

コンピューター画像解析による左室局所壁運動の検討：川崎病における冠動脈病変の有無による比較

Analysis of left ventricular wall motion by computer image processing in patients with or without coronary artery involvement in Kawasaki disease

加藤 薫  
長谷川典子  
佐藤 雅康  
小林 宗光  
大島 正浩

Kaoru KATO  
Noriko HASEGAWA  
Masayasu SATO  
Munemitsu KOBAYASHI  
Masahiro OHSHIMA

**Summary**

Predicting myocardial infarction (MI) due to Kawasaki disease is quite difficult because it occurs exclusively in young infants without recognizable symptoms. This study was conducted to identify some clinical loading tests capable of evaluating cardiac reserve and predicting future occurrences of MI in children with Kawasaki disease. Two-dimensional left ventricular short-axis echocardiograms were processed by fast Fourier transformation (FFT) analysis, which yielded phase images and amplitude images, to evaluate objectively regional wall motion.

The phase images obtained from five cases for each of normal coronary arteries, dilated coronary artery lesions, and stenosed arterial lesions had nearly homogenous color levels of the lower scales, while those obtained from the cases with MI showed the areas composed of several different color levels, and the sites of these lesions corresponded to those of SPECT.

The amplitude images obtained from five cases for each of the normal coronary arteries, dilated lesions, and dilated with stenosed lesions showed successive transformation of the color from inside to outside throughout the entire circumference. The cases with MI showed a decrease in the color change at the sites of lesion outlined by SPECT.

Three-dimensional displays of MI also showed a decrease in the contraction ratios at the sites of infarction. It was concluded that analyses of color images processed by FFT in the three-dimensional display is helpful for objectively evaluating abnormal left ventricular wall motion.

**Key words**

Two-dimensional echocardiography      Regional left ventricular wall motion      Computer image processing  
Phase image      Amplitude image

杏林大学医学部 小児科  
三鷹市新川 6-20-2 (〒181)

Department of Pediatrics, Kyorin University School  
of Medicine, Shinkawa 6-20-2, Mitaka 181

Received for publication January 19, 1988; accepted March 17, 1988 (Ref. No. 35-PS37)

はじめに

川崎病は主として4歳以下の乳幼児に好発する原因不明の熱性疾患であり<sup>1)</sup>, 病理学的には全身の血管炎で特徴づけられる<sup>2)</sup>. 本症では高頻度に冠動脈瘤を合併し, その予後を左右する合併症として重要である. 冠動脈瘤の存在に対しては, 抗血小板療法により心筋梗塞の発生を予防する内科的治療により経過観察を行っているのが現状である. 川崎病冠動脈病変のための心筋梗塞の発生は, そのほとんどが乳幼児であること, 自覚症状

が欠如することなどから, その発生を予測することは非常に重要である. このような現状を考え, 心電図, 心エコー, single photon emission computed tomography (以下 SPECT) やこれらの検査に負荷を併用してその発見に努めている.

本報告は, 川崎病既往児で, 心エコー図にて得られた左室短軸像をコンピューターを用いて高速フーリエ変換 (以下 FFT) し, 左室局所壁運動の異常を検出しようとするものである. 負荷を併用する事により, 冠動脈瘤の後遺症を持つ患者より, 予備力の低下しているものを抽出する前段階

Table 1. Patients' profiles including coronary angiographic findings

Group	Case	Age	Sex	CAG findings	
Normal CAG	1 TN	2 y 8 m	M	Normal	
	2 SK	3 y 9 m	M	Normal	
	3 DW	1 y 11 m	M	Normal	
	4 KM	6 y 4 m	F	Normal	
	5 YS	3 y 6 m	M	Normal	
m=3 y 8 m (±2 y 6 m)					
Abnormal CAG	6 MU	1 y 8 m	F	Seg. 5. ANs	
	Aneurysm (+)	7 EY	4 y 5 m	F	Seg. 1. ANs, Seg. 6. ANs
	Stenosis (-)	8 RK	2 y	M	Seg. 5. ANs
		9 TO	9 y	M	Seg. 6. ANI
		10 HY	13 y	M	Seg. 6. ANI
m=6 y (±7 y)					
Abnormal CAG	11 WT	7 y 1 m	M	Seg. 1. ANm+SS, Seg. 6. ANI, Seg. 7. ANI	
	Aneurysm (+)	12 SK	3 y	F	Seg. 1. ANI+SS, Seg. 2. ANI+LS, Seg. 6, 7. ANI+LS+LS
	Stenosis (+)	13 RK	8 y 6 m	M	Seg. 1. ANI+OC+CL, Seg. 6, 7. ANI
		14 KS	6 y 6 m	M	Seg. 1, 2. ANI+SS, Seg. 6. ANI
		15 YI	8 y 4 m	M	Seg. 6. ANm+LS
m=6 y 8 m (±3 y 8 m)					
Myocardial infarction (+)	1 FH	4 y 2 m	M	Seg. 1. ANI+OC, Seg. 6. ANm	
	2 RM	19 y 10 m	M	Seg. 1, 2, 3. ANI+LS, Seg. 5, 6, 7. ANI +SS	
m=7 y 6 m (±3 y 4 m)					
Total		m=5 y 8 m (±7 y 4 m)			

CAG=coronary angiography; ANs=small aneurysm; ANm=moderate aneurysm; ANI=large aneurysm; SS=segmental stenosis; LS=local stenosis; OC=occlusion.

として、冠動脈正常例と異常例を対象として本方法を検討してみた。

## 対 象

対象は川崎病既往児で、選択的冠動脈造影を施行した17例である。正常冠動脈5例、異常冠動脈10例、(冠動脈瘤のみ5例、冠動脈瘤+狭窄5例)、心筋梗塞例2例を含む。年齢は1歳8ヵ月から13歳、平均5歳8ヵ月で、男児13例、女児4例である (Table 1)。

## 方 法

超音波画像診断装置 (HP 製 77020AC) にて、胸骨左縁より乳頭筋レベルでの左室短軸像をビデオ収録した。収録した画像をビデオ信号 (NTSC) を用いてコントロール製画像解析装置マイプロンシステムに入力、システム内にてアナログ信号からデジタル信号への変換をし、以降はデジタル処理を施した。入力した画像 (256×256 画素) を表示し、心電図 R 波から R 波までの一心周期を選択し、次にそれぞれの画像を表示しながら、心内膜面を手動的にトレースした。一心周期を 33 msec ごとのフレームに分割した。したがって心拍数 60/min の症例は 30 フレームに、120/min の症例は 15 フレームに分割される。編集機能を用い、トレース面のみを切り抜いて重ね合わせ、これらの面に対して垂直方向に 1 ピクセルごとの FFT 処理を実行した。この処理により、変化量を周期関数化して認識することが可能である。この結果を、phase および amplitude イメージとして画像化した (Figs. 1, 2)。また同時に X 軸 Z 軸を部位、時間、Y 軸を収縮率とした三次元表示でも検討した。三次元表示での収縮率は断面積変化率を採用した。心筋梗塞例では、心エコー図と同一時期に実施した SPECT 像と病変部位の比較を行った。

カラー表示、三次元表示ともに、解析時の面積重心は fixed axis method を用いた。

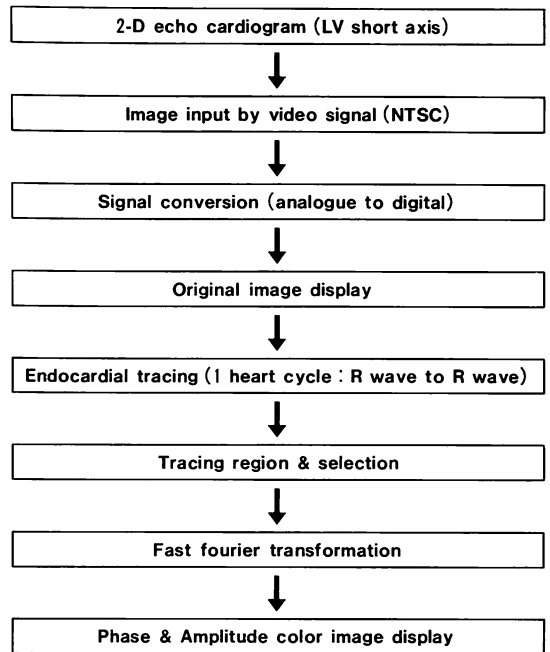


Fig. 1. Flow chart of computer image processing system (MIPRON).

2-D=two dimensional; LV=left ventricle; NTSC=national television system committee.

## 結 果

### 1. 正常冠動脈例におけるカラー表示

Phase イメージを Fig. 3 に示す。ほぼ均一にカラースケール下段部の 2 から 3 階調の色調を示した。

Amplitude イメージを Fig. 4 に示す。ほぼ全周性に、内側から外側にカラースケールのすべての色調変化を順次認める。

### 2. 冠動脈異常例におけるカラー表示

冠動脈瘤のみの群および狭窄合併例ともに、正常冠動脈例とほぼ同様の色調変化を認めた (Fig. 5)。

### 3. 心筋梗塞症例におけるカラー表示

2 例とも右冠動脈瘤閉塞により後下壁梗塞を発症した症例である。Phase イメージを Fig. 6 に示す。同時期に施行した SPECT 像 (Fig. 7) と

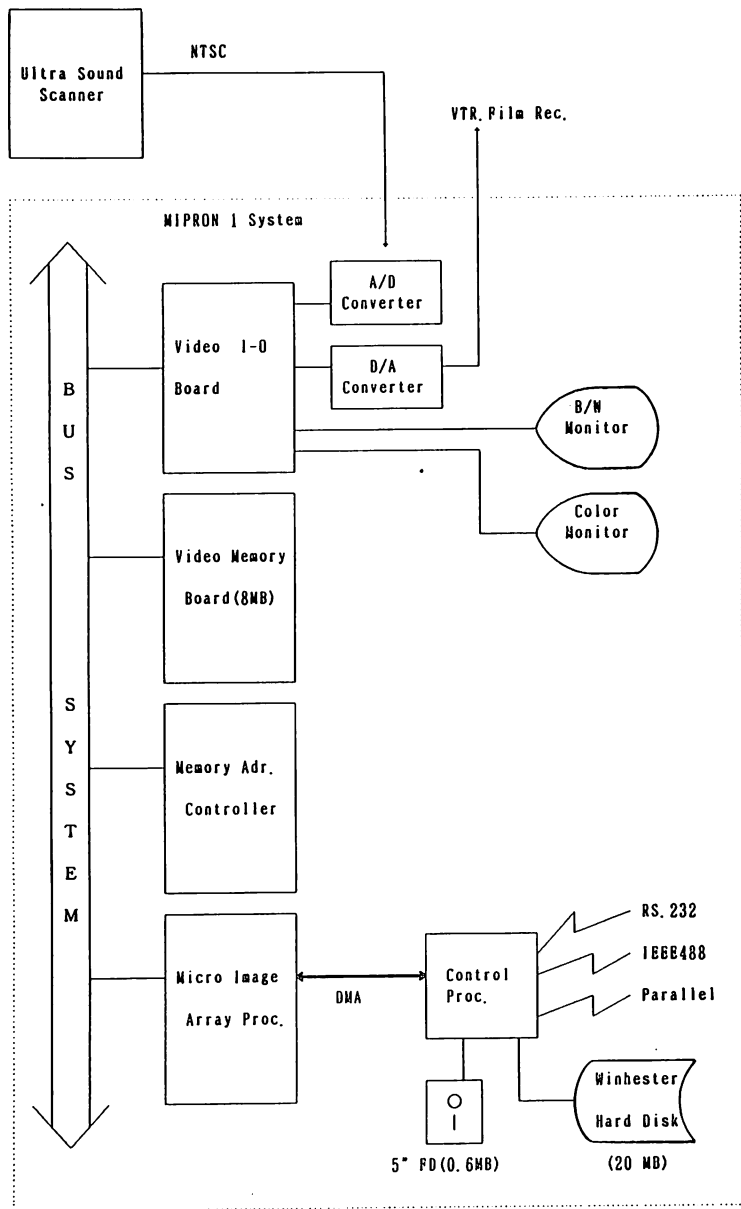


Fig. 2. System configuration.

NTSC=national television system committee; Rec.=recorder; A/D=analog to digital; D/A=digital to analog; I-O=input-output; B/W=black and white; Adr.=address; Proc.=processor; DMA=direct memory access; FD=floppy disc.



Fig. 3. Phase color image of a normal coronary artery.

Phase color image in a normal case shows 2-3 color levels of the lower color scale.



Fig. 4. Amplitude color image of a normal coronary artery.

Amplitude color image in a normal case shows the full color scale change.

同一部位の数階調のカラー表示の変化を認めた。Amplitude イメージを Fig. 8 に示す。同一部位の色調変化の減少を認めた。

#### 4. 三次元表示

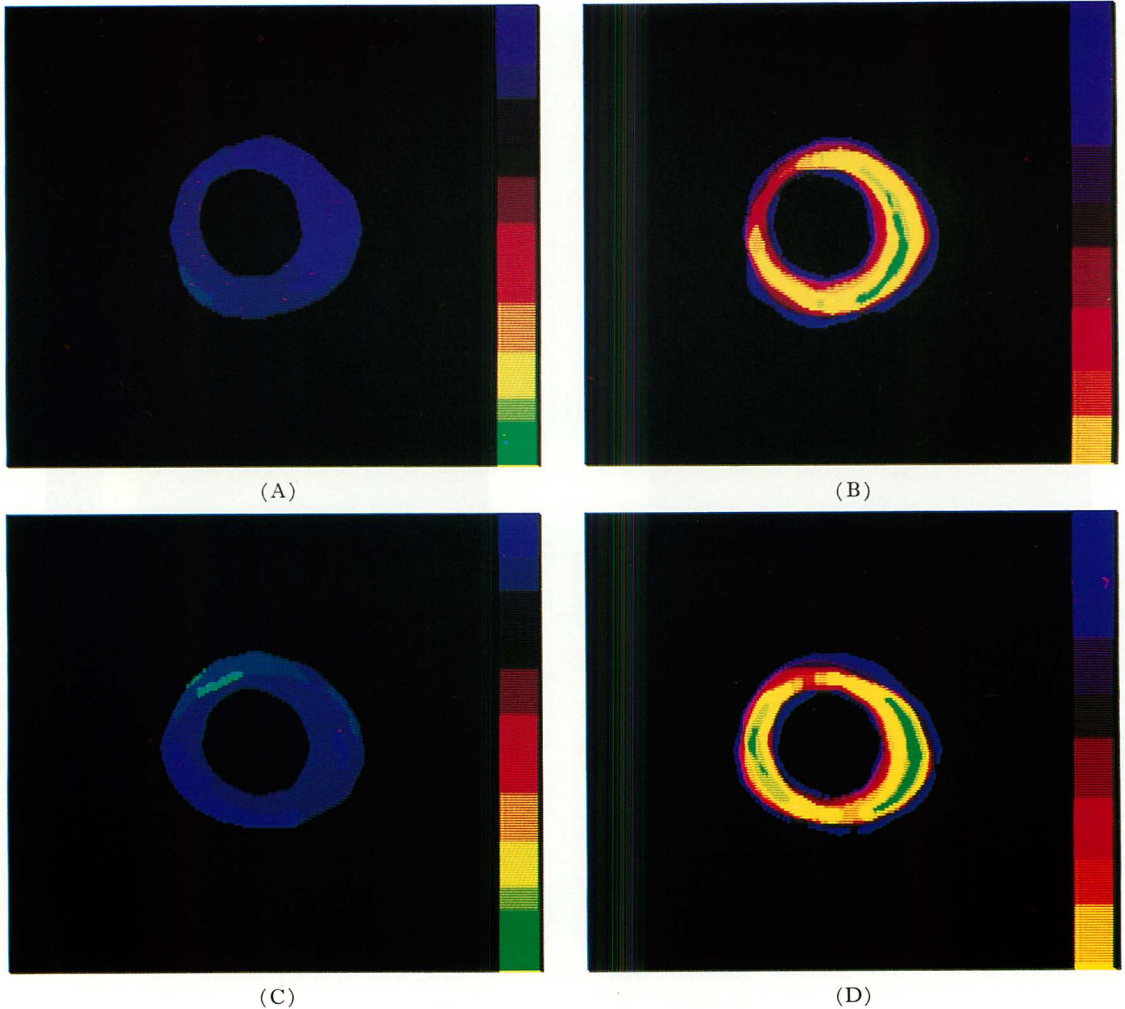
Fig. 9 に正常冠動脈例、冠動脈異常例(瘤+狭窄)、心筋梗塞例を示す。正常例、冠動脈異常例とも時間経過とともに全体的な収縮率の変化を認めるが、最大収縮時のずれは認めない。この全体的な収縮率の変化は、心臓全体の動き(他動的運動)と考えられた。しかし、心筋梗塞例では明らかに梗塞部位の収縮率の低下を認めた。

#### 考 按

現在、川崎病既往児において、冠動脈病変はその予後を左右するものとして非常に重要と考えられている。冠動脈病変を有する児に対して、心筋虚血の有無を評価するために種々の検査が施行されている。しかし、その結果は必ずしも満足できるものといえない。現時点で最も有力視されてい

るものは、SPECT による負荷心筋シンチグラフィとされている<sup>3)</sup>。心筋シンチにおいては完成した心筋梗塞の病変部は明らかな欠損像として捉えられ、負荷心筋シンチでは心筋虚血は再分布像として得られる。これと同様に左室造影、心エコー図法では局所壁運動異常として捉えられる。左室局所壁運動異常を評価する方法として左室造影、心エコー図法により画像を得、これをコンピューター処理する方法が多く報告されている<sup>4-17)</sup>。左室造影から壁運動を評価する方法と心臓超音波による方法については、相関するとの報告がある<sup>4)</sup>。

現在までに心エコー図より得られた画像をFFT処理し、phase および amplitude イメージとして検討した報告はいくつかあるが<sup>15-17)</sup>、川崎病既往児を対象とした報告はない。今回我々は、川崎病冠動脈病変による左室局所壁運動異常の客観的評価を本方法により検討してみた。



**Fig. 5. Phase and amplitude color images of abnormal coronary arteries.**

A and B: Phase and amplitude color images of a case with a coronary artery aneurysm showing the same color image pattern as a normal case.

C and D: Phase and amplitude color images of a case with a coronary artery aneurysm and stenosis showing the same color image pattern as a normal case.

### 1. 心内膜トレースについて

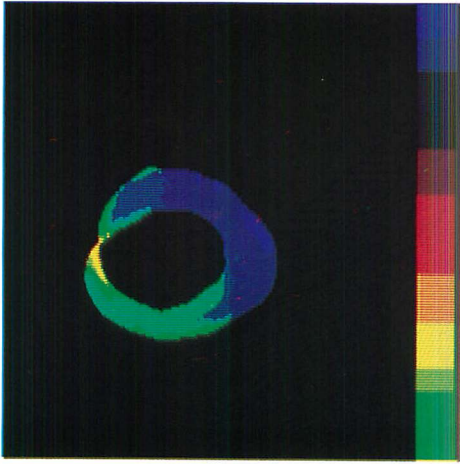
断層心エコー図, とくにその静止画像においては, 乳頭筋, 心内膜面, 心外膜面とくに短軸像側面は, その本質から不連続画像となりやすく, トレース方法やその再現性の問題点については種々の報告がある<sup>5,7)</sup>. 今回我々が用いた方法は用手トレースであるが, 幸い小児においては比較的明瞭

な画像が得られ, また超音波画像装置の改良のために, 視覚的に十分再現性のある画像および心内膜面のトレースができたと考えられた. その他解析装置に内蔵された画像再現機能の利用により, より確実なトレースが可能となった.

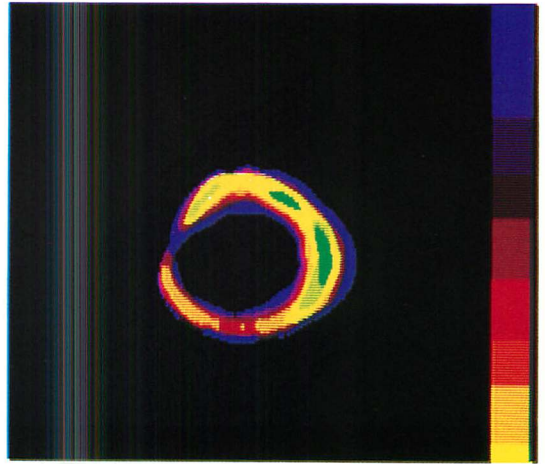
### 2. 面積重心について

心臓は呼吸やそれ自体の収縮のために, 胸部内

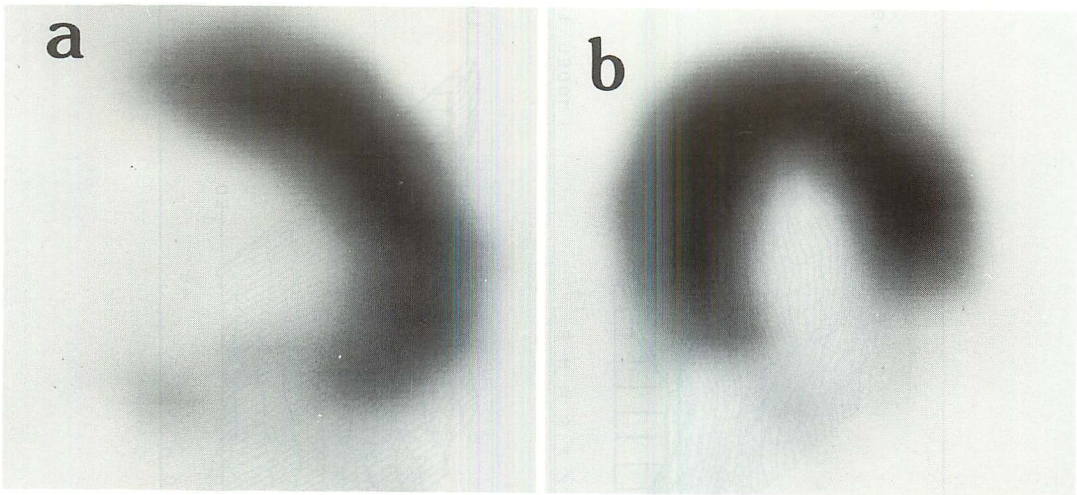




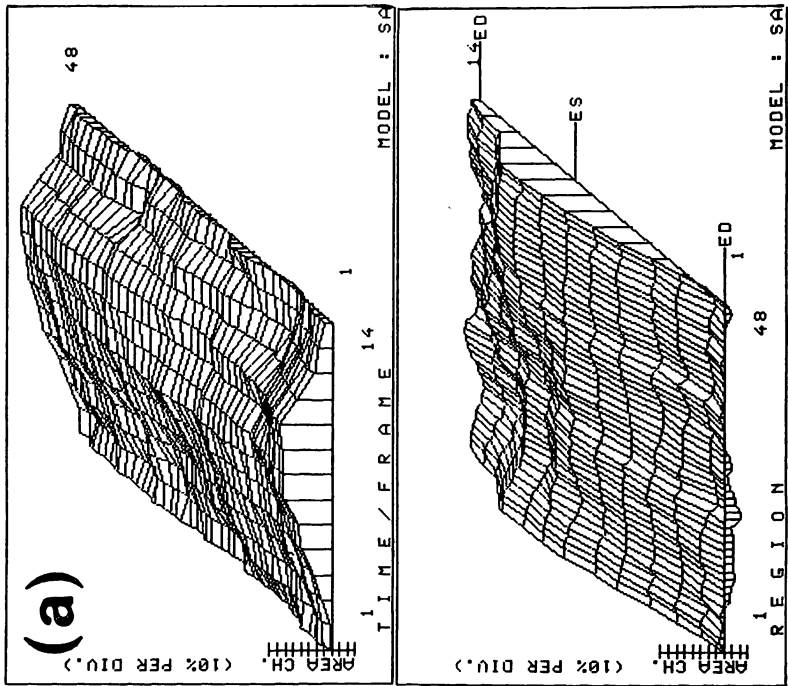
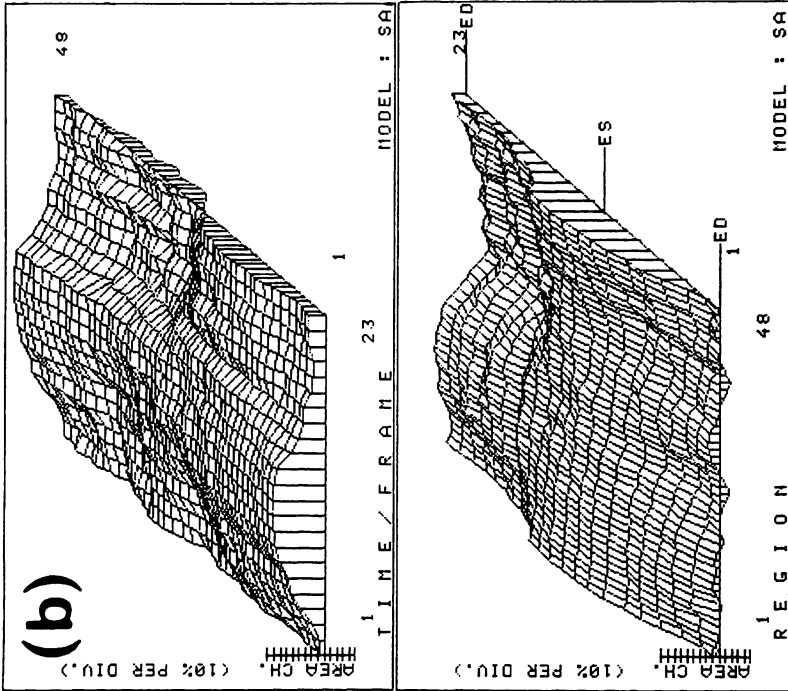
**Fig. 6.** Phase color image of a case with MI.  
Different color is noted in the postero-inferior region.



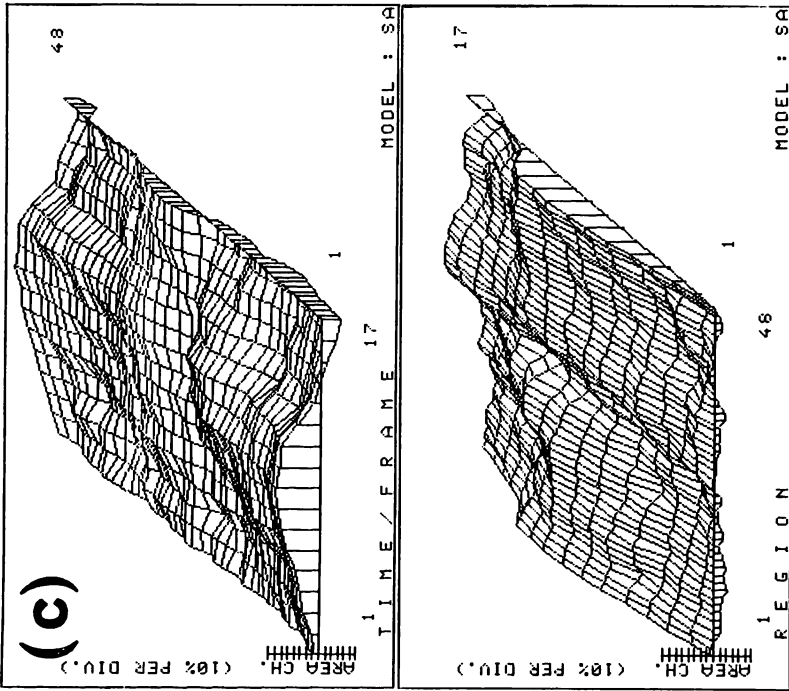
**Fig. 8.** Amplitude color image of a case with MI.  
Different color is noted in the postero-inferior region.



**Fig. 7.** SPECT images of a case with MI.  
(a) sagittal, (b) transverse.  
Defect is noted in the postero-inferior region.







**Fig. 9. Three dimensional graphics.**

- (a) A case with normal coronary artery
  - (b) A case with coronary aneurysm and stenosis
  - (c) A case with MI
- (a) and (b) show nearly the same contraction pattern. (c) decreased contraction area is noted.

で前後左右に動きまた回転している。このために現在まで心エコー図法を用いた左室局所壁運動評価の信頼性が問題となってきた。断面積変化率や内径変化率などの位置変化を示す指標は、基準点を必要とするため、その選択方法により値が変化する。基準点の代表的な選択方法として、fixed axis method と floating axis method がある。左室造影法において各フレームの重心を基準点とする frame-by-frame system は壁運動を平均化するものであり、壁運動評価には不適当であると言われている<sup>9,10</sup>。心エコー図法においても、fixed axis method が適当であることは明らかにされている<sup>11,12</sup>。また基準点として収縮中心という考えも示されている<sup>8</sup>。本研究では、基準点すなわち面積重心には fixed axis method を用いた。これは梗塞例で明らかとなったが、floating axis method を用いると、壁運動異常のある例、特に dyskinesis のある例では重心が異常側に移動するために、反対側にもカラーイメージの変化が検出される。また側面でもまったく予測しないカラーイメージが描出される。Fixed axis method でも心臓自体の動き(他動的運動)により、イメージの変化が出現した。この解決策として、マイプロンシステムに内蔵された画像再現機能を利用して、心臓自体の動き(他動的運動)の最小限の1サイクルを用いて画像処理を行なった。これにより十分評価できる画像を得ることができた。三次元表示での緩やかな収縮率の変化は、この他動的運動のためと考えられる。同様に phase イメージ, amplitude イメージにおける正常例での誤差(2から3階調の色調変化)も、他動的運動と考えられた。今後心臓全体の動き(他動的運動)に対し面積重心のとり方について改善の余地もあるが、本報告における方式は簡易的な方法として十分評価できると考えられた。

### 3. Phase イメージ, amplitude イメージについて

心エコー図により得られた左室短軸像を画像解析し、phase イメージ, amplitude イメージとして報告したものはいくつかある<sup>15~17</sup>。しかし、川

崎病による冠動脈病変を対象とした報告はない。核医学の分野において、心拍同期心プール法より得られた time-activity curve に Fourier 解析を行い、位相解析法により phase および amplitude イメージとして壁運動評価を試みた報告がある<sup>18</sup>。今回我々は心エコー図法より得られた左室短軸像をコンピューター処理後 FFT 処理し、phase および amplitude イメージとして壁運動評価を行った。Phase イメージは正常壁運動部分と異常壁運動部分における最大収縮時までの時間の差をカラー表示したもので、色分けは、カラースケールの最下位を 0° とし、最上位を 360° とする円の関数により表現している。Amplitude イメージは単位時間当たりの収縮または拡張の速度を表示するもので、カラースケールの最下位を 100% とする相対評価となっている。つまり、速度の最大のものを 100% と考え、それに対する比によりカラー表示を行なっている。

実際の解析画像の評価は、phase イメージではほぼ均一な色調を示す例を正常心筋運動例とし、部分的に明かな色調変化を認める例を異常心筋運動例とした。amplitude イメージではカラースケールとほぼ同一の色彩変化が輪状に認められる例を正常心筋運動例とし、明らかな色彩の減少が認められる例を異常心筋壁運動例とした。

### 4. 三次元表示について

三次元表示は X 軸 Z 軸に部位、時間および Y 軸に断面積変化率をとり、fixed axis method を用いて表示した。心筋梗塞例において明らかな断面積変化率の低下を表示した。心臓全体の動き(他動的運動)が客観的に把握でき、phase および amplitude イメージとともに客観的評価に有用と考えられた。

## 要 約

川崎病冠動脈病変のための心筋梗塞の発生は、そのほとんどが乳幼児であること、自覚症状が欠如することなどからその発生を予測することは非常に重要である。今後冠動脈瘤の後遺症を持つ患

児に対し負荷を併用することにより、予備力の低下しているものを抽出する事を次の目的としている。そのために冠動脈正常例と異常例を対象として本方法を検討してみた。心エコー図法より得られた左室短軸像を FFT 処理し、amplitude イメージ、および phase イメージとして、局所壁運動を客観的に評価した。

Phase イメージでは正常冠動脈 5 例、拡張性病変例 5 例、拡張性病変および狭窄例 5 例は、ほぼ均一にカラースケール下段部の二から三階調の色調を示した。心筋梗塞例では、同時期に施行した SPECT 像と同一部位に、数階調のカラー表示の変化を認めた。

Amplitude イメージでは、正常冠動脈 5 例、拡張性病変例 5 例、拡張性病変および狭窄例 5 例は、ほぼ全周性に内側から外側にカラースケールすべての色調変化を順次認めた。心筋梗塞例では、同時期に施行した SPECT 像と同一部位における色調変化の減少を認めた。

三次元表示では心筋梗塞例で明らかに梗塞部位の収縮率の低下を認めた。以上、FFT 処理したカラーイメージと三次元表示を総合的に評価することにより客観的に左室局所壁運動異常を検出することができると思われた。

#### 文 献

- 1) Kawasaki T, Kosaki F, Okawa S, Shigematsu I, Yanagawa H: A new infantile acute febrile mucocutaneous lymph node syndrome (MLNS) prevailing in Japan. *Pediatrics* **54**: 271-276, 1974
- 2) Kato H, Koike S, Yamamoto M, Ito Y, Yano E: Coronary aneurysms in infants and young children with acute febrile mucocutaneous lymph node syndrome. *J Pediatr* **86**: 892-898, 1975
- 3) 近藤千里, 廣江道昭, 日下部きよ子, 中西敏雄, 高尾篤良, 多田羅勝義, 草川三治: タリウム心筋血流マップを用いた川崎病の評価. *日小誌* **91**: 3572-3574, 1987
- 4) 藤井諄一, 相沢忠範, 久保木正夫, 小野彰一, 渡辺坦, 太田昭夫, 加藤和三: 左室短軸超音波断層像による左室壁の局所収縮能の評価: 左室造影法との比較検討. *日循誌* **44** (Suppl I): 100-111, 1980
- 5) 藤井諄一, 久保木正夫, 相澤忠範, 渡辺 熙, 加藤和三, 尾上守夫, 金子正秀, 久野義徳: 左室短軸超音波断層像のコンピューター画像処理. *J Cardiogr* **11**: 901-909, 1981
- 6) 沢田 準, 藤井諄一, 久保木正夫, 渡辺 熙, 相沢忠範, 太田昭夫, 加藤和三, 尾上守夫, 久野義徳: 左室短軸断層像による心筋梗塞症の asynergy の定量的評価: コンピューター画像処理の応用. *J Cardiogr* **12**: 65-76, 1982
- 7) 澤田 準, 藤井諄一, 高田博之, 岡部昭文, 加藤和三, 尾上守夫, 藤田長子: 曲率による左室局所壁運動の定量評価: 断層心エコー図による解析. *J Cardiogr* **16**: 789-798, 1986
- 8) 木原康樹, 小坂元太, 藤沢明子, 橋本友久, 富岡宣良, 篠山重威, 河合忠一: 断層心エコー図法による左室局所壁運動の定量的解析: 二次元運動ベクトル解析による収縮中心の検討. *J Cardiogr* **15**: 285-295, 1985
- 9) Chaitman BR, Bristow JD, Rahimtoola SH: Left ventricular wall motion assessed by using fixed external reference systems. *Circulation* **48**: 1043-1054, 1973
- 10) Ingels NB, Daughters II GT, Stinson EB, Alderman EL: Evaluation of methods for quantitating left ventricular segmental wall motion in man using myocardial markers as a standard. *Circulation* **61**: 966-972, 1980
- 11) Moynihan PF, Parisi AF, Feldman CL: Quantitative detection of regional left ventricular contraction abnormalities by two-dimensional echocardiography: I. Analysis of methods. *Circulation* **63**: 752-760, 1981
- 12) Parisi AF, Moynihan PF, Folland ED, Feldman CL: Quantitative detection of regional left ventricular contraction abnormalities by two-dimensional echocardiography: II. Accuracy in coronary artery disease. *Circulation* **63**: 761-767, 1981
- 13) Gelberg HJ, Brundage BH, Glants S, Parnley WW: Quantitative left ventricular wall motion analysis: A comparison of area, chord and radial methods. *Circulation* **59**: 991-1000, 1979
- 14) Schnittger I, Fitzgerald PJ, Gordon EP, Alderman EL, Popp RL: Computerized quantitative analysis of left ventricular wall motion by two dimensional echocardiography. *Circulation* **70**: 242-254, 1984
- 15) 馬岡 晋, 長谷川 陽, 武内秀之, 関岡清次, 藤岡博文, 中野 赴: 左室局所壁運動の瞬時位相振幅解析: 各種心疾患における検討. 第 51 回日超医講演論文集 (Suppl II): 209-210, 1987
- 16) 平田俊吉, 清水雅英, 中川宏孝, 神代秀爾, 岡田道雄, 石川恭三: 断層心エコー図による左室壁運動の

加藤, 長谷川, 佐藤, ほか

phase image と amplitude image. 第 51 回日超医  
講演論文集 (Suppl II): 211-212, 1987

- 17) 馬岡 晋, 長谷川 陽, 武内秀之, 関岡清次, 中野  
起, 竹沢秀郎: 局所心筋瞬時振幅カラー表示による  
壁運動解析. 第 49 回日超医講演論文集 (Suppl II):

797-798, 1986

- 18) Adam WE, Tarkowska A, Bitter F, Stauch M,  
Geffers H: Equilibrium (gated) radionuclide ven-  
tricularography. Cardiovasc Radiol 2: 161-173, 1979