

RI アンジオ法における
amplitude image と
phase image による前壁
中隔梗塞の検討

Clinical usefulness of
RI angiography using
amplitude image and
phase image by Fourier
analysis for the detec-
tion of anteroseptal
myocardial infarction

生野 善康
田中忠治郎
竹内 一秀
奥 久雄
吉村 隆喜
木積 一憲
南川 博司
井上 英二
小松 裕司
越智 宏暢*
古川宏太郎**
西本 正紀**
川合 清毅***
坂口 一成***

Yoshiyasu IKUNO
Chujiro TANAKA
Kazuhide TAKEUCHI
Hisao OKU
Takayoshi YOSHIMURA
Kazunori KOTSUMI
Hiroshi MINAMIKAWA
Eiji INOUE
Hiroshi KOMATSU
Hironobu OCHI*
Kohtaro FURUKAWA**
Masaki NISHIMOTO**
Seiki KAWAI***
Kazushige SAKAGUCHI***

Summary

In 19 patients with anteroseptal myocardial infarction, the wall motion of interventricular septum was analyzed by RI angiography using the amplitude image and the phase image. Both images were obtained from ECG gated blood pool data by Fourier analysis. Namely, from the first harmonic in the Fourier series, the heart motion was detected as the amplitude and phase of time-activity curve

大阪市立大学医学部 第一内科

*同 RI 研究室

大阪市阿倍野区旭町 1-5-7 (〒545)

**和泉市立病院 内科

和泉市府中町 780 (〒594)

***大阪府立羽曳野院病 内科

羽曳野市はびきの 3-1-1 (〒583)

The First Department of Internal Medicine, *The Division of Nuclear Medicine, Osaka City University Medical School, Asahimachi 1-5-7, Abenoku, Osaka 545

**Internal Medicine, Izumi Municipal Hospital, Fuchu-cho 780, Izumi 594

***Internal Medicine, Osaka Prefectural Habikino Hospital, Habikino 3-1-1, Habikino 583

Presented at the 22nd Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, March 25-26, 1981
Received for publication May 6, 1981

in each pixel. The distribution of the amplitudes and phases were displayed in color scale, and then both the amplitude and phase images were acquired.

Those images allowed us visualization of the ischemic area, even if the scar was parallel to the detector. Moreover, we were able to assess the wall motion of the entire interventricular septum and to distinguish hypokinetic region and dyskinctic region from the hypokinetic region with shift of phase estimated by conventional method. Abnormal region detected by those images closely corresponded with the region of decreased radioisotope concentration in thallium-201 myocardial scintigram.

Key words

Fourier analysis Amplitude image Phase image Phase histogram Anteroseptal myocardial infarction

はじめに

近年, 循環器領域への radioisotope (RI) を用いた核医学検査の導入にはめざましいものがあり, 特に虚血性心疾患の非観血的な検査法として広く用いられる傾向にある. とりわけ RI アンジオカルジオグラフィ (RIACG) はシンチカメラとオンラインで接続したミニコンピュータとを組み合わせることにより, 心拍動状態を収縮末期および拡張末期像としてのみではなく, シネディスプレイすることも可能となり, これらを用いてより詳細な局所壁運動の評価が可能となった.

しかし, このような従来の方法では RIACG が持つ優れた特性, すなわち心機能を三次元的にとらえるという特徴を十分活用しているとはいえない. そこで本研究では, 平衡時マルチゲート法により収集したデータを Fourier 解析し, amplitude image と phase image を得る, Goris のプログラムを用い, 前壁中隔梗塞の特に中隔運動の評価における有用性を検討した.

症例と方法

症例は心電図より前壁中隔梗塞と診断し, thallium-201 (Tl-201) 心筋シンチグラムにおいても, 同部に欠損を認めた 19 例であり, このうち 2 例は下壁梗塞を, また 3 例は高位側壁梗塞を合併していた.

使用装置はシンチカメラ (Ohio Nuclear Σ 410S) とオンラインで接続した RI データ処理装

置 (Informatek Simis 3) である.

Tl-201 心筋シンチグラフィは, Tl-201 chloride 2 mCi 静注約 10 分後より通常の心 6 方向 (正面, 左前斜位 30 度, 45 度, 60 度, 左側面, 右前斜位 30 度) にて, シンチカメラに低エネルギー高分解能平行 コリメーターを装着し, 1 方向あたり 30 万カウントで撮像した.

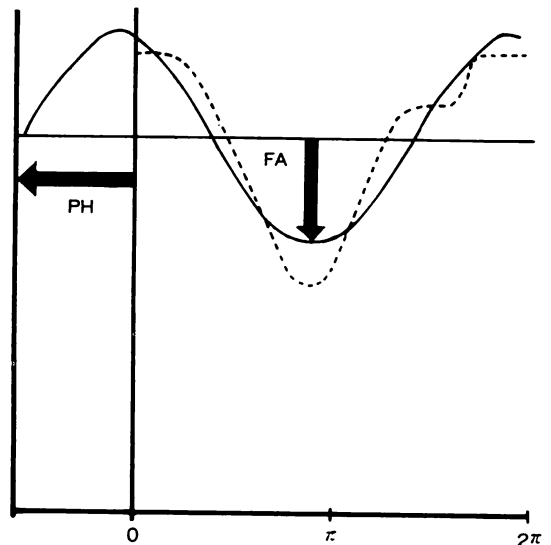


Fig. 1. Fourier analysis of the left ventricular curve with 16 points.

The first Fourier element best fits into the regional time-activity curve (dotted line). The amplitude corresponds to the extent of contraction. The phase yields information about the coordination of the contraction. (Modification from the scheme by Adam¹⁾).

FA=amplitude; PH=phase.

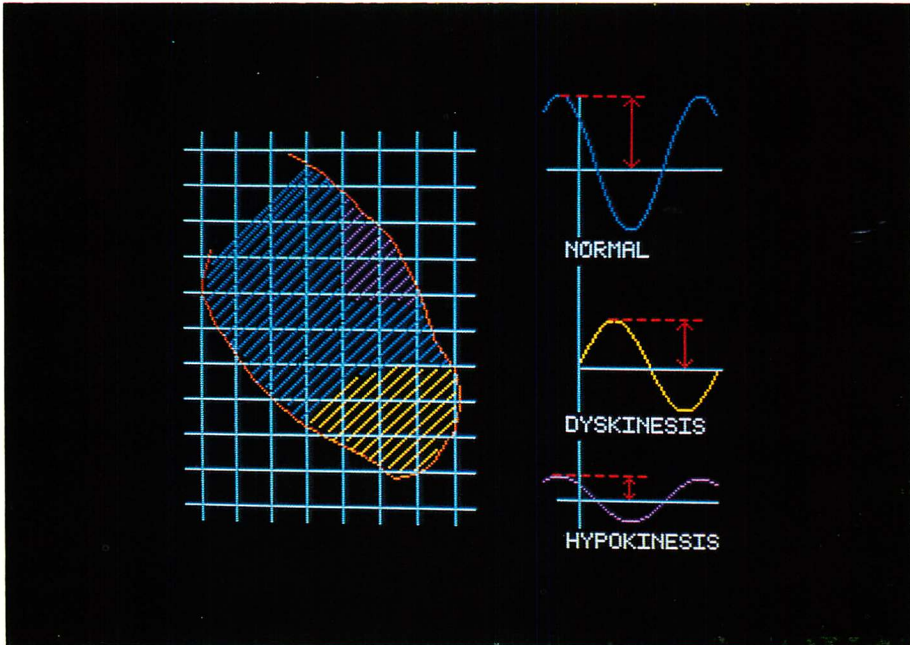


Fig. 2. Example of the first Fourier element of the regional time-activity curve.

Hypokinetic region (pink) has smaller amplitude than normokinetic region (blue). Dyskinetic region (yellow) shows not only smaller amplitude but also a phase shift as compared with normokinetic region.

RIACG は TC-99m ヒト血清アルブミン 20 mCi を静注後, 心プールの状態にて心室中隔が明瞭に分離できる左前斜位で, シンチカメラに高感度平行コリメーターを装着し, マルチゲート法によるデータ収集を行った. データ収集方法は, 磁気ディスクに心電図の R 波をトリガーとして, R-R 間隔を 16 等分し, 300-500 心拍を加算することにより行った. このデータを time-space filter にかけてスムージングを行い, 次に Fourier filter にて解析を行い, データ処理に使用した.

本法の原理は, Adam ら¹⁾が心室収縮の周期性を一種の波動現象とみなし, Fourier 解析することに着目したことに始まる. すなわち, 彼らは各 pixel ごとの time-activity curve (TAC) を Fourier 解析し, その一次高調波成分をみることにより, 心臓の拍動現象を振幅 (amplitude) と位相 (phase) という 2 つのパラメータでとらえるこ

とを可能にした (Fig. 1).

具体的な amplitude と phase の求め方は次式の順で得られる.

$$F_K(f) = \sum_{t=1}^N f(t)e^{-2\pi i Kt/N}$$

$$= \sum_{t=1}^N f(t)[\cos(2\pi Kt/N) - i \sin(2\pi Kt/N)]$$

上式は実数部と虚数部のベクトル合成として表わされている. すなわち, 実数部 $R_K(f)$ は

$$R_K(f) = \sum_{t=1}^N f(t) \cos(2\pi Kt/N)$$

であり, 虚数部 $I_K(f)$ は

$$I_K(f) = \sum_{t=1}^N f(t) \sin(2\pi Kt/N)$$

である. したがって, amplitude は

$$A_K(f) = (R_K(f)^2 + I_K(f)^2)^{1/2}$$

であり, phase は

$$P_K(f) = \arctangent (I_K(f)/R_K(f))$$

で表わされる. ただし, $F_K(f)$ は周波数 K における周期関数 f を Fourier 展開したもの. 実際には各 pixel における TAC を Fourier 展開した一次高調波を示す. t はフレーム番号, $f(t)$ は t 番目のフレームのカウンタ値, K は周波数, 本研究では一次高調波のみを使用, 実際には心拍数の $1/60$, N は全サンプル数(本研究では 16)を示す.

Fig. 2 に健常部, hypokinetic region, dyskintetic region における, おおのこの場所での TAC を Fourier 解析した一次高調波の模式図を

示す. すなわち, 健常部に比し, hypokinetic region では amplitude の減少のみを認め, dyskintetic region では amplitude の減少と phase の遅れを認めた.

最後に各 pixel ごとの TAC を Fourier 解析し得られた amplitude と phase についてそれぞれカラー表示することにより, amplitude image と phase image が得られる.

結 果

Fig. 3 に健常例の拡張末期と収縮末期の左室辺縁(左上), 左室を 8 つに分割した像(右上), それらの局所的な TAC (右下) と左室全体の TAC (左下) を示す. この例では各部の TAC に phase

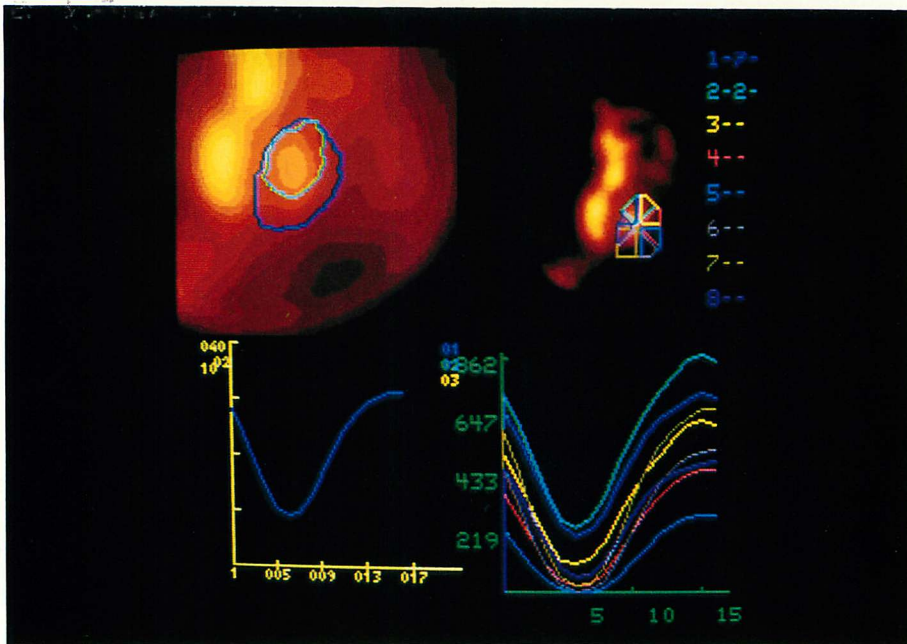


Fig. 3. Edge display, global and regional time-activity curves of the left ventricle in a normal case.

Edge display of the left ventricle at end-systole superimposing the end-diastolic image (upper left). Global left ventricular time-activity curve (lower left). Eight segments of the left ventricle (upper right) and regional time-activity curves of them (lower right).

Note that there is no phase shift among the eight regional time-activity curves.

の shift は認められなかった。これらは従来の局所壁運動並びに局所心機能の評価法である。しかし各 pixel のごとの TAC を表示することはできなかった。

Fig. 4 は **Fig. 3** と同一例の像である。左上に amplitude image, 右上に phase image を、さらに左下には phase のヒストグラム (横軸は phase の角度, 縦軸は pixel 数) を、また右下には isocounter を用いて、拡張末期像 (水色) と収縮末期像 (黄色) を示す。左端のカラースケールは青から白 (下から上) へ向うに従い, amplitude image では amplitude が大なることを、また phase image

では phase が遅れることを意味する。健常例では amplitude の最大となる部は左室全体に分布し、左室内に amplitude の低下部は認められず、また右室にも amplitude の大なる部は認められなかった。

一方, phase image では心室は両室ともに緑色で表示され、収縮に局所的な phase の shift は認められなかった。ヒストグラムでは心房に比し心室の phase の分布は均一であった。Isocounter による壁運動表示では、左室の収縮は良好であることが示された。

Fig. 5 は症例 5 の Tl-201 心筋シンチグラム

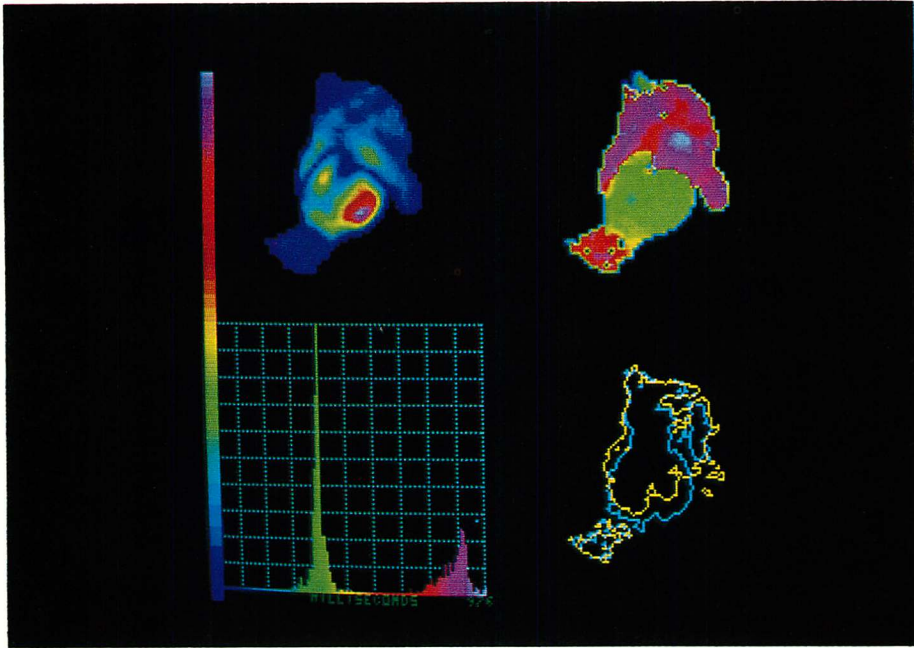


Fig. 4. The amplitude image, phase image, phase histogram and edge display of the same case in Fig. 3.

In color scale, the white indicates high amplitude in amplitude image and large phase shift in phase image, while the blue indicates low amplitude and small phase shift. Amplitude image (upper left) demonstrates good contraction in the left ventricular area.

Phase image (upper right) shows good coordination of the contraction in both ventricles. Phase histogram (lower left) is constructed with phase in degrees on the abscissa, and number of pixels within 3° range on the ordinate (green column: the ventricles, pink column: the atria and large vessels). Comparison of end-diastolic and end-systolic contours (lower right) provides information concerning normal myocardial wall motion.

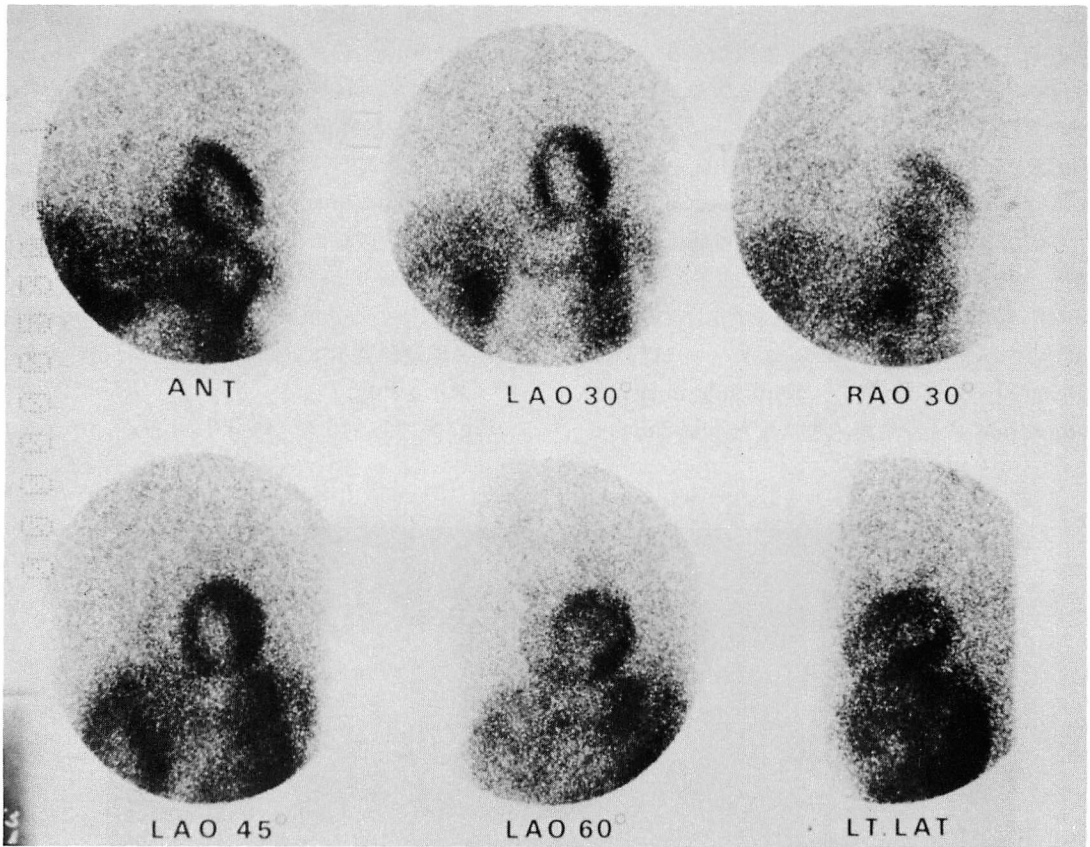


Fig. 5. Thallium-201 myocardial image in Case 5.

Note the relatively decreased radioisotope concentration in anteroseptal region.

ANT=anterior projection; LAO=left anterior oblique projection; RAO=right anterior oblique projection; LT. LAT=left lateral projection.

であるが、前壁と中隔に RI 分布の低下を認め
た。

Fig. 6 は同一症例の左室の 8 つの segment の
TAC を右下に示している。中隔と心尖部の
segment では amplitude の低下と phase の shift
が著しいことが明らかであった。

Fig. 7 も同一例の像である。右下の isocounter
による 壁運動表示では、中隔下部から心尖部の
akinesis を認めた。一方、amplitude の大なる部
は左室の後上方へ偏位し、中隔から心尖部は
amplitude の低下を認め、phase image ではその

部に一致して黄色から茶色を示す phase の shift
を認め、この部の dyskinesis が示唆された。ヒ
ストグラムでは phase の分布は幅広く、左室内
においても収縮の不均一性が明らかであった。

Fig. 8 は広範囲前壁梗塞に高位側壁梗塞を合
併し、巨大な心室瘤を有する症例 13 の像である。
Amplitude image では、amplitude の最大とな
る部は右室から一部心房に移り、左室は ampli-
tude の低下が著しく、一部 akinesis の部分も認
められた。Phase image では、心室瘤の部分の
phase の shift が著明で、心房大血管と同じピン

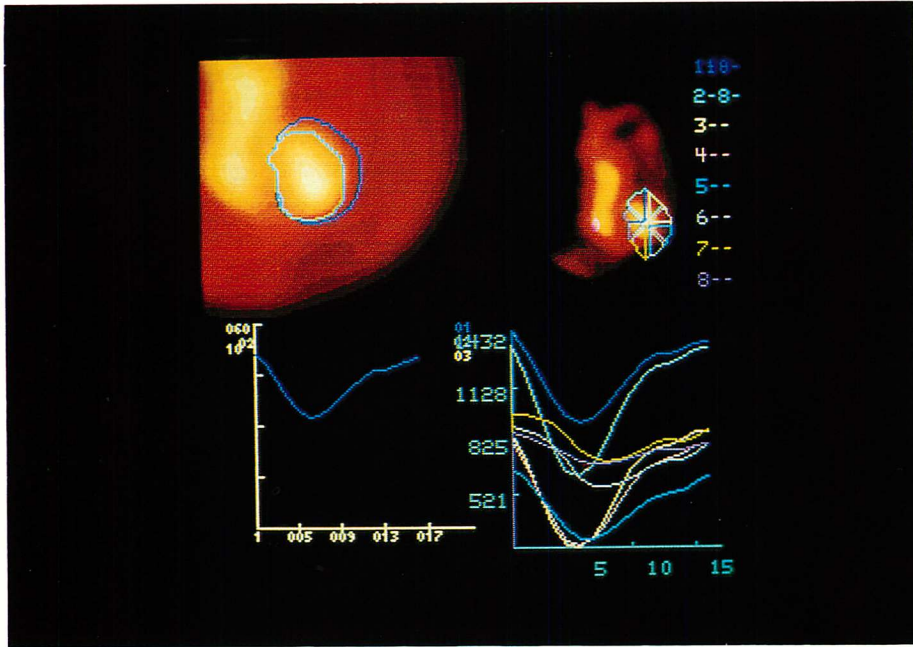


Fig. 6. Edge display, global and regional time activity curves of left ventricle in Case 5.

Edge display shows akinesis of septoapical region (upper left). Global left ventricular ejection fraction is decreased (lower left, 36%). Regional time-activity curves of the septoapical segment show decrement of amplitude and delay of contraction (lower right).

ク色で表示された。Isocounter による壁運動表示では、心室瘤の部分は拡張期に比し収縮期に突出を認め、典型的な dyskinesis を認めた。また phase のヒストグラムでは phase の分散は一層著明であった。

Fig. 9 は症例 18 の前壁中隔梗塞例である。Amplitude image では、中隔から心尖部の amplitude の低下を認めたが、phase image では phase の shift はなく、したがって中隔から心尖部の hypokinesis が示唆された。また、isocounter による壁運動表示では、心尖部の akinesis を認めた。しかし phase のヒストグラムでは 2 峰性のピークを認め、phase の分布が少し幅広いことが示唆された。

Table 1 は 19 例の Tl-201 心筋シンチグラムの左前斜位での欠損部位と amplitude image,

phase image を比較しまとめたものである。

心筋シンチグラムの欠損部位と amplitude の低下部は全例でよく一致したが、amplitude の低下部のほうが広い傾向にあり、左室機能が低下するとともに、amplitude の大なる部が右室に分散する程度が大となった。一方、phase の shift 部と欠損部位は 19 例中 17 例で一致し、高位側壁梗塞、下壁梗塞合併例ではよりその面積は大となる傾向にあった。

考 察

Fourier 解析とはどのような周期関数も異なった周波数の sine curve と cosine curve の総和と Γ で表現することができ、個々の周波数は特定の amplitude と phase により規定されるという数学的技法である²⁾。この技法を心室収縮の周期

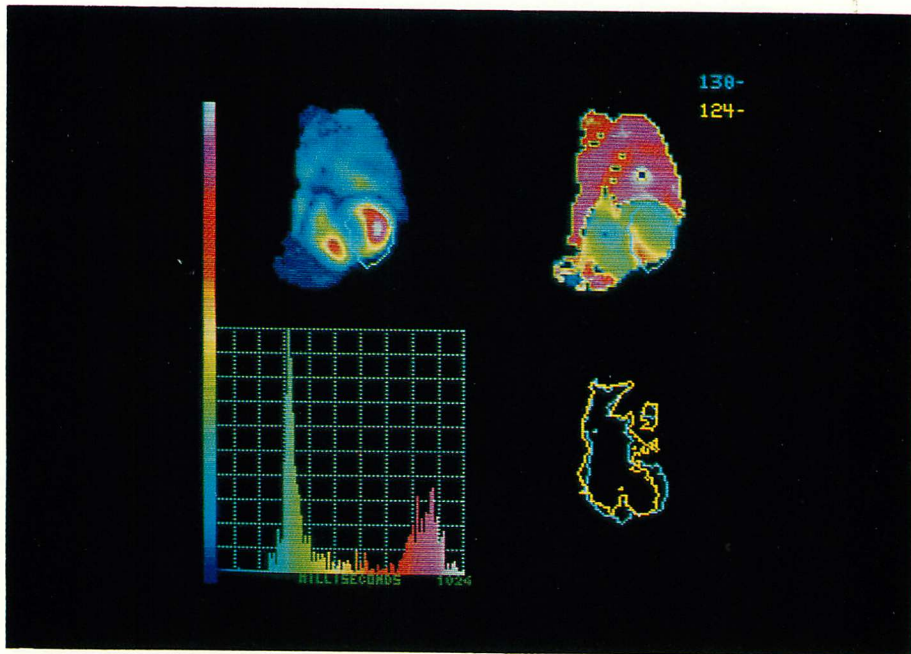


Fig. 7. The amplitude image, phase image, phase histogram and edge display in Case 5.

The amplitude image (upper left) demonstrates small amplitude of the left ventricular septoapical region and the phase image (upper right) shows phase shift of the same region. The phase distribution shows the dyskinetic region (brown) with delay of 90° (lower left).

Edge display shows akinesis of septoapical segment (lower right).

現象の解析に利用したのが Adam ら¹⁾であるが、その臨床応用としては伝導障害例やペースメーカー一例の心室収縮動態の解析に利用されている^{3,4)}。

従来より局所壁運動を判定する方法としては収集されたイメージを moving image system (MIS) を用いてシネディスプレイする方法⁵⁾と、isocounter を用いて拡張末期と収縮末期の辺縁像を重ねあわせて判定する方法がある。しかし、前者においては MIS を必要とし、また判定が主観的になりがちであり、後者では中隔、特に中隔上部については表示困難な場合が多く、この部の壁運動状態を明らかにしようとして isocounter のレベルを高くすると、真の心内腔より狭い架空の内腔の壁運動をみることになる。その点、amplitude image と phase image は各 pixel ごとの TAC

より得た像であるので、検者の主観がはいる余地はなく、客観的に上部中隔の壁運動を表示し得る方法と思われた。

また、amplitude image と phase image による局所壁運動評価法は、異常壁運動部位が検出器に平行に位置する場合にも、その部を広がりとしてとらえることができる点で優れた方法と思われた。

しかし、左前斜位で前壁に梗塞がある場合でも、左室に広範な amplitude の低下を認めるものは 19 例中 4 例のみで、これらはすべて高位側壁梗塞や下壁梗塞を合併していた例である。

これは、pixel を奥行きのある 1 つの column としてみているため、たとえ前壁の動きが異常となっても相対する後壁、下壁が代償的に hyper-

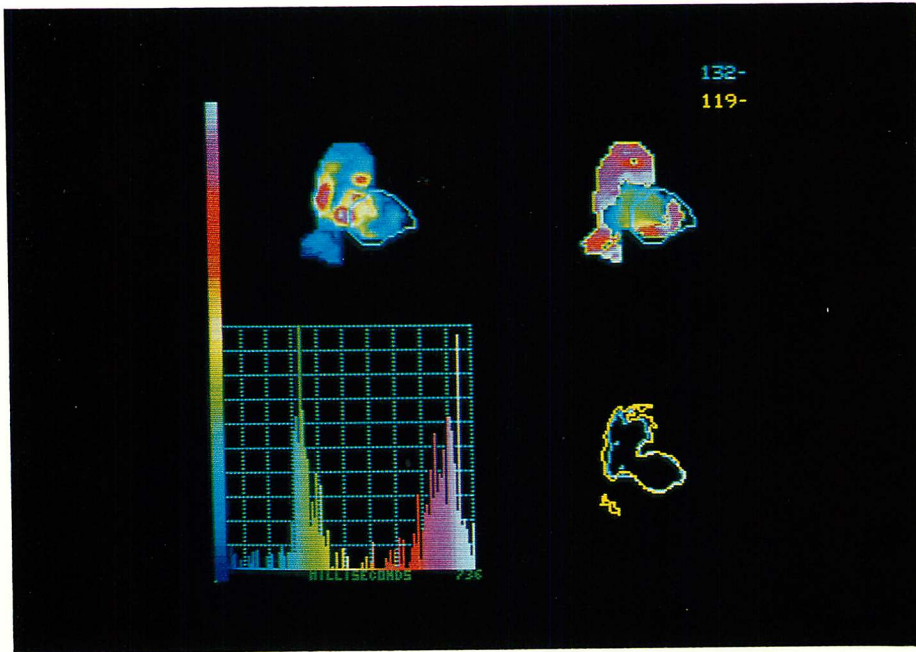


Fig. 8. The amplitude image, phase image, phase histogram and edge display in Case 13.

The amplitude image (upper left) shows markedly decreased amplitude of the left ventricular area. The region of maximal amplitude shifts to the right ventricle and atria. The phase image demonstrates remarkable phase shift (about 180° delay) in lateral segment and moderate phase shift (about 100° delay) in apical segment. Phase histogram (lower left) shows broad distribution of phase in the left ventricular area (from 100° to 290°). Edge display shows systolic bulge of the lateral wall and akinesis of the apical segment. This patient is a case of extensive anterior and high lateral infarction with a giant left ventricular aneurysm.

kinesis となると、TAC における前壁の異常壁運動の影響が相殺されるため、amplitude image や phase image でとらえきれなかったものと考えられた。これらを明瞭にとらえるには、やはり前後壁が重ならずに分離できる左側面でのデータ収集が必要であり、また心尖部と下壁を分離するには右前斜位でのデータ収集が必要と思われた。

さらに、症例 18 の phase image では両室に局所的な phase の shift は認められなかったが、ヒストグラムによる phase の分散をみた場合には、2峰性の phase のピークが認められ、より詳細な phase の shift の検出にはこのようなヒストグラムによる表示も必要と思われた。

最後に、本法は従来の方法では hypokinesis としか判定できなかった部位を、amplitude の低下のみで phase の shift のない hypokinesis と、amplitude の低下に phase の shift を伴う dyskinesis に区別し得た。しかし、ここでいう dyskinesis とは、X 線心血管造影でいう収縮末期に拡張末期より内腔が外側に突出するものだけではなく、単に収縮の開始時期が遅れる（すなわち phase の shift）ものまで含み、より詳細な壁運動表示が可能となった優れた検査法と思われた。

要 約

前壁中隔梗塞に RI アンジオカルジオグラフィ

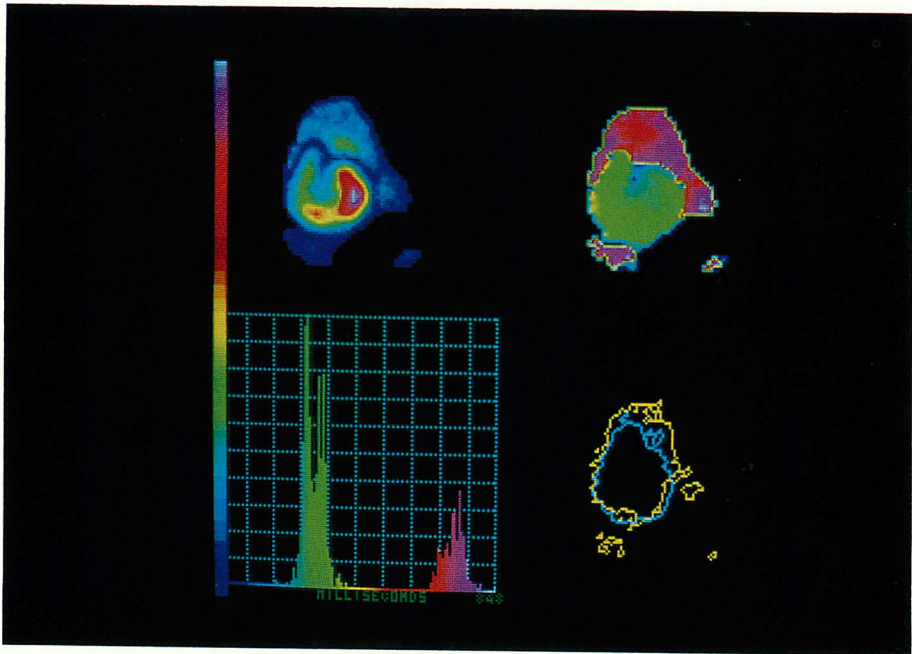


Fig. 9. The amplitude image, phase image, phase histogram and edge display in Case 18. The amplitude image demonstrates hypokinesis of septal region (upper left) and the phase image shows no phase delay in the left ventricular area (upper right). But the phase histogram shows a double-peaked distribution around 100° in the left ventricle (lower left). Edge display shows akinesis of the apical segment (lower right).

一 (RIACG) を施行し, 平衡時マルチゲート法により収集したデータを Goris のプログラムを用いて Fourier 解析し, amplitude image と phase image を得た. これらの image を用いることにより,

1) Isocounter による局所壁運動の表示法に比し, 異常部位が検出器に平行であってもその部を広がりとしてとらえ得た.

2) 中隔梗塞の場合, 従来明らかにできなかった中隔上部を含め, 中隔全体の運動を表現し得た.

3) 従来 hypokinesis としか判定できなかった部位を, 単に amplitude の低下のみの hypokinesis と amplitude の低下に phase の shift を伴う dyskinesis に区別し得た.

4) 同時に施行した $^{201}\text{-thallium}$ 心筋シンチ

グラムによる欠損部位と, これらの image による異常部位とは良く一致した.

文献

- 1) Adam WE, Tarkowska A, Bitter F, Stauch M, Geffers H: Equilibrium (gated) radionuclide ventriculography. *Cardiovasc Radiol* 2: 161-173, 1979
- 2) Champeney DC: Fourier transforms and their physical application. Academic Press, New York, 1973, pp 8-21
- 3) Links JM, Douglass KH, Wagner HN: Patterns of ventricular emptying by Fourier analysis of gated blood-pool studies. *J Nucl Med* 21: 978-982, 1980
- 4) Ikuno Y, Tanaka C, Takeuchi K, Oku H, Yoshimura T, Kotsumi K, Minamikawa H, Inoue E, Komatsu H, Shiota K, Ochi H, Onoyama Y, Omura M, Hamada K, Hara M: The usefulness

Table 1. Comparison of thallium-201 myocardial scintigram, amplitude image and phase image

No	Age	Sex	²⁰¹ Tl SCINTIGRAM	AMPLITUDE IMAGE	PHASE IMAGE	No	Age	Sex	²⁰¹ Tl SCINTIGRAM	AMPLITUDE IMAGE	PHASE IMAGE
1	71	M				11	40	M			
2	51	F				12	54	M			
3	69	M				13*	75	F			
4	63	M				14*	60	F			
5	60	M				15*	46	M			
6	58	M				16**	74	M			
7	50	M				17**	73	M			
8	63	M				18	26	M			
9	69	M				19	57	M			
10	60	M									

The white part in myocardial image shows a region of decreased radioisotope concentration. The shaded area in amplitude image indicates the region with large amplitude and in phase image shows the part with phase shift.

*: complicated with high lateral infarction; **: complicated with inferior infarction.

of amplitude image and phase image by Fourier analysis. Jpn J Nucl Med 18: 724, 1981

5) Toyama H, Iio M: Moving image system. Jpn J Clin Med 37: 93, 1979 (in Japanese)