

左室短軸超音波断層像のコンピュータ画像処理

Digital image processing of the two-dimensional echocardiogram for the evaluation of regional contractility of the left ventricular wall

藤井 諄一
久保木正夫
相澤 忠範
渡辺 熈
加藤 和三
尾上 守夫*
金子 正秀*
久野 義徳*

Junichi FUJII
Masao KUBOKI
Tadanori AIZAWA
Hiroshi WATANABE
Kazuzo KATO
Morio ONOE*
Masahide KANEKO*
Yoshinori KUNO*

Summary

Short-axis cross-sectional images of the left ventricle at the levels of the mitral valve, papillary muscles and apex were recorded on video tape by using a phased-array sector scanner. Endocardial and epicardial outlines of the cross-sectional left ventricular wall were determined automatically by a computer tracing process including digital image processing system.

Short axis cross-sectional left ventricular walls of upper-, middle- and lower parts of the left ventricle were divided into eight segments, the center of gravity of end-diastolic left ventricular cavity being used as the reference point. Various parameters such as segmental radius, segmental wall thickness, cross-sectional area, left ventricular circumference and those changes during the cardiac cycle were determined in eight segments at three levels of the left ventricle.

Regional contractility of the left ventricular wall was evaluated by systolic shortening of segmental radius and systolic thickening of segmental wall thickness. Contractility and pumping function of the overall left ventricle was assessed by shortening velocity of left ventricular circumference and fractional changes of cross-sectional area at three levels of the left ventricle. These were significantly and diffusely reduced in a patient with congestive cardiomyopathy (CCM), contrasting with a normal subject. Systolic changes in segmental radius and segmental wall thickness were significantly reduced

心臓血管研究所
東京都港区六本木 7-3-10 (〒106)
*東京大学生産技術研究所

Cardiovascular Institute, Roppongi 7-3-10, Minato-ku,
Tokyo 106
*Institute of Industrial Science, University of Tokyo

Presented at the 21st Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, September 14-15, 1980
Received for publication March 6, 1981

in infarcted myocardium.

Digital image processing system and segmental analysis of the left ventricular short-axis two-dimensional echocardiogram are very useful to evaluate the regional contractility of the left ventricle, quantitatively and automatically, especially in patients with myocardial disease including CCM and myocardial infarction with left ventricular asynergy.

Key words

Two-dimensional echocardiographic short-axis view of the left ventricle Congestive cardiomyopathy and myocardial infarction Computer image processing

はじめに

電子走査型超音波心断層法は心臓の任意の断面の動態をリアルタイム(実時間)に記録することができるため、近年、心疾患の診断のみならず心動態や左室機能などの評価に利用されている。ことに既報のごとく¹⁾、左室基部、中部、下部(心尖部)における左室短軸超音波断層像は比較的容易に記録され、かつ左室のほぼ全周にわたる壁動態の情報を得ることが可能であり、左室壁局所収縮

性の評価に有用である。

そこで今回、左室壁動態をより詳細かつ客観的にしかも短時間で分析し、asynergyの定量的評価を可能にするための第一歩として、左室短軸断層像のコンピューターによる画像処理を試みたので報告する。

方法と結果

超音波心断層法はAloka製SSD 800により、僧帽弁先端付近の左室基部、乳頭筋先端付近の左室

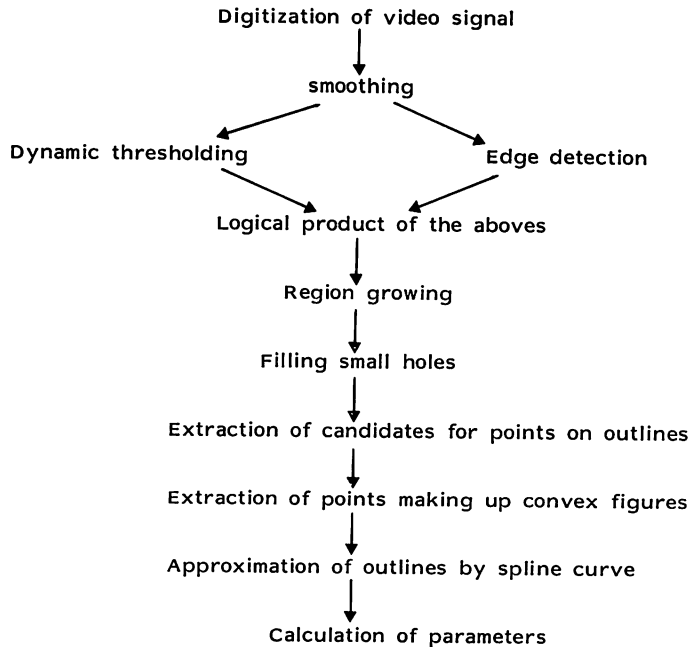


Fig. 1. Block diagram of the computer image processing of the two-dimensional echocardiogram.

中部および左室下部(心尖部)の左室短軸断層像を心電図, 心音図とともにビデオテープに記録した.

Fig. 1 に画像処理のプロセスを示す. まず VTR 画像を 256×256 の画素に分割し, かつ画像の濃度値を 8 ビット (256 レベル) にデジタル化してコンピューターに入力する. **Fig. 2** はこのようにしてデジタル化した画像の再生を示す. 次にノイズを除去するために, 25 画素 (5×5) の平均値を求め平滑化し, 続いて以下のプロセスにより輪郭の検出を行う. まず 16×16 画素の小分割領域内の輝度化が大なる部位を edge として検出すると, **Fig. 3** のごとくなる. 一方, 画像全体

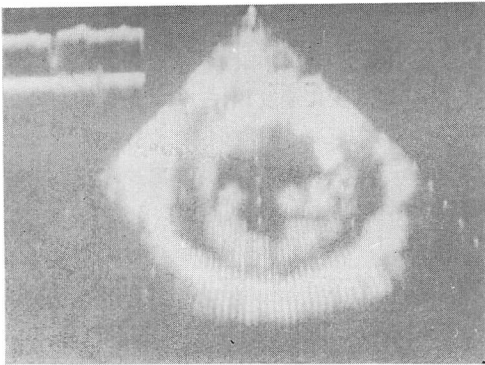


Fig. 2. Digitization of video signal and its display on CRT.

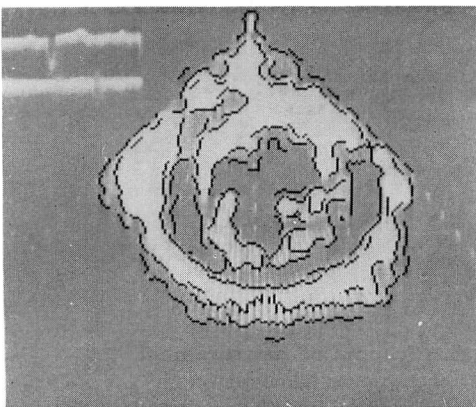


Fig. 3. Edges determined by computer tracing of echo-signals, superimposed on the original two-dimensional echocardiogram.

を 49 個 (7×7) 小領域に分割し動的閾値処理を行い, この両者の AND をとると **Fig. 4** のごとくなる. さらに濃度値の近接した画素を接続し, 小孔を埋めると **Fig. 5** のごとくなる. そして得られた画像を放射状 (144 方向) に調査し, 輪郭候補点を描出する. **Fig. 6** はかくして得られた輪郭候補点を示す. ここで肉柱エコーなどによる不整な内面輪郭線を平滑化したモデルに置きかえるために, 輪郭線について次の仮定, すなわち追跡される輪郭は滑らかであり, 急激な方向変化はなく, 輪郭線は交わることはないという仮定を置

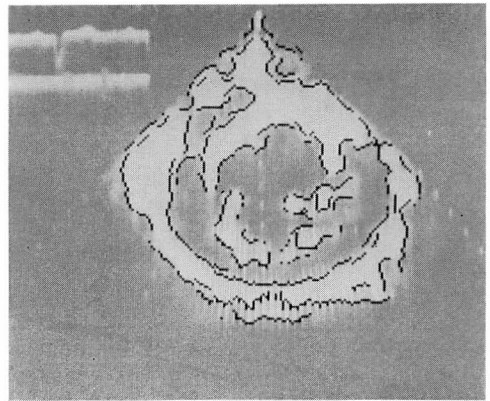


Fig. 4. Edges determined by logical product of dynamic thresholding and computer edge detection.

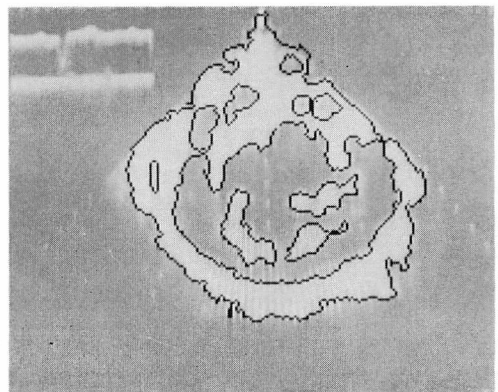


Fig. 5. Edges determined by computer tracing after region growing and filling small holes.

く. このような仮定のもとに凹部を除去して凸図形になる点を描出し, Spline 曲線近似を行うと Fig. 7 のごとくなる. Fig. 7 の一番内側の輪郭が肉柱の底面エコーを結んだものであり, 二番目の一番外側の輪郭エコーが左室外膜エコーの内側の輪郭である. 図中の+印は拡張終期左室内腔の重心とセクタービームの基点を示す.

2 枚目以後は処理の高速化をはかるために次のごとく処理した. まず前画像で求めた輪郭線の近

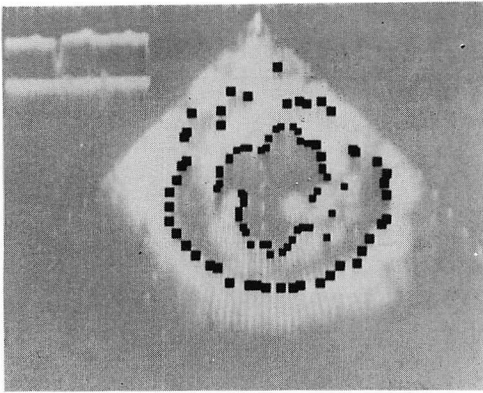


Fig. 6. Extraction of candidates for points on outlines of the cross-sectional left ventricular wall, automatically by a computer.

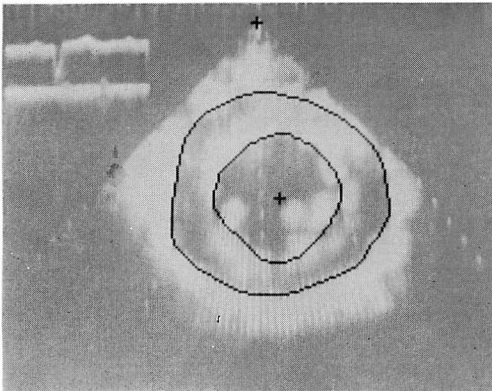


Fig. 7. Approximation of outlines by Spline curve, after extraction of points making up convex figures.

+ : the pivot of sector beam and the center of gravity of the left ventricular end-diastolic cavity.

傍だけに着目し, edge を検出することにより輪郭候補点を求めた. 以後は1枚目と同様にその輪郭候補点のうち凸図形を形成するものを選び出し, Spline 曲線で近似することにより輪郭を求めた.

そこで各種パラメーターの自動計算を行った. まず各レベルの左室短軸断面において, Fig. 8 のごとく拡張終期の左室断面輪郭の重心 G と扇形ビームの基点 P を結ぶ線を基準線として左室円周を均等に8分割し, 左室壁を8分節 (S1~S8) に区分した. そして重心 G より8分節に至る距離 segmental radius (1), (2) および壁厚 wall thickness (3) を 33 msec ごとに自動計測し, Table 1 に示すごとく重心 G より各分節に至る左室径の短縮率および短縮速度, 各分節の壁厚の増加率および変化速度, さらに各レベルの左室 (内腔) 円周および左室断面積とそれらの変化速度をコンピューターにより瞬時に求めた. 以下にその実例を示す.

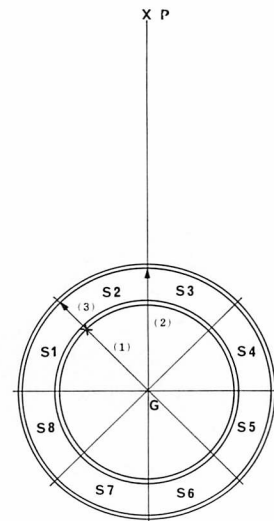


Fig. 8. Schema of measurement.

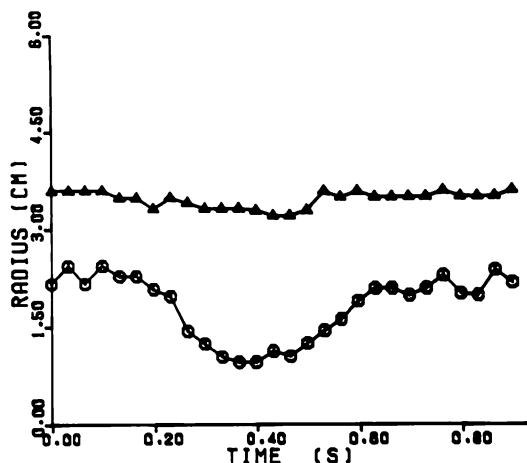
(1): inner radius (dimension from G to endocardial echo); (2): outer radius (dimension from G to epicardial echo); (3): wall thickness; P=the pivot of sector beam; G=the center of gravity of the LV end-diastolic cavity; S1-S8=eight myocardial segments.

Table 1. Calculations of parameters automatically by a computer

1. Changes) in segmental radius
2. Fractional changes	
3. Velocity of changes	
4. Changes) in segmental wall thickness
5. Fractional changes	
6. Velocity of changes	
7. Changes) in LV circumference
8. Fractional changes	
9. Velocity of changes	
10. Changes) in cross-sectional areas of LV
11. Fractional changes	
12. Velocity of changes	
13. Changes of the center of the gravity	

Fig. 9 は正常例の1例において、左室中部(乳頭筋レベル)における重心より左室後壁の一分節(S6)に至る距離 radius の経時変化をコンピューターにより測定し、プロットしたものである。円は Fig. 8 の S6 に至る radius (1) を、三角は radius (2) を示すが、収縮期に減少、拡張期に増大し、その変化は(1)が(2)より大であった。同様に Fig. 10 は S6 の壁厚(3)の変化をプロットしたものである。収縮期に壁厚増大が、拡張期には減少が認められる。Fig. 11 は同じ正常例の左室断面積の変化をプロットしたものである。円は径(1)が描く断面積、三角は径(2)が描く断面積の変化を示すが、いずれも収縮期に減少し、拡張期に増大し、その変化の程度は(1)が(2)より大であった。Fig. 12 には径(1)および(2)が描く左室円周の変化をプロットしたものであり、先の断面積と同様の変化がみられた。

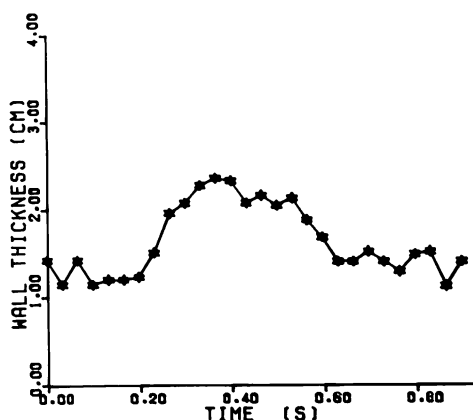
Fig. 13 は壁厚および左室径がともに増大し、diffuse な壁運動低下を示したうっ血型心筋症(CCM)の1例で、左室中部における S6 に至る radius (1) (円で表示) および (2) (三角で表示) の経時変化を示すが、Fig. 9 に示す正常例のそれらに比して変化の程度が減少していた。Fig. 14 は同例の S6 の壁厚変化をプロットしたものであ



NORMAL #02-A-F RADIUS #12

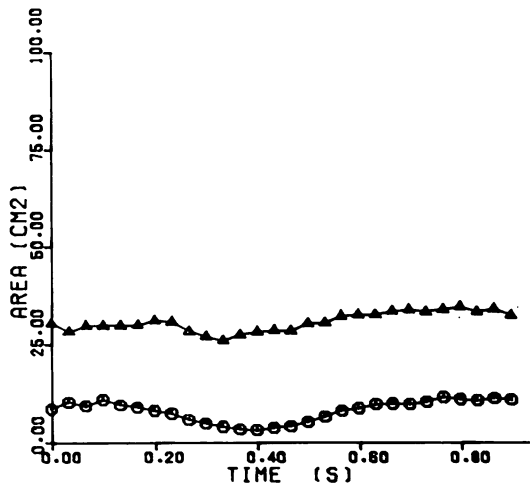
Fig. 9. Changes in the radius to one segment (S6) of the LV posterior wall at the mid-LV level plotted every 33 msec automatically in a normal subject. Time 0.00 is end-diastole.

○: inner radius (1) as shown in Fig. 8; △: outer radius (2) as shown in Fig. 8.

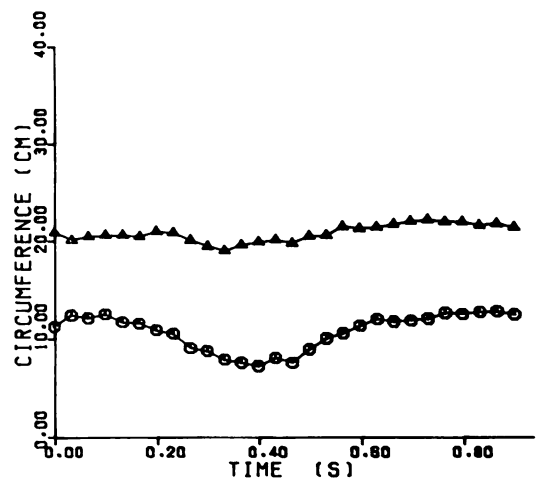


NORMAL #02-A-F WALL THICKNESS #12

Fig. 10. Changes in a segmental wall thickness of the LV posterior wall (S6) plotted every 33 msec in a normal subject.



NORMAL #02-A-F AREA



NORMAL #02-A-F CIRCUMFERENCE

Fig. 11. Changes in LV cross-sectional area of the middle part of the left ventricle plotted every 33 msec in a normal subject.

○: cross-sectional endocardial area of the left ventricle; △: cross-sectional epicardial area of the left ventricle.

Fig. 12. Changes in LV circumference of middle part of the left ventricle plotted every 33 msec in a normal subject.

○: endocardial circumference of the left ventricle; △: epicardial circumference of the left ventricle.

るが、同様に Fig. 10 に示す正常例のそれに比して減弱している。Fig. 15 および 16 は同例の左室断面および円周の経時変化をプロットしたものである。径(1)の描くそれらを円で、また径(2)の描くそれらを三角で表示しているが、Fig. 11 および 12 に示した正常例に比して左室断面積および円周は増大し、さらに収縮期におけるそれらの変化の程度が明らかに減少していた。

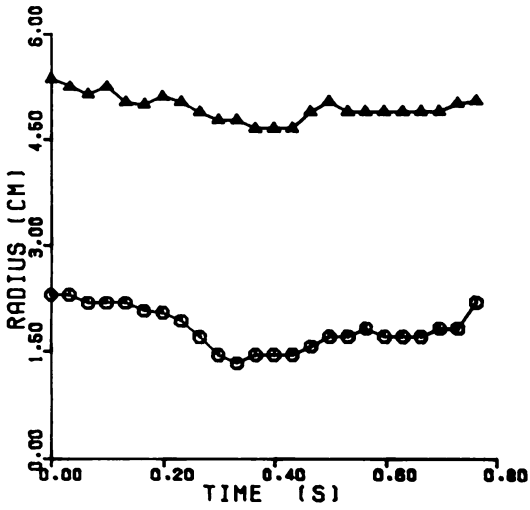
Fig. 17 は正常例、CCM、後壁心筋梗塞において、左室中部における最も動きのよい分節と動きの低下した分節に至る radius の変化を比較したものである。—・—で示した正常例では S4, S8 の radius は収縮期に多少の差はあれ、ほぼ同様の短縮を示しているが、—●—で示した CCM の 1 例では S1, S3 の radius の短縮は双方ともに減少し、diffuse な左室の hypokinesis を示していた。さらに…●…で示した後壁心筋梗塞の

1 例では S3 (前壁) の radius は正常例と同様の短縮を示しているが、S6 (後壁) の radius は収縮期に不変ないし増大し、dyskinesis の存在を示したものと考えられる。

考 案

コンピューター画像処理の目的は、パターン認識の客観化と定量化およびデータ処理の迅速化にあると思われる^{2,3)}。心エコー図の分野ではすでに小坂田らによる M モード心エコー図のコンピューター画像処理⁴⁻⁶⁾、桑原ら⁷⁾による左室長軸断層像のコンピューター画像処理が報告されているが、短軸断層像への応用ははまだ報告をみない。そこで今回、既報のごとき方法¹⁾により記録した、左室短軸超音波断層像のコンピューター画像処理を試み報告した。

本法を左室計測および動態評価に応用するに

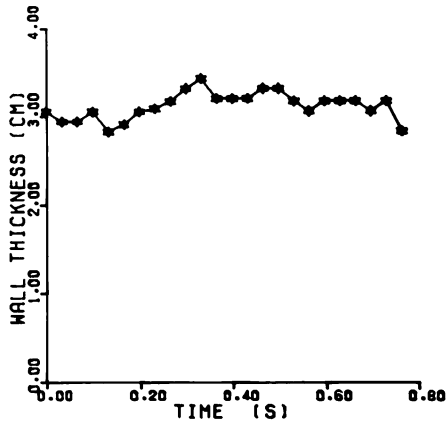


CCM #01-A-F RADIUS #12

Fig. 13. Changes in the radius to one segment (S6) at mid-LV level plotted every 33 msec automatically in a patient with CCM and LV wall thickening.

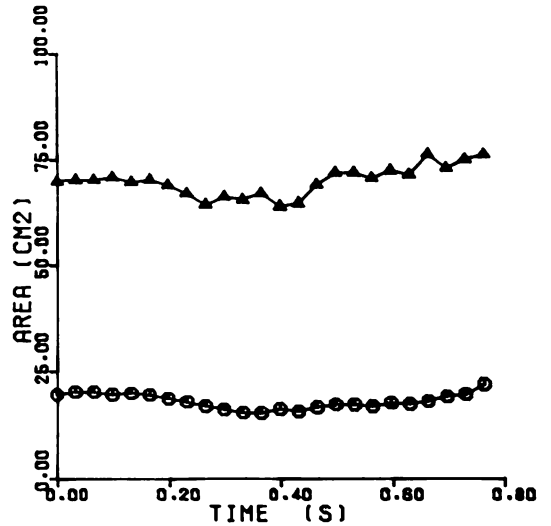
These changes are significantly reduced in contrast with a normal subject.

○: inner radius (1); △: outer radius (2).



CCM #01-A-F WALL THICKNESS #12.

Fig. 14. Changes in a segmental wall thickness (S6) in a patient with CCM and LV wall thickening, which shows a significantly reduced in contrast with a normal subject



CCM #01-A-F AREA

Fig. 15. Changes in LV cross-sectional area of middle part of the left ventricle plotted every 33 msec in a patient with congestive cardiomyopathy (CCM).

○: cross-sectional endocardial area of the left ventricle; △: cross-sectional epicardial area of the left ventricle.

These changes are significantly reduced in contrast with a normal subject.

は、以下のいくつかの問題点について検討する必要がある。まず第1は pulse 幅ないしビーム幅によるエコーの縦および横方向への拡がりの問題である。今回の検討では2つの輪郭エコーを検出した。一番外側の輪郭は心外膜エコーの内側をトレースしたものであり、最内側の輪郭は肉柱・内膜の底面エコーを結んだものである。これら輪郭を形成するエコーはいずれも少なくとも1~2mmの幅を持っており、セクターを形成するビームが垂直ないしそれに近い方向から貫く部位ではこのエコーの幅は主として pulse 幅より成ると考えられるが、ビームに接する方向に存在する部位では、ビームの太さが関係した横方向への像の拡がり関係する。従って、これらにより像は多少ひずん

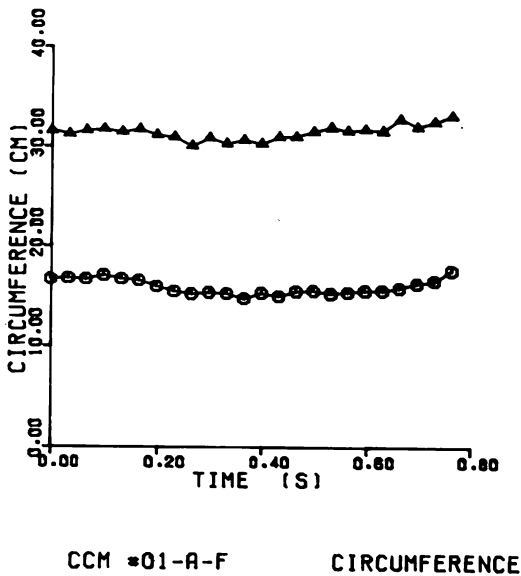


Fig. 16. Changes in LV circumference of middle part of the left ventricle plotted every 33 msec in a patient with CCM.

○: Endocardial circumference of the left ventricle; △: Epicardial circumference of the left ventricle.

These changes are significantly reduced in contrast with a normal subject.

で記録されており, また計測された心筋厚および内径は, この pulse 幅やビーム幅により実際の値より過小評価される可能性がある. しかし, この傾向は多少の差はあれ, いかなる例においても常に存在し, また最近の装置では改良に伴い減少しつつあることから, これらの原因による多少の誤差を認識しておれば, 同一例の変化の評価はもとより, 個体間の比較も可能であると考えてよからう. 第2の問題点としては, 左室内膜面が肉柱のため, 極めて複雑な形状を呈しており, 力学的な取り扱いが困難であることである. 肉柱の生理学的な意義に関しては必ずしも明らかではないが, 少なくとも左室筋の収縮性を評価するためには肉柱を除いた左室筋を検討することが必要であり, ある程度, 左室内膜面を平滑化した左室内腔モデルに置きかえたほうが, 力学的な取り扱いが

容易である. そのためには, 今回の検討のごとく肉柱の底面エコーを結んで平滑化した内腔輪郭で左室内膜面を代表させる方法が, 実際临床上, 実用的であると考えられる. 第3にリアルタイム扇形走査法では, 辺縁エコーが連続しない場合がむしろ多く, さらにノイズが比較的多いためそれらを今回の検討のごとく画像処理する必要があることである.

今回の digital 画像処理方式は必ずしも完全な方法ではないが, 以上の問題点をある程度解決し, 临床上实用可能な域に達したものと考えることができる. うっ血型心筋症では左室壁の diffuse な hypokinesis と左室ポンプ機能の低下を定性的のみならず, 定量的にも評価することができた. 心筋梗塞例では asynergy の定性的・定量的評価が可能であった. 心筋症や心筋梗塞症における局所心筋壁運動異常の詳細な定量的評価のためには, ぼう大な量のデータを短時間の内に処理する必要があり, さらに心筋収縮性の評価に有用な壁厚の変化などのわずかな変化量の計測には, コンピューターを利用した本法が極めて有用であると考えられる.

結 論

左室基部, 中部, 下部(心尖部)における左室短軸超音波断層像を digital 画像処理し, 各レベルでの左室壁をおのおの8分節に分割して, 局所壁運動の定量的評価を試みた. 左室内腔重心(拡張終期)より各分節に至る径の短縮率, 各分節の壁厚増加率より局所壁収縮能を, また各レベルの左室円周短縮率および左室断面積縮小率より左室ポンプ機能が評価された. 正常例に比しうっ血型心筋症ではこれらがいずれも著明に減少し, 左室壁の diffuse な hypokinesis とポンプ機能の低下を, さらに心筋梗塞例では asynergy の定性的, 定量的評価が可能であった. 以上よりコンピューター画像処理は局所心筋収縮能の定量的評価に極めて有用であると考えられた.

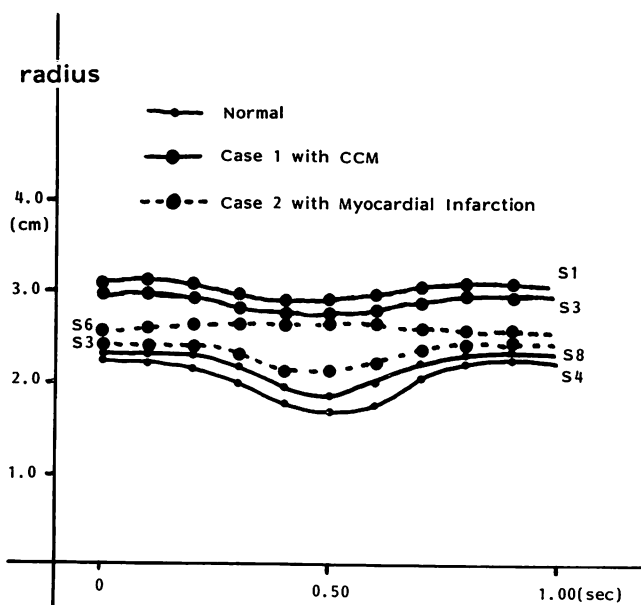


Fig. 17. Changes in two segmental radii, one of which shows the largest systolic shortening and the other shows the smallest one, in each of a normal subject, a patient with CCM and a patient with posterior myocardial infarction.

Normal subject: The segmental radius of S4 shows the largest shortening and that of S8 shows the smallest one.

Case 1 with CCM: The segmental radius of S3 shows the largest shortening and that of S1 shows the smallest one, both of which are significantly reduced in contrast with a normal subject.

Case 2 with posterior myocardial infarction: The segmental radius of S6 (infarcted myocardium) shows no changes or systolic increase in contrast with that of S3 (normal myocardium) which shows systolic shortening.

文献

- 1) 藤井諄一, 相沢忠範, 久保木正夫, 小野彰一, 渡辺 瀧, 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的収縮能の評価。——左室造影法との比較検討——。日循誌 44: 111, 1980
- 2) 尾上守夫: 画像処理・コンピュータ診断。超音波医学 6: 189, 1979
- 3) 尾上守夫: 医用画像処理総論。情報処理 20: 1053, 1979
- 4) 小坂田元太, 篠山重威, 河合忠一, 琴浦 肇, 平川 顕名, 英保 茂, 桑原道義: オンライン処理による心エコー図解析の自動化。日超医講演論文集 33: 43, 1978
- 5) 小坂田元太, 篠山重威, 河合忠一, 琴浦 肇, 平川

顕名, 英保 茂, 桑原道義: 心エコー図解析の自動化による新しい心機能評価。日超医講演論文集 34: 171, 1978

- 6) 高橋正明, 小坂田元太, 篠山重威, 琴浦 肇, 河合忠一: 画像処理の手法による心エコー図の自動解析。J Cardiography 10: 709, 1980
- 7) 桑原道義, 英保 茂: 左心室像の情報処理。J Cardiography 10: 323, 1980
- 8) 尾上守夫, 金子正秀, 久野義徳, 藤井諄一, 相沢忠範, 小野彰一, 太田昭夫, 小山晋太郎, 加藤和三: 左室短軸超音波断層像の画像処理。心臓イメージング研究会講演論文集 3: 23, 1980
- 9) 榊原 博, 朴 永大, 永田正毅, 土師一夫, 宮武邦夫, 木下直和, 別府慎太郎, 仁村泰治: 超音波による心筋梗塞の診断。Jpn Circulat J 43 (Suppl): 85, 1979