

断層心エコー図のエコー強度の定量的評価とカラー表示の試み

Quantitative evaluation and color display of the echo intensity by two-dimensional echocardiography

坂部 慶幸
菱田 仁
河村 邦彦
村島 謙
萩原 和光
酒井 泰彦
宮城 裕
野村 雅則
水野 康

Yoshiyuki SAKABE
Hitoshi HISHIDA
Kunihiko KAWAMURA
Yuzuru MURASHIMA
Kazumitsu HAGIWARA
Yasuhiko SAKAI
Yutaka MIYAGI
Masanori NOMURA
Yasushi MIZUNO

Summary

To assess myocardial tissue changes by two-dimensional echocardiography, quantitative evaluation and color display of the echo intensity were attempted using computerized image processing.

The materials consisted of 11 patients with old anteroseptal myocardial infarction one year or more after the onset (OMI), and 12 normal subjects. Two-dimensional echocardiograms in the parasternal long-axis view were obtained using a commercially-available phased-array sector scanner. Scanner receiver settings including sensitivity-time control were maintained constant in all subjects. Images were recorded on the U-matic tape using a video tape recorder, then stop-frame end-diastolic images were converted to digital images. To measure echo intensity, regions of interest (ROI) were placed in the inter-ventricular septum (IVS), the left ventricular posterior wall (LVPW), the left ventricular cavity, and the pericardium. The mean value of the echo intensities was determined for each ROI. Then, the relative echo intensity of the IVS or LVPW was calculated using the mean value of the pericardium as the maximum echo intensity, and the mean value of the left ventricular cavity as the minimum echo intensity.

In normal subjects, the relative echo intensity of the IVS was 0.40 ± 0.05 (mean \pm SE) and that of the LVPW was 0.31 ± 0.02 . By contrast, in patients with OMI, there was a significant increase ($p < 0.001$) in the relative echo intensity of the IVS (0.71 ± 0.06). The relative echo intensity of the LVPW was less than normal, but the difference was not statistically significant.

Color display facilitated visual recognition of the numerical differences in echo intensities.

藤田学園保健衛生大学医学部 内科
豊明市沓掛町田楽ヶ窪 1-98 (〒470-11)

Department of Internal Medicine, Fujita-Gakuen
Health University School of Medicine, Dengakuga-
kubo 1-98, Kutsukake, Toyoake 470-11

Received for publication April 10, 1985; June 9, 1985 (Ref. No. 27-4)

The present study suggests that the quantitative analysis of myocardial echo intensities by computerized image processing could become a useful tool for evaluating tissue changes.

Key words

Echo intensity Two-dimensional echocardiograms Color display Interventricular septum
Myocardial infarction

序 言

生体の組織性状を非侵襲的に評価することが可能ならば、その臨床的意義は極めて大きい。循環器領域においても、心筋組織性状の超音波エコーによる非観血的評価の可能性が示唆され¹⁻⁵⁾、関心が増しつつある。

心エコー図法における受信信号は、エコー発生部位の反射のみならず、散乱や、往復の伝搬路における減衰、屈折等の影響を受けるため、その解析には十分な注意が必要である。しかしながら、市販の超音波断層装置を用いて記録した断層心エコー図においても、ある種の心疾患症例では、心筋エコー強度が増大している。この断層心エコー図の輝度の変化は、エコー強度を物理的尺度をもとに定量的に表現しているものではないが、疾患部の性質を反映しているようにみえる。したがって、それを疾患と対比して意味づけすることは、心エコー図からより多くの情報をとり出す上で有用であり、また必要であろう。その際、輝度をより客観的、且つ定量的に評価することが望ましいのは言うまでもない。

田中ら³⁾は、以前より、感度断層法を用いた検討を行なっている。すなわち、断層心エコー図のエコー強度の測定を、受信増幅器の感度を 3~5 dB の間で変化させることにより行ない、一定の成果を挙げている。

我々は、エコー強度を定量化する為に、コンピューターによる画像処理の方法を用いた。すなわち、市販の超音波心臓断層装置を用いて、得られた断層心エコー図の画像の輝度を A/D 変換して定量化し、カラー表示をも併用して検討した。

対象と方法

対象は健常成人 12 例(平均 22.4 ± 1.2 歳, mean \pm SE) と、発症後 1 年以上経過した陳旧性前壁中隔心筋梗塞 11 例(63.5 ± 3.5 歳)である。また、前壁中隔心筋梗塞の発症当日、第 3、第 7 病日、2 ヶ月後と、経時的に記録し得た 1 例についても検討した。

断層心エコー図の記録には、市販の日立 EUB 10-A 電子走査型超音波心臓断層装置を用いた。探触子の周波数は 2.3 MHz、繰り返し周波数は 4.6 KHz、分解能は横方向 8 mm (6 dB down)、縦方向 2 mm (10 dB down)、受信回路には対数増幅器を用いた。本装置の FTC は off、dynamic range は最大の 40 dB に固定した。Gain control (いわゆる STC に相当)は、まず健常者 5 名につき、明瞭な画像を得られるように自由に調節して、それらの目盛を記録し、その平均値に設定した。このように全症例とも装置の調節ダイヤル類の設定は一定として記録し、モニター画像をテレビカメラを通して Victor 製 CR-8300 ビデオテープレコーダーに記録した。モニターテレビの輝度、コントラスト及びカメラの絞りも一定とした。VTR を再生し、同時に記録されている第 II 誘導心電図の R 波の頂点の時点の傍胸骨左室長軸像の静止画像を得た。

この画像の A/D 変換には日本アビオニクス製 TVIP-2000 を用い、MEL-COM 70/40 計算機システムを介して、画像を計算機用磁気テープ (MT) に記録した。エコー信号そのものの雑音成分、VTR システムを介してデータ入力することによるビデオ系の雑音の重畳など、エコー信号およびビデオ系の雑音を軽減する目的で、M380 大型

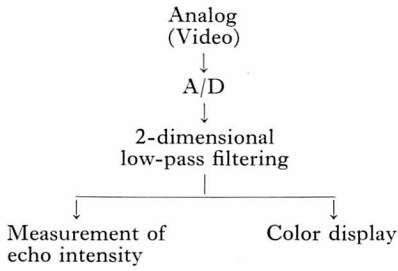


Fig. 1. Method of image processing and analysis for the measurement of echo intensity.

計算機を用いて、two-dimensional low-pass filtering を行なった。この MT を日立 CT 用画像処理及び表示装置上に画像表示した。傍胸骨左室長軸像について、各心臓構造物の代表として、心室中隔 (IVS)、左室後壁 (LVPW)、心膜及び左室腔内に関心領域 (ROI) を設定した。ROI の設定には、扇形画面の辺縁は避け、心筋については心内膜と血液の境界の強いエコー (specular reflection)

を避けた。この ROI 内のエコー強度の平均値を測定した (Figs. 1 & 2)。次いで、左室腔内のエコー強度を 0 レベルとみなして、目的心臓構造物の平均エコー強度補正值を次式により求めた。

$$\begin{aligned} & \text{目的心臓構造物の平均エコー強度補正值} \\ &= \text{目的心臓構造物の平均エコー強度} \\ & \quad - \text{左室腔の平均エコー強度} \end{aligned}$$

次に、心膜の平均エコー強度補正值を心臓構造物中の最大値とみなし、各補正值の心膜の補正值に対する比を次式で算出し、相対エコー強度とした。

$$\begin{aligned} & \text{相対エコー強度} \\ &= \frac{\text{目的心臓構造物の平均エコー強度補正值}}{\text{心膜の平均エコー強度補正值}} \end{aligned}$$

以上の、相対エコー強度の数値的差異を視覚的に識別するために、カラー表示を試みた。カラーコードは 16 段階とし、エコー強度の最大を白、エコー強度の最小を黒とし、この中間を赤から青ま

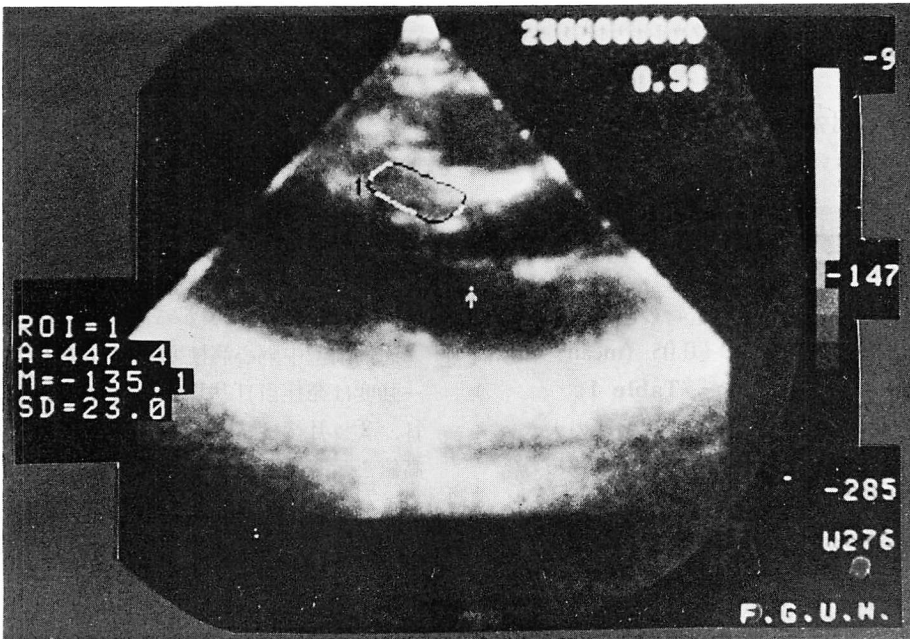


Fig. 2. Processed digital two-dimensional echocardiographic image of a normal subject with the region of interest placed in the interventricular septum.

Table 1. The values of echo intensity of the interventricular septum, left ventricular posterior wall and pericardium in normal subjects

Case	IVS	LVPW	Peri
1	106 (0.26)	118 (0.29)	405
2	138 (0.31)	114 (0.25)	451
3	131 (0.53)	70 (0.28)	247
4	215 (0.57)	131 (0.35)	377
5	125 (0.29)	123 (0.28)	438
6	95 (0.47)	86 (0.43)	202
7	162 (0.30)	146 (0.27)	537
8	186 (0.47)	92 (0.23)	392
9	199 (0.40)	164 (0.33)	498
10	104 (0.20)	107 (0.20)	528
11	90 (0.25)	117 (0.32)	363
12	166 (0.73)	86 (0.38)	227
Mean	143 (0.40)	112 (0.30)	389
SE	12 (0.05)	8 (0.02)	33

The numbers in parenthesis indicate the values of relative echo intensity. IVS=interventricular septum; LVPW=left ventricular posterior wall; Peri=pericardium.

で色を分配した。一画像ごとに、心膜を最もエコー強度の大きい部分として白に、左室腔内を最もエコー強度の小さい部分として黒にしてカラー表示した。

結 果

健常成人における各心臓構造物の相対エコー強度は、それぞれ IVS: 0.40 ± 0.05 (mean \pm SE), LVPW: 0.30 ± 0.02 であった (Table 1).

これをカラー表示すると、エコー強度の大きい白色の部分は、IVS においてわずかに認めるものの、目立ったものではなかった。これに対し、発症後 1 年以上経過した陳旧性前壁中隔心筋梗塞では、各心臓構造物の相対エコー強度は、IVS: 0.71 ± 0.06 , LVPW: 0.25 ± 0.02 と、IVS は著明に高値を示し、健常成人の IVS との間に有意差を認めた ($p < 0.001$) (Fig. 3)。また LVPW は

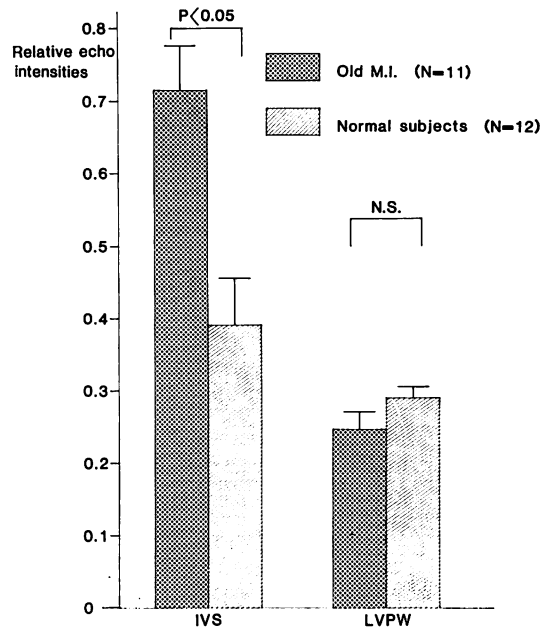


Fig. 3. Relative echo intensities of the interventricular septum and left ventricular posterior wall in patients with old anteroseptal myocardial infarction and normal subjects.

IVS=interventricular septum; LVPW=left ventricular posterior wall; old M.I.=old myocardial infarction.

健常成人に比し低値をとる傾向を認めたが、有意差は認めなかった。

カラー表示を行なうと、IVS には白色の部分が極めて多く、分布状態も散布性ではなく、IVS 全体に massive に広がる印象をうけた (Fig. 4).

急性前壁中隔心筋梗塞では、IVS の相対エコー強度は発症当日 0.12 であったが、第 3, 第 7 病日、2 ヶ月後はそれぞれ、0.40, 0.36, 0.36 とやや高値を示した。

カラー表示でみると、急性期には白色の部分はほとんどなく、2 ヶ月後には白色の部分が点状に増しているのを認めた。

考 按

超音波心臓断層法は、各種心疾患における心臓

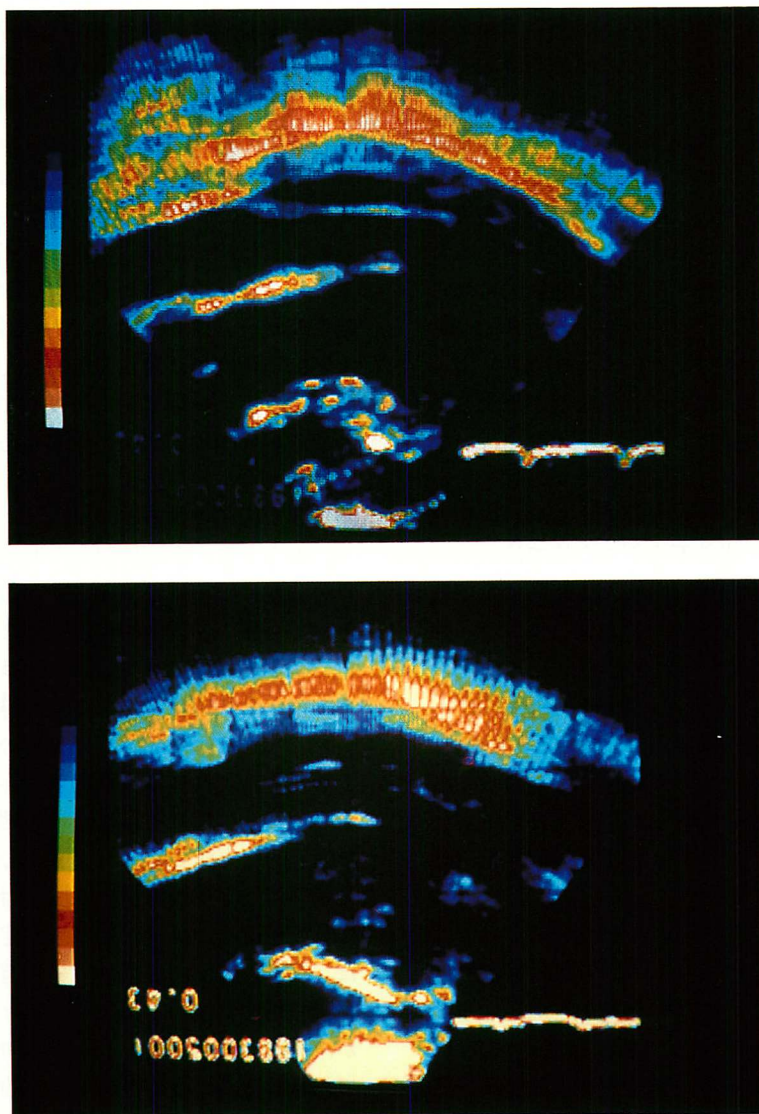


Fig. 4. Color display of the echo intensity of two-dimensional echocardiogram in a normal subject (upper) and a case of old anteroseptal myocardial infarction (lower).

構造物の形態及び動態をリアルタイムに、かつ非侵襲的に解析することを可能とした。しかも大がかりな装置を必要とせず、ベッドサイドでも行ない得るため、日常臨床における循環器疾患患者の診断の大きな助けとなっている。さらに組織性状を推定し得るようになれば、その臨床的意義は大きい。

超音波による組織性状の推定に関しては、生体組織から反射してくるエコーの強度をとりあげてみても、規定する因子が複雑であり、その解決には十分な注意が必要である。しかしながら、エコー強度が組織性状を反映することは経験的に知られており、従来より2,3の報告がある。Rasmussen¹⁾は従来のMモード心エコー図法を用いて、癒痕化した心室中隔のエコー強度が増大していることを定性的に報告している。本邦では田中ら³⁾が感度断層法によって、心筋エコー強度の定量化を試みたことはよく知られている。心内膜線維弾性症や大動脈弁閉鎖不全例の心筋ではエコー強度の5~10 dBの増大を、また実験的に犬で貫壁性心筋梗塞を作成した時、梗塞部ではエコー強度が20~30 dB増大するのを認め、その原因として線維化を挙げている。Logan-Sinclair⁴⁾は、エコー強度の測定を弁膜症患者(弁置換後も含む)の僧帽弁や、冠疾患により左室機能の著しく障害された例の心筋について行ない、いずれも正常より増大していることを認め、線維化の関与を示唆した。

Wells⁶⁾はエコー強度を規定する因子として、2つの点について述べている。その第1の因子は、超音波ビームが生体の血液や組織中を通過する際に受ける漸減性の「減衰」である。この減衰は、超音波ビームの通過距離、衝突する接触面及び周波数が増大するに伴って増大する。通過距離による減衰は、超音波エネルギーが粘性力により消費されることに起因しているが、さらに超音波ビームが組織内を通過する際に分子内において入射エネルギーの再分散が起こることによる“relaxation”で説明されている。反射エコーの強度を規

定している第2の因子は、反射物体自身の大きさ、形、内部構造の違いによる反射様式である。もし反射物体の大きさが使用される超音波ビームの波長に比し大きければ、反射は単純に解明できる。すなわち、反射エネルギーの割合は、接触面を形成している2つの構造物間の音響インピーダンスの差と、超音波ビームの入射角によって決定され、反射波以外は屈折波となる。これはいわゆる“specular reflection”と呼ばれるものである。ところが、一般的にはtargetは超音波ビームの波長に比して小さい。したがって、この状況下では、波長や組織の内部構造に依存する形で、超音波ビームは前述のような単純な反射をせず、より広い角度で「散乱」していく結果となる。本研究ではエコー強度測定に際して強いエコー、いわゆるspecular echoを生じる心内膜と血液との境界はROIからはずしたので、後者の「散乱」が重要な因子であろう。

このように、今回検討した断層心エコー図のエコー強度には複雑な諸因子がからんでおり、目的とする心筋の音響学的性質以外に、探触子との間に介在する諸器官、組織の影響も当然受けるため、それらの影響をできるだけ排除するのが望ましい。しかしながら、「減衰」の影響をとり上げてみても、これには当然個体差があり、適確に補正することは臨床的には極めて困難である。そこで便宜的な方法として被検者の心臓構造物の一部を基準にし、そのエコー強度に対する比率として任意の構造物のエコー強度を測定することにした。基準として、心膜エコーを選んだ。心膜の音響特性が、個体間で一定であるという成績はないが、他の研究者たちも用いており⁴⁾、強いエコーで記録し易く、心膜疾患も臨床的にそれ程多いものではないので用いた。更に心腔内エコー強度を0レベルとして補正した。血液は通常、可視化できるエコー源ではないとされており、したがって心腔内の輝度は雑音レベルと考えられるので、これを0レベルとして補正した。

以上の補正を行なっても、例えば心膜の音響的

性質、心膜と目的構造物との距離関係等は対象によって異なるであろうから、それらの影響を考慮すると、かかる方法は本来は1人の被検者における疾患の時間的経過を追うことに用いるのがより問題が少ないであろう。

心筋のエコー強度を増大させる重要な組織学的因子としては、膠原線維が知られている。組織学的⁷⁻¹¹⁾及び生化学的対比^{12,13)}により、このことが証明されている。したがって今回の我々の結果は、陳旧性心筋梗塞における心筋の癒痕すなわち線維化を反映していると考えられる。

我々の研究では、発症後1年以上経過した陳旧性前壁中隔梗塞におけるIVSの相対エコー強度は、健常成人に比し、有意に高値を示した。Fishbeinら¹⁴⁾によれば第1週は壊死及び急性炎症の時期、第2週が慢性炎症のピークとなり、第3週から徐々に癒痕形成が個体差をもって開始し、第5週以後にはほぼ癒痕となるが、この時期の癒痕の完成までには、かなり個体差が存在すると思われる。本研究では、1年以上経過した症例で検討しているため、ほとんどの症例でIVSには、ある程度以上の癒痕が存在しているものと思われる。LVPWについての同様の比較では、陳旧性前壁中隔心筋梗塞の方がやや低値をとる傾向にあったが、有意差はなかった。あるいは前方に位置するIVSの音響陰影(acoustic shadow)に入る結果かも知れない。

今回検討したのは、断層心エコー図の心臓構造物のある広がり平均的相対エコー強度である。当然のことながら、同じ相対エコー強度でも、エコー強度の分布に差が生じうるから、それを分析すれば組織性状診断に役立つであろう。この点に関しては検討中であり、近々報告する予定である。

本研究は、心筋のエコー強度を調べることを目指してはいるが、実際測定しているのは市販の超音波心臓断層装置のブラウン管上の輝度であり、それは探触子が受信したエコーが内臓する回路により種々に変形された結果をみているにすぎない

ことは言うまでもない。しかし、人間の目でみても先に述べたように心疾患によって心筋エコー輝度に差があることは、既に経験するところである。我々は、A/D変換してデジタル化することにより、客観的、定量的に評価しようとしたものであり、人間の目で識別困難な輝度の差をも描出できると考える。

カラー表示について健常成人と陳旧性前壁中隔梗塞とを比較してみると、両者のエコー強度の差を視覚的に識別するのに有用であった。加えて、エコー強度の分布パターン分析もし易くなると思われる。

急性期と2ヵ月後の前壁中隔心筋梗塞についての比較では、相対エコー強度は2ヵ月後に増大を認めた。これはParisiら⁵⁾が実験的に犬に心筋梗塞を作製し、最終の6~8週後にピークをもつエコー強度の増大を認め、組織学的に癒痕形成と、組織化学的にコラーゲン含有量の増加を確認していることと一致すると思われる。

今回の我々の検討では、陳旧性前壁中隔心筋梗塞と健常成人のIVSの差は比較的明らかであり、我々の方法はエコー強度を評価し、それから経験的に組織性状を類推するのに有用と思われた。

結 語

1. 組織性状を推定する試みの1つとして、断層心エコー図の輝度のA/D変換を行ない、エコー強度の定量的評価とカラー表示を試みた。
2. 陳旧性前壁中隔心筋梗塞患者では、健常成人に比べて心室中隔の相対エコー強度の有意な増大を認めた。
3. 断層心エコー図のエコー強度を評価し、それから組織性状を類推することは、今後もお検討を重ねるべきものと思われた。

要 約

組織性状を推定する試みの1つとして、断層心エコー図のA/D輝度変換を行ない、エコー強度の定量的評価とカラー表示を試みた。対象は健常

成人 12 例, 発症後 1 年以上経過した陳旧性前壁中隔心筋梗塞 (OMI) 11 例である。断層心エコー図の記録には市販の電子走査型心臓断層装置を用いた。本装置の調節ダイヤル類は全症例につき一定として傍胸骨左室長軸像をビデオテープレコーダーに記録した。その静止画像を A/D 変換し, 心室中隔, 左室後壁, 心臓内腔, 心膜に関心領域を設定し, その領域内のエコー強度の平均値を測定した。次いで左室腔内のエコー強度を 0 レベル, 心膜のエコー強度を最大値とみなして補正し, 心室中隔と左室後壁の相対エコー強度を算出した。この相対エコー強度を健常成人と陳旧性梗塞と比較した。同時にカラー表示も試みた。健常成人の相対エコー強度は, 心室中隔: 0.40 ± 0.05 (mean \pm SE), 左室後壁: 0.30 ± 0.02 であった。これに対し, 陳旧性梗塞では, 心室中隔: 0.71 ± 0.06 , 左室後壁: 0.25 ± 0.02 と梗塞例の心室中隔は健常成人に比し, 有意に高値を示した ($p < 0.001$)。また左室後壁は陳旧性梗塞の方が健常成人に比し低値をとったが, 有意差は認めなかった。

カラー表示を行なってみると, かかる数値的差異を視覚的に識別するに容易であった。

本法はエコー強度を評価し, それによって経験的に組織性状を類推するのに有用であった。

本研究に際し, 多大な御協力を頂いた名古屋工業大学電気情報工学科 鈴木宣夫教授, 同 岩田 彰助教授, 日立メディコ研究開発センター 堀場勇夫博士に感謝致します。

文 献

- 1) Rasmussen S, Corya BC, Feigenbaum H, Knoebel SB: Detection of myocardial scar tissue by M-mode echocardiography. *Circulation* **57**: 230, 1978
- 2) Gramiak R, Waag RC, Schenk EA, Lee PK, Thomson K, MacIntosh P: Ultrasonic detection of myocardial infarction by amplitude analysis. *Radiology* **130**: 713, 1979
- 3) Tanaka M, Terasawa H: Echocardiographic evaluation of the tissue character in myocardium. *Jpn Circ J* **43**: 367, 1979
- 4) Logan-Sinclair RB, Wong CM, Gibson DG: Clinical application of amplitude processing of echocardiographic images. *Br Heart J* **45**: 621, 1981
- 5) Parisi AF, Nieminen M, O'Boyle JE, Moynihan PF, Khuri SF, Kloner RA, Folland ED, Schoen FJ: Enhanced detection of the evolution of tissue changes after acute myocardial infarction using color-encoded two-dimensional echocardiography. *Circulation* **66**: 764, 1982
- 6) Wells PNT: *Biomedical Ultrasonics*. Academic Press, London, 1977, p 110
- 7) Fuster V, Danielson MA, Robb RA, Broadbent JC, Brown AL Jr, Elveback LR: Quantitation of left ventricular myocardial fiber hypertrophy and interstitial tissue in human hearts with chronically increased volume and pressure overload. *Circulation* **55**: 504, 1977
- 8) Moore GW, Hutchins GM, Bulkley BH, Tseng JS, Ki PF: Constituents of the human ventricular myocardium: Tissue hyperplasia accompanying muscular hypertrophy. *Am Heart J* **100**: 610, 1980
- 9) Donaldson RM, Florio R, Rickards AF, Bennet JG, Yacoub M, Ross DN, Olsen E: Irreversible morphological changes contributing to depressed cardiac function after surgery for chronic aortic regurgitation. *Br Heart J* **48**: 589, 1982
- 10) Oldershaw PJ, Brooksby IAB, Davies MJ, Coltart DJ, Jenkins BS, Webb-Peplow MM: Correlations of fibrosis in endomyocardial biopsies from patients with aortic valve disease. *Br Heart J* **44**: 609, 1980
- 11) Schwarz F, Flameng W, Schaper J, Langebartels F, Sesto M, Hehrlein F, Schleppe M: Myocardial structure and function in patients with aortic valve disease and their relation to post-operative results. *Am J Cardiol* **41**: 661, 1978
- 12) Caspari PG, Newcomb M, Gibson K, Harris P: Collagen in the normal and hypertrophied human ventricle. *Cardiovasc Res* **11**: 554, 1977
- 13) Frederiksen DW, Hoffnung JM, Frederiksen RT, Williams RB: The structural proteins of normal and diseased human myocardium. *Circulat Res* **42**: 459, 1978
- 14) Fishbein MC, Maclean D, Maroko PR: The histologic evolution of myocardial infarction. *Chest* **73**: 843, 1978