《原　著》

心筋梗塞症の局所壁運動の分析

——フーリエ解析とチエビシエフ解析の比較——

田淵　博巳*　村田　啓*　外山比南子*　村木　俊雄*
千葉　一夫*　山田　英夫*　上田　慶二**

要旨　第1回循環時法 (RAO) および平衡時法 (LAO) のデータにフーリエおよびチエビシエフ近似を行い，局所駆出分画，位相および局所駆出時間を算出し，正常10例・心筋梗塞24例について比較検討した．1次項によるフーリエ解析で算出される位相値は，R-R 時間と負の相関を示し，症例間の比較には R-R 時間による補正を必要とした．チエビシエフ解析による局所駆出時間は R-R 時間と軽度正の相関を示したが生理的特質に基づくものと考えられ，本法により求めた駆出時間は梗塞群で有意に延長していた．フーリエおよびチエビシエフ解析による局所駆出分画は，梗塞群で有意に低下していた．前壁部および下後壁部の局所駆出時間を正常群と梗塞群で比較した所，RAO に比べ LAO では下後壁梗塞群の局所駆出時間延長の検出が困難であり，RAO での解析の有用性が示唆された．高次のチエビシエフ解析法は曲線近似が良好であり，心筋梗塞の局所壁運動の詳細な分析に有用であると考えられた．

I. はじめに

マルチゲート心イメージの局所容量曲線をフーリエ近似して得られる心機能図（振幅および位相イメージ）は，Adam 等の報告[1]以来種々の施設で検討されている[1~4]．

著者らは，第1回循環時法および平衡時法のデータについて，フーリエ級数1次の項で近似して振幅イメージと位相イメージを作成するプログラムを開発して，局所の振幅と位相の定量的解析を行い，虚血性心疾患などの解析を行ってきた[3,5]．その結果，心筋梗塞症で局所位相値が正常者の位相と比較して遅延を示さない症例を経験し，その原因としてフーリエ解析法で算出される位相値が R-R 時間に影響されるためではないかと考えられるに至った．

本研究の目的は，フーリエ級数1次項による解析法および高次項によるチエビシエフ解析法の評価と，これら2つの解析法を用いた心筋梗塞症の局所壁運動異常の分析にある．

II. 対象および方法

対象は，臨床所見・心電図・心筋タリウムスキャンで診断された前壁心筋梗塞14例，下後壁梗塞10例および正常対照者10例の計34例である．なお，正常対照者は冠動脈造影にて狭窄の認められなかった4例および心疾患を有さない若年 Volunteer 6例である．

ピロリン酸投与30分後，20 mCi の $^{99m}TcO_4^-$ を生食 20 m*l* で急速静注と同時に，スラントホールコリメーターを装着した γ-カメラ (Searle PHO-GAMMA V) を用い，右前斜位 (RAO) で第1回循環時法により，オンライン接続したコンピューターシステム (COSNM-TMGH) に，64×64 イメージサイズ・40 msec 間隔でデータ採取を行った．次に，$^{99m}TcO_4^-$ が赤血球を標識して平衡に達し

* 東京都養育院附属病院核医学放射線部
** 同　診療第一部
受付：57年2月3日
最終稿受付：57年5月7日
別刷請求先：東京都板橋区栄町 35-2 (〒173)
東京都養育院附属病院核医学放射線部
田淵博巳

Presented by Medical*Online

た時点で，左前斜位 (modified LAO) で，64×64イメージサイズ・40 msec あるいは 32×32イメージサイズ・10 msec 間隔で，平衡時法によるデータ採取を行った．

第1回循環時法・平衡時法ともにイメージモードでデータ採取を行い，第1回循環時法では4～8心拍，平衡時法では約600心拍データを加算した．採取された64×64イメージサイズのデータは，心イメージを中心に32×32イメージサイズに切り取り，10 msec 間隔で採取された32×32イメージサイズのデータは，統計精度をあげるため2枚ずつ加算して20 msec 間隔のイメージとした．

第1回循環時法および平衡時法で採取されたマルチゲートイメージの各絵素における time activity curve (Vt) を次の2方法で解析した．

(1) フーリエ解析法：すでに報告した[3]ように，フーリエ級数の1次の項で近似した．R-R 間をn等分して採取したデータの時間 ti におけるカウント数を V (ti) とすると，フーリエ関数は，

$$V(ti)=C_0+C_1\cos ti+S_1\sin ti$$

であらわされる．ここでは C_0 直流成分で，

$$C_0=\frac{1}{n}\sum V(ti),$$

$$C_1=\frac{2}{n}\sum V(ti)\cos\left((i-1)\frac{2\pi}{2}\right),$$

$$S_1=\frac{2}{n}\sum V(ti)\sin\left((i-1)\frac{2\pi}{n}\right)$$

となる．振幅 $A=\sqrt{C_1^2+S_1^2}$，位相 $p=\tan^{-1}\frac{S_1}{C_1}$

および C_0 を算出して，振幅および位相の機能図を作成した．局所駆出分画値 (REF) は C_0 と A から，

$$REF=200\,(A/C_0)/(1-BG)\left(1+\frac{A}{C_0}\right)$$

として算出した．バックグラウンド (BG) は，第1回循環時法では30%，平衡時法では50%とした．位相値は時間の絶対値 (msec) で表示した．

(2) チエビシエフ解析法：最小自乗法を用いて次式のようなチエビシエフ関数[6]で近似した．

$$T_0(X)=1$$

$$T_1(X)=x$$

$$Tn+1(X)=2X\cdot Tn(X)-Tn-1(X)$$

ただし $-1\leqq X\leqq 1$，n は次数で本解析では n=9 とした．チエビシエフ関数の1次微分は，次式のように解析的に求めることができる．

$$T_0'(X)=0$$

$$T_1'(X)=1$$

$$T'_{n+1}(X)=2\,T_n(X)+2\,T'_n(X)-T'_{n-1}(X)$$

駆出時間 (ET) は微分値が0になるまでの時間として算出した．また最大値 (C_{MX}) および最小値 (C_{MN}) から局所駆出分画値は，

$$REF=100\times(C_{MX}-C_{MN})/(C_{MX}-BG)$$

として算出した．BG には①の場合と同じ値を用いた．

(1) および (2) の方法で求めた駆出分画および位相あるいは駆出時間イメージに関心領域 (絵素数約20～30) を設定してそれぞれのヒストグラムを作成し，局所の駆出分画，位相および駆出時間を定量した．壁運動は，第1回循環時法および平衡時法で作成したマルチゲートイメージのシネ表示[7]を用い，左室前壁・下後壁・中隔・側壁各局所の壁運動を X 線左室造影法の分類に準じて，normal・hypokinesis・akinesis・dyskinesis の4段階に分け，各局所についてフーリエ解析法およびチエビシエフ解析法でパラメーターを算出し，以下の項目について検討した．

1) 局所駆出分画，局所位相，局所駆出時間と R-R 間隔の関係．
2) 梗塞群と正常群の局所位相の比較．
3) 梗塞群と正常群の局所駆出分画の比較．
4) 梗塞群と正常群の局所駆出時間の比較．
5) 梗塞群と正常群の前壁および下後壁局所駆出時間の比較．

統計処理には t 検定を用い，危険率5%以下を有意とした．

Presented by Medical*Online

III. 結　果

1. 局所駆出分画，局所位相，局所駆出時間とR-R 間隔の関係

Fig. 1 は，正常対照者10例について，フーリエ解析で求めた各局所の位相値と R-R 間隔の関係をみたものである．前壁・下後壁の Segment において両者の間には，相関係数 r＝−0.62～−0.93 と有意の負の相関がみられた．中隔・側壁の Segment においてはその相関はやや低かった．このように算出される位相は R-R 間隔の影響を受けることが示され，症例間で位相値を比較する場合は，R-R 間隔による補正を必要とすることが示唆

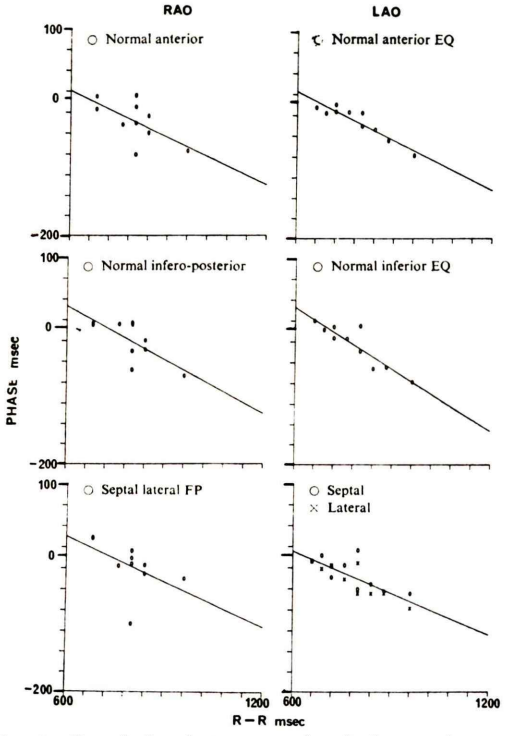


Fig. 1 Correlation between regional phase value and R-R interval in normal control.
Significant negative correlation was seen between regional phase value and R-R interval in the all segments.
Upper: anterior region. Middle: infero-posterior region. Lower: septal and lateral region. Left: RAO analysis. Right: LAO analysis.

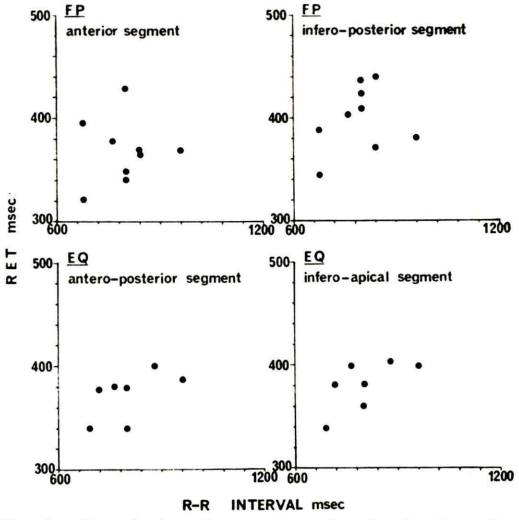


Fig. 2 Correlation between regional ejection time (RET) by Chebyshev analysis and R-R interval in normal control.
Slight correlation was seen in the analysis by LAO (lower) projection.
FP: First pass method. EQ: Equilibrium method.

された．

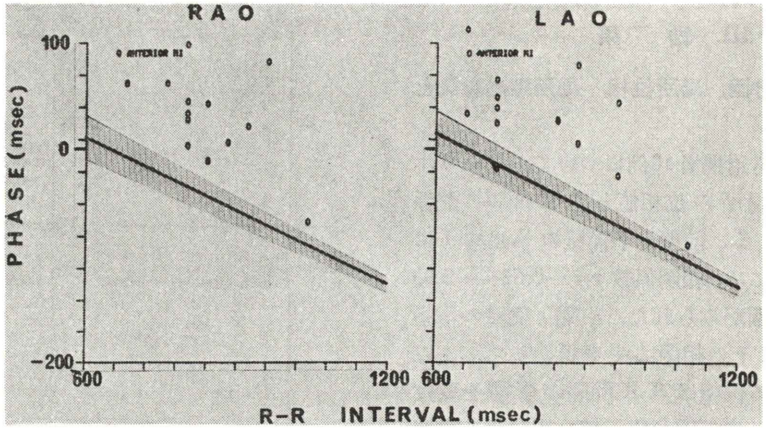
一方，正常 10例の各局所について，RAO (FP: First pass method) と LAO (EQ: Equilibrium method) でチエビシエフ解析により求めた局所駆出時間と R-R 間隔との関係をみると，Fig. 2 に示すごとく，平衡時法 (EQ 法) では，相関係数 r＝0.56～0.66 と軽度正の材関が認められた．

フーリエ解析およびチエビシエフ解析による局所駆出分画と R-R 間隔の間には有意な相関は認められなかった．

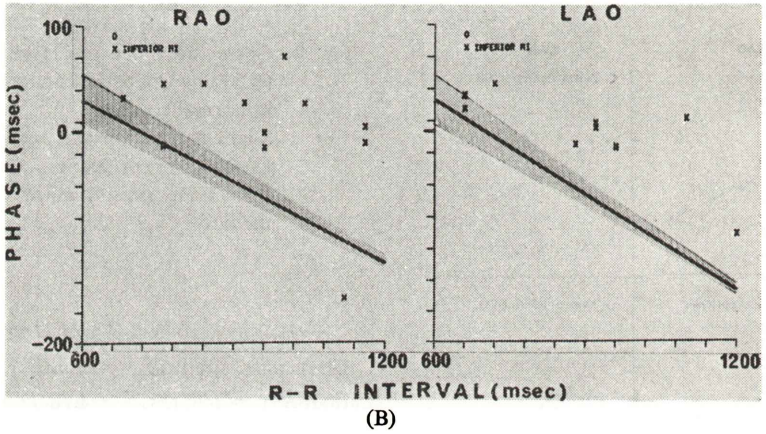
2. 梗塞群と正常群の局所位相の比較

Fig. 3 (A および B) は，前壁梗塞および下後壁梗塞について，フーリエ解析で算出した病変部の局所位相値と Control の当該局所の位相値とを R-R 間隔で補正して比較したものである．斜線の部分は対照群の位相値を示している．このように，算出された位相値を R-R 間隔で補正して比較することにより，梗塞群では Control 群に比し位相の遅延していることが示された．

Presented by Medical*Online



(A)



(B)

Fig. 3 Regional phase values of infarcted group and normal control.
Normal control and myocardial infarction was clearly separated with correction by R-R interval.
A: anterior myocardial infarction.
B: infero-posterior myocardial infarction.
Solid line and shaded area shows regional phase value of normal control.

3. 梗塞群と正常群の局所駆出分画の比較

局所壁運動が正常な群および hypokinesis, akinesis, dyskinesis を示した梗塞群で，フーリエ解析で求めたおのおのの局所駆出分画を比較したものを Fig. 4 に示す．RAO・LAO ともに正常群に比し梗塞群の局所駆出分画は，有意に低値を示した．また梗塞群では，LAO における akinesis と dyskinesis 群間を除いて，各群の局所駆出分画に有意な差がみられた．

Fig. 5 に，チエビシエフ解析で求めた局所駆出分画を，同様に各群で比較したものを示す．正常群に比し梗塞群では，明らかな局所駆出分画の低値を示した．梗塞各群において，akinesis と dyskinesis 群には有意な差は認められないが，akinesis および dyskinesis 群は hypokinesis 群に比べ，有意な局所駆出分画の低値を示した．RAO と LAO で特に差は認められなかった．

4. 局所駆出時間の比較

Fig. 6 は，チエビシエフ解析を用いて局所駆出時間を RAO と LAO とで求め，正常群および梗

Presented by Medical*Online

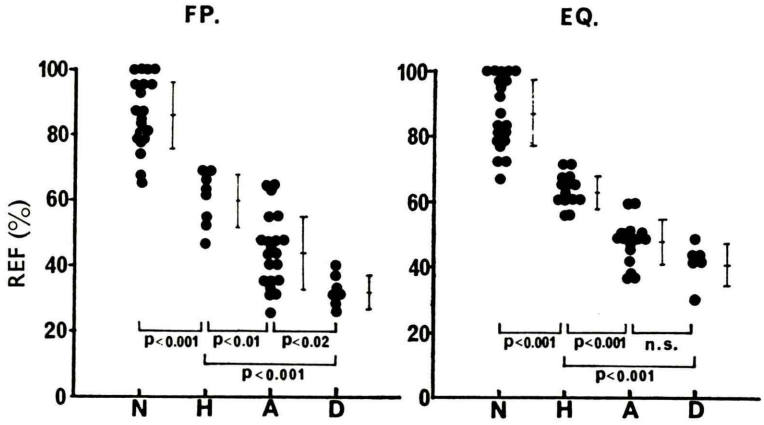


Fig. 4 Regional ejection fraction (REF) at normal area and infarcted area by Fourier analysis.
Significant differences in REF were observed among the group except between akinetic and dyskinetic area in LAO.
N: Normal H: Hypokinesis A: Akinesis D: Dyskinesis

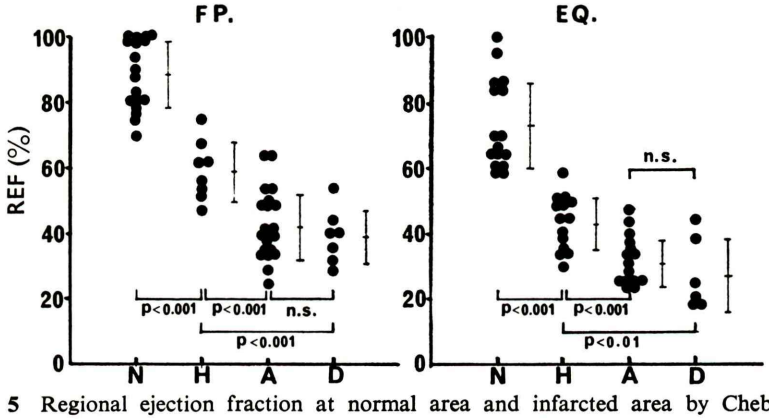


Fig. 5 Regional ejection fraction at normal area and infarcted area by Chebyshev analysis.
Significant differences in REF were observed among the groups except between akinetic and dyskinetic area.
Abbreviations are same as Fig. 4

塞各群 (hypokinesis, akinesis, dyskinesis) で比較したものである．正常群に比し梗塞各群は有意 ($p<0.001$) な局所駆出時間の延長を示している．また梗塞群の中で，LAO での hypokinesis と akinesis 群は有意に分離されないものの，他の各群は有意に分離され，dyskinesis 群の局所駆出時間が最も延長していた．

次に，前壁部および下後壁部における局所駆出時間を正常群と梗塞群で比較したものを，Fig. 7 (A および B) に示す．第1回循環時法による RAO では，前壁部で正常群の局所駆出時間は平均367±31 (SD) msec に対し梗塞群は 533±66 msec となり，また下後壁部で正常群 398±31 msec に対し梗塞群は 475±36 msec となり，梗塞群で明らかな局所駆出時間の延長が認められた．平衡時法による LAO では，前壁部で正常群 371±23 msec に対し梗塞群 446±67 msec と梗塞群の局所駆出時間の延長が認められるものの，下後壁部では正

Presented by Medical*Online

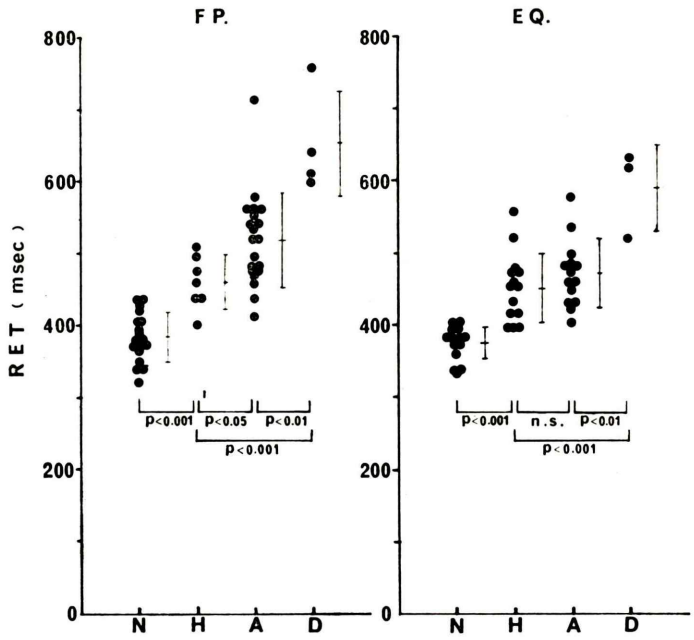


Fig. 6 Regional ejection time at normal area and infarcted area by Chebyshev analysis. Significant separation was observed among the groups except between hypokinetic and dyskinetic area in LAO.
Abbreviations are same as Fig. 4.

常群 371±23 msec に対し梗塞群 386±44 msec と有意差がなく，異常が検出されなかった．

IV. 考　察

フーリエ解析法は，梗塞部の局所壁運動を空間的異常としてのみでなく，時間的な異常としてもとらえるものであり，心筋梗塞症の壁運動異常の分析に有用なものとして普及しつつある方法[8~10]である．本論文では，1次項によるフーリエ解析法と高次項によるチエビシエフ解析法を比較検討し，これら2法を用いて心筋梗塞症の局所壁運動の分析を行った．

Fig. 8 は，局所容量曲線 (* 印) にフーリエ近似 (実線) およびチエビシエフ近似 (破線) を行い，その近似誤差 (*% RMS: Root Mean Square) を比較したものである．フーリエ級数の1次の項の近似では近似誤差11～17%，チエビシエフ関数の9次の項の近似では近似誤差は3%以内となり，フーリエ近似よりもチエビシエフ近似の方が良好であった．ゲート法で得られるデータのカウント数は平衡時法 (EQ 法) に比べて第1回循環時法 (FP 法) で少なく，その統計誤差は EQ 法が約5%であるのに対し，FP 法は約 20% である．しかし，フーリエ近似に際しての誤差は EQ 法11%，FP 法 17% と差がなく，両方で得られるデータはほぼ同程度の精度の解析が可能であることが示された．これは，1次項のフーリエ近似はデータの統計精度のみに影響されるのではないことを示すものであろう．

今回の検討でフーリエ級数の1次の項の近似により算出される位相値は，R-R 時間と負の相関を示した．そこで R-R 時間 960 msec の1正常例のデータにおいて，拡張期の時間を短縮させてフーリエ近似を行い位相を算出した．その結果，240 msec 短縮した場合位相値 p=1 msec, 160 msec 短

*：フーリエ近似では直流成分に対する RMS の%で表わし，チエビシエフ近似では最大値に対する RMS の%で表わした．

Presented by Medical*Online

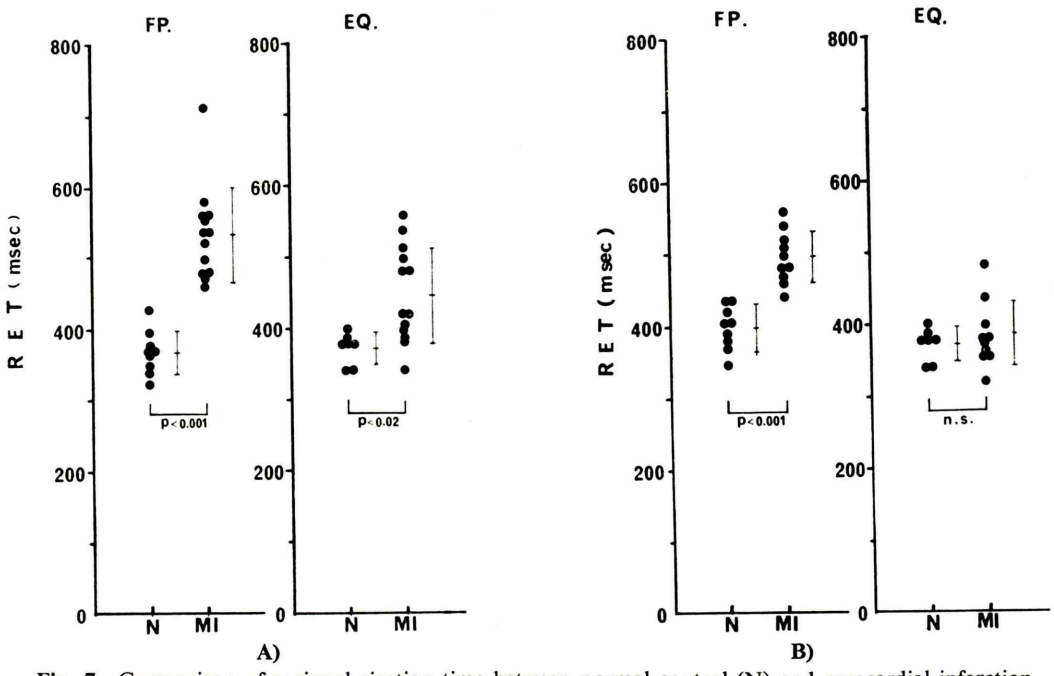


Fig. 7 Comparison of regional ejection time between normal control (N) and myocardial infarction (MI) in first pass (FP) and equilibrium (EQ) methods. Significant prolonged RET of MI was observed in FP method, however, there was no significant difference between them at inferoposterior wall in EQ method.
A: ROI was selected at anterior wall. B: ROI was selected at infero-posterior wall.

縮した場合 p＝−22 msec, 80 msec 短縮した場合 p＝−42 msec, 短縮しないで R-R 時間 960 msec にわたって近似した場合 p＝−79 msec となった．このように，拡張相の長さに対応して算出される位相値が変化することがわかった．R-R 間隔の長い症例の容積曲線では，収縮相の延長よりも拡張相の延長が著明である．したがって，以上述べたように，対称に近似するという特性を持つ 1 次項のフーリエ近似では，長い拡張相の影響を受けて位相が実際よりも早く算出されるものと考えられ，各症例間の比較には R-R 時間による補正を必要とすることが示された．このような R-R 時間と位相の関係は，位相を角度で表示しても同様と考えられる．つまり，1 次の項を用いたフーリエ近似は，本質的にその近似性に起因して R-R 時間に左右されるものであり，R-R 時間が長い場合位相が実際よりも早く算出されるものである．

一方，チエビシエフ解析による駆出時間と R-R 時間との間にも，軽度正の相関が認められた．しかし本法は Fig. 8 に示すように，その近似誤差は 3％以内と近似が良好であった．したがって R-R 時間と駆出時間の関係は，フーリエ近似の場合と異なり，曲線近似の特性によるものよりはむしろ生理学的特質に基づくものと考えられる．また近似の良好な事より，より部位間の駆出時間差等詳細な病巣の異常を検出できるものと考えられる．高次のフーリエ近似を用いても同様の結果が得られる．

位相の表示法としては，左室全体の位相を角度表示し，その平均値および標準偏差 (SD) を時間的収縮異常の指標とする報告[10]や，最大値[11]あるいは Peak 値[2]を用いる方法等がある．しかし，角度表示の場合でも平均値や最大値は前述したように R-R 時間に左右される．したがって，SD 自身も R-R 時間の影響を若干受けると考えられる．また Walton ら[9]も指摘しているように，左室全

Presented by Medical*Online

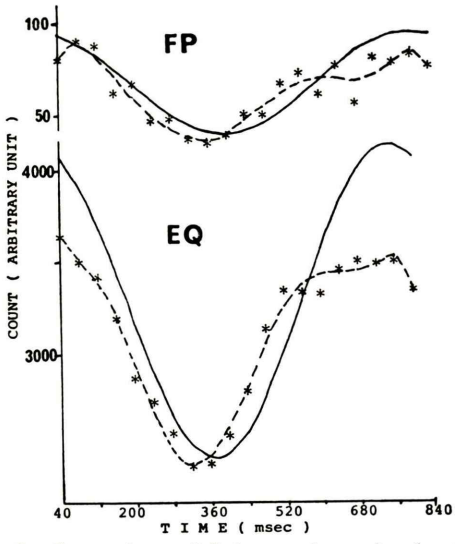


Fig. 8 Comparison of fitting to the regional volume curve (*) between Fourier transform and Chebyshev transform.

	Fourier analysis			Chebyshev analysis		
	REF (%)	PHASE (ms)	%RMS	REF (%)	RET (ms)	%RMS
FP	84.2	−42	16.9	83.6	348	2.5
EQ	81.8	−50	11.0	67.8	327	1.4

Chebyshev transform showed good fitting compared with Fourier transform. Solid line shows Fourier transform and broken line shows Chebyshev transform.

体に ROI を設定して算出される位相の平均値および SD は病巣の大きさに影響される．そのためにその平均値は，小梗塞ではより健常部の位相を反映し，大梗塞ではより梗塞部を示すことがある．このような場合には，臨床診断に際して正確な病巣の検出が困難であると考えられる．今回われわれが，各局所に ROI を設定し局所の位相を算出したのは，以上のような理由からである．

フーリエ解析による局所位相値は，R-R 時間で補正する事により，正常群と梗塞群が明確に区別された．

駆出分画またはチエビシエフ解析による駆出時間も位相と同じように，病巣部の収縮異常をより正確に分析する目的で，各局所に ROI を設定して算出した．

チエビシエフ解析法で算出される局所駆出時間は，R-R 時間による補正なしの比較でも，梗塞群の局所駆出時間が正常群に比して有意に延長していた．また梗塞症例中，hypokinesis, akinesis および dyskinesis を示す各群の局所駆出時間に差がみられたことは，梗塞部の収縮異常が R-R 間隔の影響を上まわるものであることが示唆された．局所駆出時間は局所壁運動の時間的異常を検出する上で良い指標となるものと考えられた．

フーリエ解析およびチエビシエフ解析で求めた局所駆出分画は，時間的指標に比べいずれも R-R 時間に殆んど左右されず，両解析法ともに正常群に比べ梗塞群の局所駆出分画の低下を明瞭に検出し得た．梗塞群の中で，akinesis と dyskinesis を示す群間で局所駆出分画の有意差は認められなかったが，これらの群と hypokinesis 群の間には有意な差がみられた．

前壁部および下後壁部に ROI を設けて局所駆出時間を正常群と梗塞群で比較した所，RAO では梗塞群の局所駆出時間の延長が明瞭に検出された．しかし，LAO では前壁梗塞群に比べ，下後壁梗塞群は正常群との局所駆出時間の差が明瞭ではなかった．これは Walton ら[9]も指摘しているように，より γ-カメラ面に近い健常前壁部の影響を受け，下後壁部の駆出時間の延長が検出できないものと考えられ，下後壁梗塞の病巣検出における RAO 解析の有用性が示唆された．

フーリエ解析法は，複雑な容積曲線から簡明に位相を算出し，局所の心筋収縮のずれを検出する方法として，心筋梗塞等の症例の病態把握に有用なものと考えられる．しかし，本法による位相値を症例間で比較する場合には，R-R 時間による補正を必要とする臨床応用上の制限がある．

一方，チエビシエフ解析法は曲線近似が良好であり，それにより求められた局所駆出時間は，梗塞部の局所壁運動の時間的異常の分析に有用であった．

しかし，局所の心筋収縮の開始を表わす指標と考えられる位相に対し，チエビシエフ解析による

Presented by Medical*Online

局所駆出時間は心電図R波の頂点から心室局所の駆出終了までの時間を表わしたものであり，前駆出時間および駆出時間を含みその臨床的意義は異なる．Pitt ら[12]は，左室の局所容積曲線の分析で，局所駆出分画の低下している部位で局所駆出時間が延長 (Tardokinesis) することを指摘している．また，Holman ら[13]は，虚血性心疾患においてglobal な左室駆出時間に比し，hypokinesis, akinesis および dyskinesis を示す部位の局所駆出時間が著明に延長していることを報告している．これらの報告は，われわれの求めた梗塞部における局所駆出時間の延長と同様の意義をもつものと考えられる．しかし，その臨床的意義は今後さらに検討する必要があると思われる．

V. 結　語

1) 1次項のフーリエ近似により算出される位相値は，R-R 時間の影響を受けることがわかった．したがって症例間の比較には R-R 時間による補正が必要と考えられた．

2) チエビシエフ解析による局所駆出時間は正常群に比し梗塞群で有意な延長を示した．

3) フーリエ解析およびチエビシエフ解析による局所駆出分画は，梗塞群において明瞭な低下を示した．

4) LAO による解析では，下後壁梗塞の局所駆出時間の延長が明瞭でなく，RAO での解析の有用性が示された．

本論文の一部は，第21回日本核医学会総会 (1981年10月，札幌) および第16回関東甲信越核医学会地方会 (1982年2月，東京) にて発表した．

文　献

1) Adam WE, Tarkowska A, Bitter F, et al: Equilibrium (gated) radionuclide ventriculography. Cardiovasc Radiol **2**: 161–173, 1979
2) Links MJ, Douglass HK, Wagner Jr NH: Patterns of ventricular emptying by Fourier analysis of gated blood pool studies. J Nucl Med **21**: 978–982, 1980
3) 外山比南子，飯尾正宏，村田啓，他：位相分析法による第1回循環時および平衡時マルチゲートイメージの解析．画像診断 **1**: 81–88, 1981
4) 向井孝夫，玉木長良，石井靖，他：心拍同期心プール像の位相解析による局所心筋壁運動の評価．核医学 **18**: 609–612, 1981
5) 村田　啓，田淵博已：刺激伝導系の診断—位相解析—．画像診断 **1**: 535–540, 1981
6) 犬井鉄郎著：特殊函数．岩波全書：p 196–207, 1962
7) 外山 比南子，飯尾 正宏：moving image system (MIS)．日本臨床 **37**: 93–99, 1979
8) Vos PH, Vossepoel AM: Functional images to describe the contractility of the heart in gated blood pool studies. MEDINFO'80. Lindberg/Kaihara editors, North-Holland Publishing Company: 1121–1125, 1980
9) Walton S, Yiannikas J, Jarritt HP, et al: Phasic abnormalities of left ventricular emptying in coronary artery disease. Br Heart J **46**: 245–253, 1981
10) 玉木長良，向井孝夫，石井靖，他：phase analysis による左室局所壁運動の定量的評価．核医学 **18**: 1241–1248, 1981
11) Byrom E, Pavel DG: Algorithm for quantification of regional wall motion abnormalities using the phase image of the ECG synchronized cardiac study. J Nucl Med **21**: p 47 (abst), 1980
12) Strauss HW, Pitt B: Cardiovascular Nuclear Medicine (second edition): 140–141, Mosby, 1979
13) Holman LB, Wynne J, Idoine J, et al: Disruption in the temporal sequence of regional ventricular contraction. Circulation **61**: 1075–1083, 1980

Presented by Medical*Online

Summary

Analysis of Regional Wall Motion Abnormality in Patients with Myocardial Infarction

Hiromi TABUCHI*, Hajime MURATA*, Hinako TOYAMA*, Toshio MURAKI, Kazuo CHIBA*, Hideo YAMADA* and Keiji UEDA**

**Department of Nuclear Medicine and Radiological Sciences and **Department of Internal Medicine, Tokyo Metropolitan Geriatric Hospital, Tokyo*

Regional ejection fraction (REF), phase and regional ejection time (RET) were calculated by using Fourier transform and Chebyshev transform from the regional volume curves obtained by first pass method in the right anterior oblique (RAO) projection and equilibrium method in the left anterior oblique (LAO) projection. Each parameter thus obtained was compared between 10 cases of normal control (NC) and 24 cases of myocardial infarction (MI). Regional phase values by Fourier analysis showed significant negative correlation with R-R interval. Therefore, in intercases comparison these parameters were needed for correction by R-R interval. RET by Chebyshev analysis showed slight correlation with R-R interval in equilibrium method, however, correction by R-R interval was not performed because this correlation was thought to be due to physiological characteristics. REF by Fourier and Chebyshev analyses in the patients with MI were significantly decreased compared with those of NC. Corrected regional phase values by R-R interval in the patients with MI showed significant delay compared with those of NC. RET in the patients with MI showed significant prolongation than RET of NC. On the analysis of regional contraction abnormalities in the patients with MI, prolongation in RET at anterior wall was detected in both RAO and LAO projections.

However, prolongation in RET at infero-posterior wall was precisely detected by RAO analysis whereas the abnormality was hardly detected in LAO projection. These findings indicated clinical usefulness of RAO analysis on the detection of infero-posterior infarction. Chebyshev analysis was effective on the analysis of regional wall motion abnormality of MI.

Key words: Fourier analysis, Chebyshev analysis, regional phase value, regional ejection time, regional ejection fraction.

Presented by Medical*Online