gated blood-pool images using higher-order harmonics was performed in 79 cases to evaluate global and regional cardiac performance. Following indexes were obtained: EF (ejection fraction), TES (time to endsystole), PER (peak ejection rate), TPE (time to PER), PFR (peak filling rate), TPF (time to PFR), PFR/PER, TPF/TPE, TES (SD), TPE (SD), TPF (SD). Patients with ischemic heart disease (IHD) showed significantly lower PFR, longer TPF, and lower tendency of PER than normal group. Patients with hypertrophic heart disease (HCM: Hypertrophic cardiomyopathy, HOCM: Hypertrophic obstructive cardiomyopathy, HT: Hypertension with left ventricular hypertrophy) showed significantly

longer TPF, and higher PER than normal group. Patients with HCM and HOCM showed shorter TPE than HT, probably due to difference of afterload. Patients with IHD, HCM, and HOCM showed significantly higher TPF (SD) than normal group, suggesting asynchronous relaxation. However, patients with HT showed normal TPF (SD).

We conclude that Fourier analysis of gated blood-pool images using higher-order harmonics provides useful informations of systolic and diastolic properties in ischemic and hypertrophic heart diseases.

**Key words:** Gated blood-pool, Phase analysis, Higher-order harmonics, Asynchronous relaxation, Cardiac function.