

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

Computer analysis of
two-dimensional echo-
cardiogram for the quan-
titative evaluation of left
ventricular asynergy in
myocardial infarction

沢田 準
藤井 諄一
久保木正夫
渡辺 薫
相沢 忠範
太田 昭夫
加藤 和三
尾上 守夫*
久野 義徳*

Hitoshi SAWADA
Junichi FUJII
Masao KUBOKI
Hiroshi WATANABE
Tadanori AIZAWA
Akio OTA
Kazuo KATO
Morio ONOE*
Yoshinori KUNO*

Summary

Quantitative assessment of left ventricular asynergy in myocardial infarction was made by computer analysis of the two-dimensional echocardiogram.

Short-axis cross-sectional images of the left ventricle at the levels of the mitral valve, papillary muscle and apex were recorded by a phased array sector scanner in 20 patients with myocardial infarction and ten normal controls. End cardiac and epicardial outlines at end-diastole and end-systole were traced and analyzed by a computer system. Short-axis cross-sectional images of the left ventricle were divided equally into octants and analyzed with a fixed external reference system, using the center of gravity of end-diastolic left ventricular cavity and the axis intersecting this and the right side of the posterior interventricular septum as the reference point and line. Segmental hemiaxis, area, wall thickness and those changes during cardiac cycle were measured and calculated in each octants. Regional contractility of the left ventricle was evaluated by systolic percent changes of segmental hemiaxis, area and wall thickness.

These parameters were significantly reduced in the infarcted segments documented by left ven-

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
東京都港区六本木 7-22

Cardiovascular Institute 7-3-10, Roppongi, Minato-ku, Tokyo 106
*Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Roppongi 7-22, Minato-ku, Tokyo 106

Presented at the 23rd Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Kurume, October 8-10, 1981

Received for publication December 25, 1981

tricolography and electrocardiography. The area method is better than the hemiaxis system in both reproducibility and variability.

The center of gravity of the left ventricular cavity determined by the computer shifted slightly towards the anterior wall during systole in normal subjects, possibly reflecting anterior swinging motion of the entire heart. The center of the gravity of the left ventricular cavity in myocardial infarction showed the tendency to shift towards the infarcted region, suggesting the possibility that the location of asynergic area can be detected by determining the direction of the gravity center shift during systole in patients with a single infarction. This finding gives a basis of using the fixed reference system for the detection of asynergy.

The use of computers for the analysis of short-axis two-dimensional echocardiographic images is very useful for the quantification of regional contractility of the left ventricle in a clinical setting.

Key words

Digital processing of two-dimensional echocardiogram Short axis view of the left ventricle
Quantitative analysis of regional contractility of left ventricle

はじめに

断層心エコー図法による左室壁動態の評価は現在主として半定量的に行われている¹⁻⁴⁾。しかし、壁運動低下の判定規準を決めたり、運動負荷や薬剤効果の判定などに壁運動の変化を指標とするには定量的評価を行う必要がある。本研究では、左室短軸断層像の computer 画像処理による左室局所壁動態の定量的評価について検討した。

対象と方法

対象は陳旧性心筋梗塞患者 20 例と健常対照者 10 例である。心筋梗塞患者の内訳は前壁中隔梗塞 10 例、下壁後壁梗塞 10 例であり、全例で左室造影像、冠状動脈造影像、12 誘導心電図を記録し、総合的に梗塞部位を診断した。超音波心断層図は Aloka 製 SSD 800 にて記録し、video-motion analyzer を用いて左室内膜面および外膜面の trace を行った。評価に用いた断層面は、僧帽弁先端部、乳頭筋先端部、心室中隔を認め得る心尖部の 3 つの level の左室短軸像で、各 level における拡張終期および収縮終期の左室断層像を trace した (Fig. 1)。以下の処理はすべて computer により自動的に行った。

左室短軸断層像の分割は以下のとおりである。基準点として拡張終期左室内腔断面積重心を用

い、心周期を通じて固定された原点とした。そして拡張終期における心室中隔右室面後端と基準点を結ぶ直線を基準線とし、基準点を中心に基準線から 45 度ごとに左室を 8 個の扇形に分割した。各分割領域は時計回りに、中隔部を S_1S_2 、前壁部を A_1A_2 、側壁部を L_1L_2 、後壁下壁部を P_1P_2 と命名した。拡張終期および収縮終期における各扇形の内膜面中央部から基準点の距離を DD および Ds 、各扇形の面積を AD および As 、各壁厚を Thd および Ths とした。なお乳頭筋像は心室内腔に含めた (Fig. 2)。

壁運動の定量的評価に用いた指標は次の 3 つである。すなわち、① 内径短縮率 $\Delta D = (DD - Ds) / DD$ 、② 内腔断面積縮小率 $\Delta A = (AD - As) / AD$ 、③ 収縮期壁厚増加率 $\Delta Th = (Ths - Thd) / Thd$ 。以上のほかに収縮終期および拡張終期における重心の偏位を求め、重心固定法の意義について検討した。

結 果

1. 壁動態の評価

1) 正常例: ΔD 、 ΔA 、 ΔTh を求め各指標の正常値とした。 ΔD 、 ΔA では S_1S_2 、 A_1A_2 で低値をとる傾向を認めた。 ΔTh では僧帽弁、乳頭筋各 level では比較的均等な値を示すが心尖部での値はばらつきが大であった (Figs. 3, 4 & 5)。

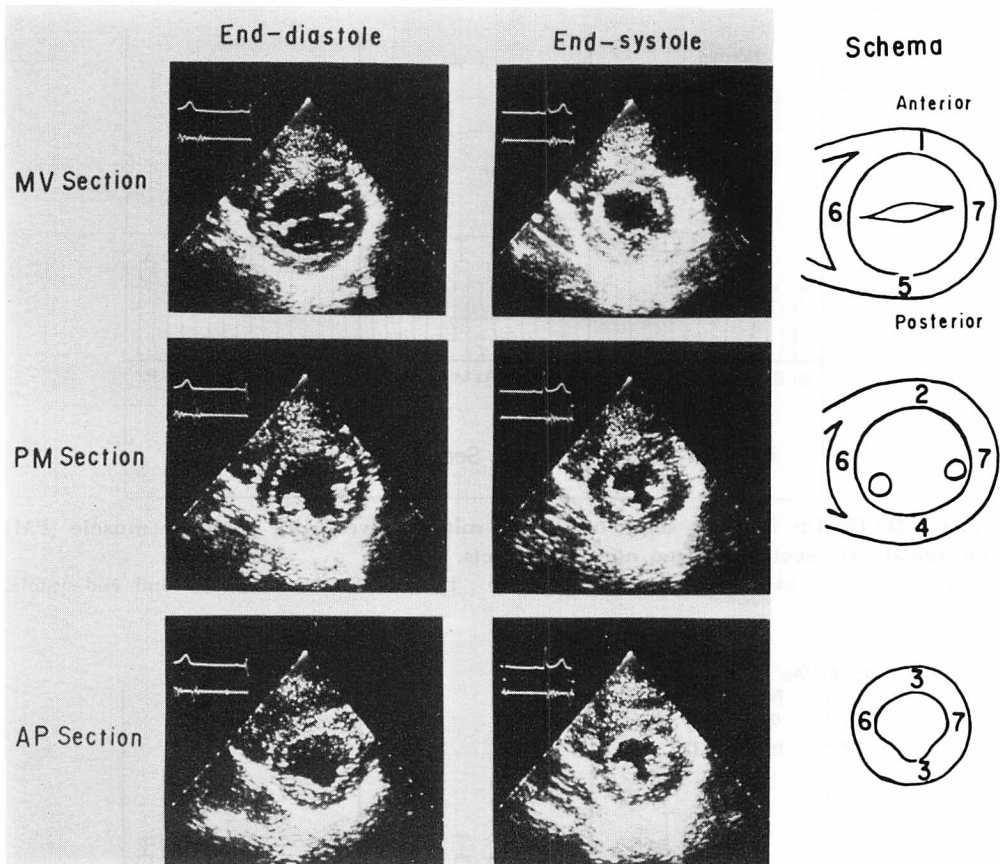


Fig. 1. End-diastolic and end-systolic short axis images of the left ventricle at the levels of the mitral valve, papillary muscle and apex.

Numbers in the tracings show the location of AHA 7 segments used in the left ventriculography.

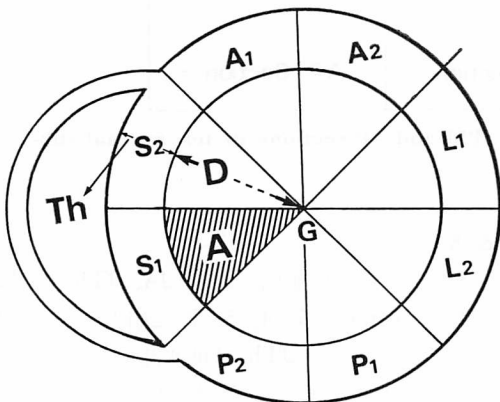


Fig. 2. Schema of octants and computer measurements of segmental hemiaxis (D), area (A) and wall thickness (Th).

G is the center of gravity of the left ventricular cavity determined by the computer.

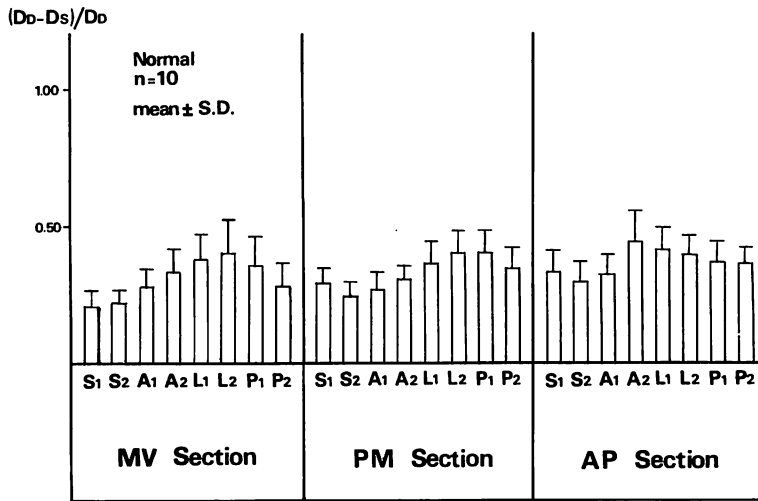


Fig. 3. $(D_d - D_s)/D_d$ in eight segments at the mitral valve (MV), papillary muscle (PM) and apical (AP) sections in ten normal subjects.

Each bar shows mean ± one standard deviation. D_d and D_s : end-diastolic and end-systolic hemiaxes.

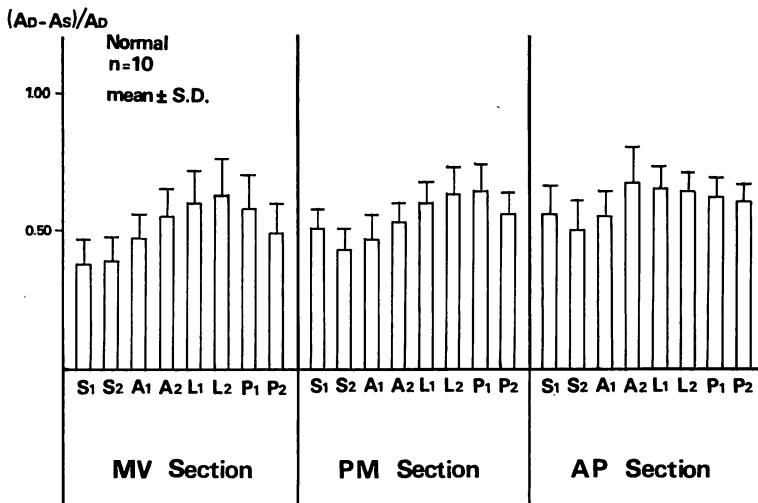


Fig. 4. $(A_d - A_s)/A_d$ in eight segments at the MV, PM and AP sections in ten normal subjects.

A_d and A_s : end-diastolic and end-systolic areas.

2) 前壁中隔梗塞例: AHA 分類の segment 1, 2, 3, 6 に相当する, 各 level での $S_1S_2A_1A_2$ で ΔD , ΔA , ΔTh は有意に低値を示し, ことに ΔTh は梗塞部において一部の例で負の値をとり, いわゆる myocardial thinning を示した (Figs. 6, 7

& 8).

3) 下壁後壁梗塞例: ΔD , ΔA , ΔTh は AHA 分類の segment 3, 4, 5, 7 に相当する $L_2P_1P_2$ で低値を示した. ΔTh は梗塞部において低下あるいは負の値をとり, この傾向は乳頭筋 level で

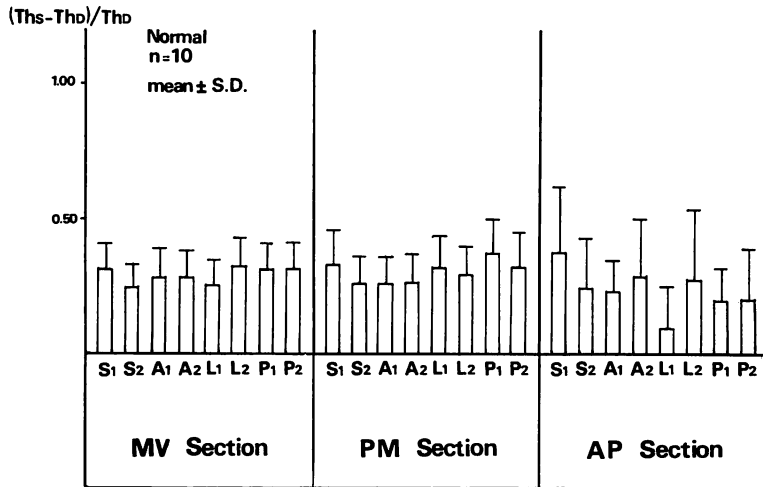


Fig. 5. $(Ths-Thd)/Thd$ in eight segments at the MV, PM and AP sections in ten normal subjects.

Thd and Ths: end-diastolic and end-systolic wall thickness.

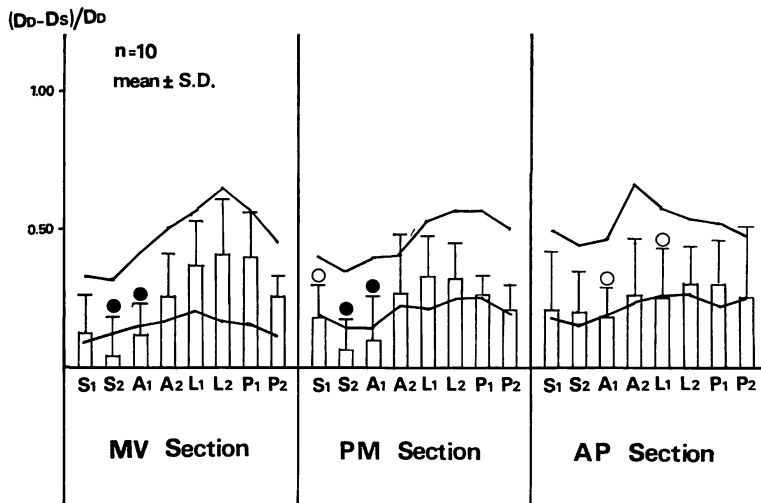


Fig. 6. $(Dd-Ds)/Dd$ in eight segments at the MV, PM and AP sections in ten patients with anteroseptal infarction.

Two lines show mean \pm 2S.D. of normal values, which reveal normal range.

● = $p < 0.01$, ○ = $p < 0.05$.

顕著であった (Figs. 9, 10 & 11).

2. 左室内腔断面積重心の移動

正常例では収縮後期重心は拡張終期重心に比して前壁中隔方向へ平均 2 mm (0~4 mm) の移動を示した (Fig. 12). それに対して前壁中隔梗塞

例では、収縮終期重心は拡張終期重心より前壁中隔方向へ平均 4 mm (2~8 mm) の移動を示し (Fig. 13), 下壁・後壁梗塞例では反対に下壁・後壁方向へ平均 4 mm (2~7 mm) の移動を示した (Fig. 14).

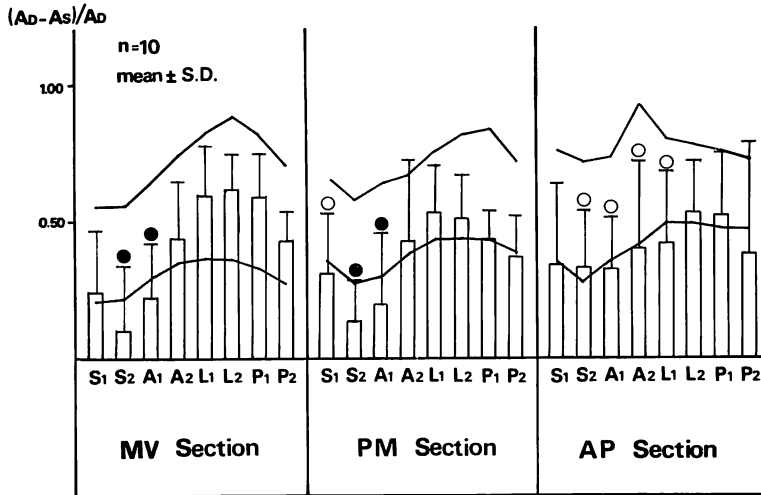


Fig. 7. $(A_D - A_s)/A_D$ in eight segments at the MV, PM and AP sections in ten patients with anteroseptal infarction.

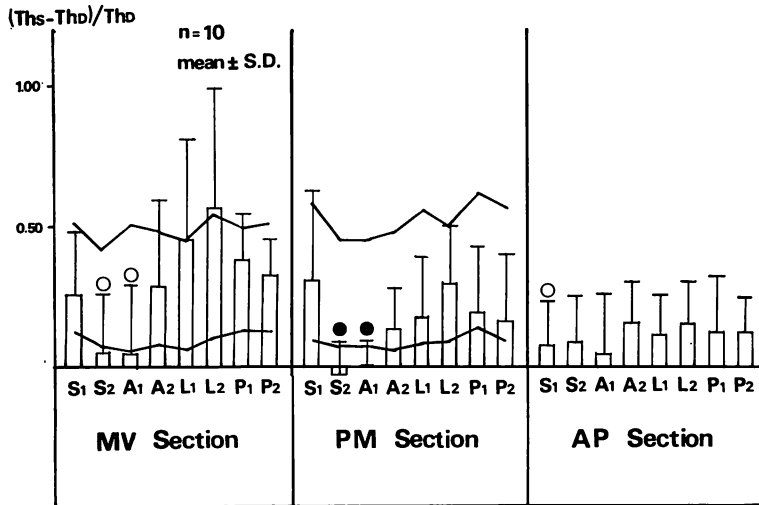


Fig. 8. $(Th_s - Th_d)/Th_d$ in eight segments at the MV, PM and AP sections in ten patients with anteroseptal infarction.

考 案

左室壁動態の半定量的評価には、左室造影像において検討されているように、観察者による差や、同一観察者による再現性の不完全さなどの欠点が

伴う⁵⁾。これらの欠点は共通の基準が存在しないことに由来しており、他施設の記録との比較などを困難にしている。これらの問題を解決するためには壁運動を定量化することが必要である⁵⁻⁸⁾。

また、現在左室壁動態の評価には左室造影が最

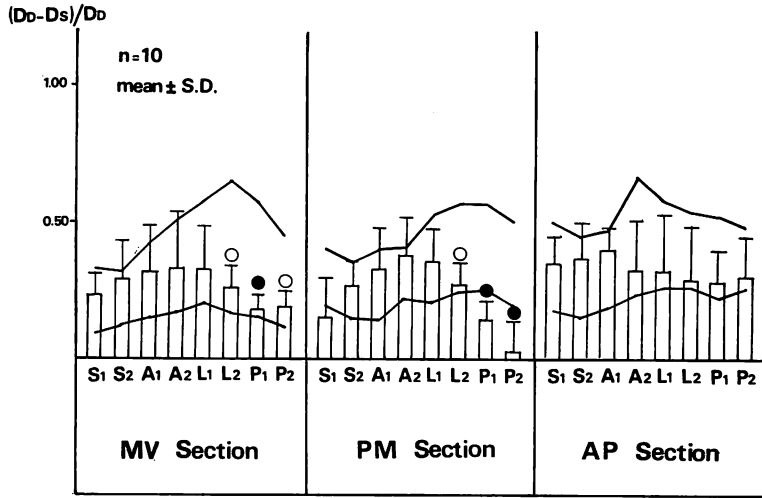


Fig. 9. $(Dd-Ds)/Dd$ in eight segments at the MV, PM and AP sections in ten patients with inferoposterior infarction.

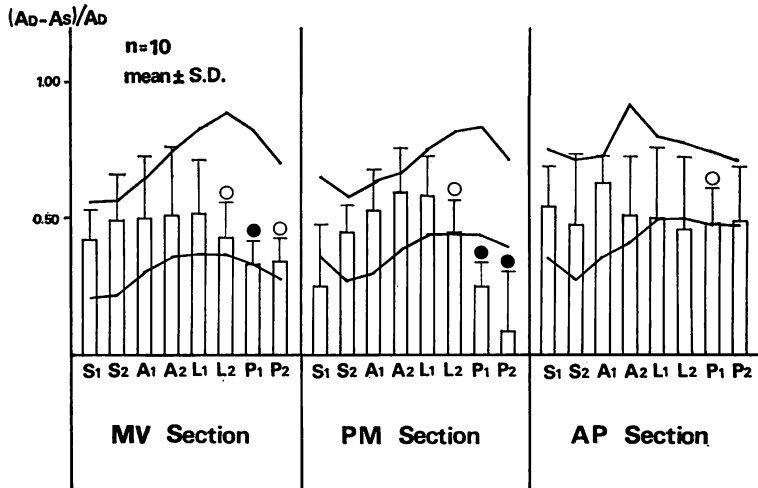


Fig. 10. $(Ad-As)/Ad$ in eight segments at the MV, PM and AP sections in ten patients with inferoposterior infarction.

も重要な位置を占めているが、この方法は左室全周におよぶ情報を得ることができず、また検査中患者の置かれている状態は決して生理的なものではない。

以上の点を勘案すると、超音波心断層法による左室壁動態の定量的評価はこれらの問題を解決し

得る1つの方法と言えよう⁹⁻¹¹⁾。著者ら¹²⁾はすでに左室短軸断層像の digital 画像処理による壁運動の定量的評価を試み、報告した。そこで今回はさらに方法を実用的にし、臨床例を検討した。定量的評価を行うさいには基準点の決め方が重要であり、これは超音波心断層法のみならず、左室造

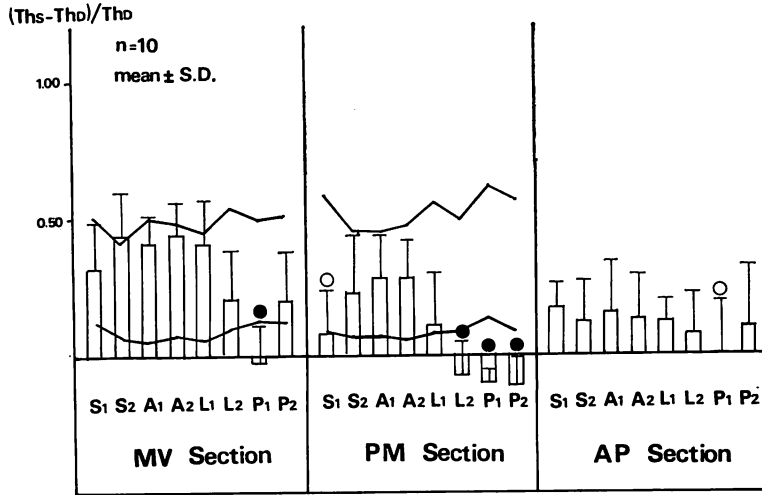


Fig. 11. $(Ths-ThD)/ThD$ in eight segments at the MV, PM and AP sections in ten patients with inferoposterior infarction.

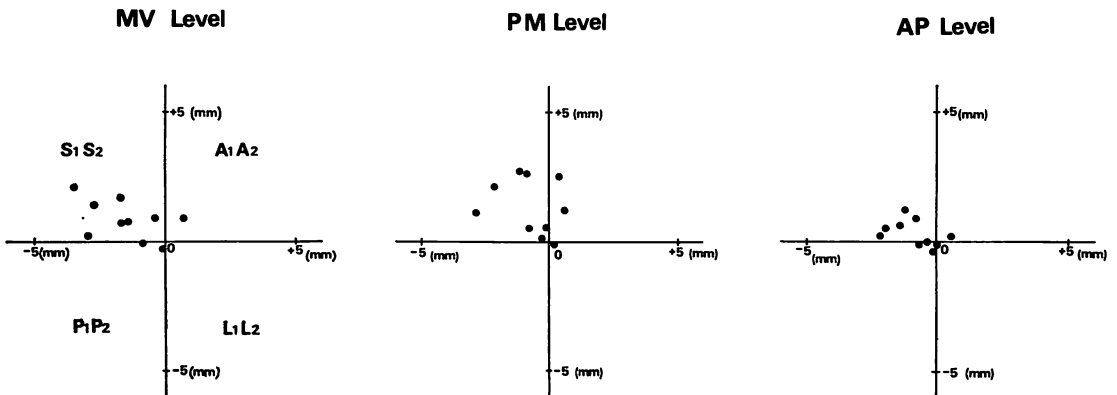


Fig. 12. Motion of the center of gravity of the left ventricular cavity during systole in ten normal subjects.

X-axis is the initial reference axis. Y-axis is the axis intersecting the X-axis at 90 angles. The intersecting points (0) is the position of the center of gravity at end-diastole. Closed circles show the position of the center of gravity at end-systole. The first quadrant corresponds to the anterior area (A1A2), the second one to the lateral area (L1L2), the third one to the posterior area (P1P2), and the fourth one to the septal area (S1S2).

影法, RI アンジオなどすべての共通の問題である。以下にこれらについて若干の考察を加えてみたい。

1. 基準点に関して

左室壁が一定の点や線にむかって収束するか否

かについて, 詳細に検討した報告は少ない。Ingelsら⁸⁾は手術時に左室壁筋層に marker を植込み, RAO で記録した左室造影像の動態を数学的に処理し検討した。そして左室壁が収縮終期の anterolateral aortic valve edge と apex を結ぶ線

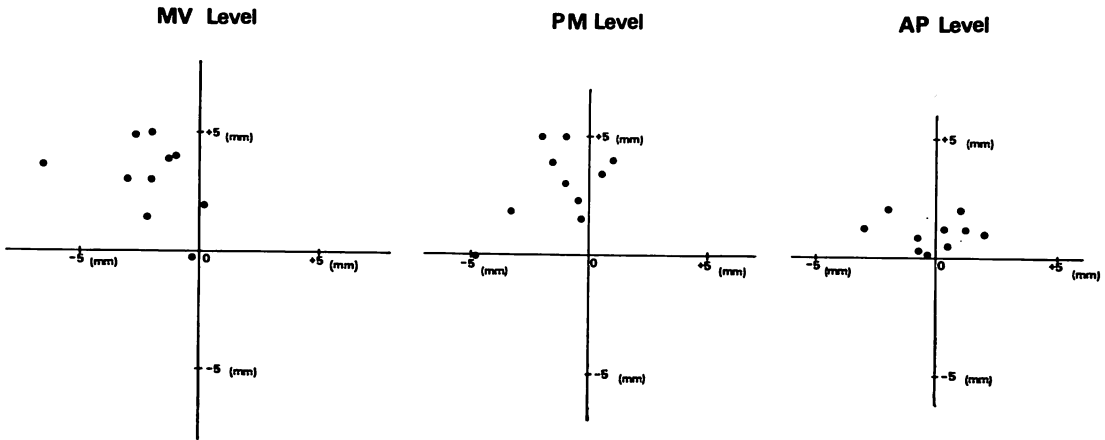


Fig. 13. Motion of the center of gravity of the left ventricular cavity during systole in ten patients with anteroseptal infarction.

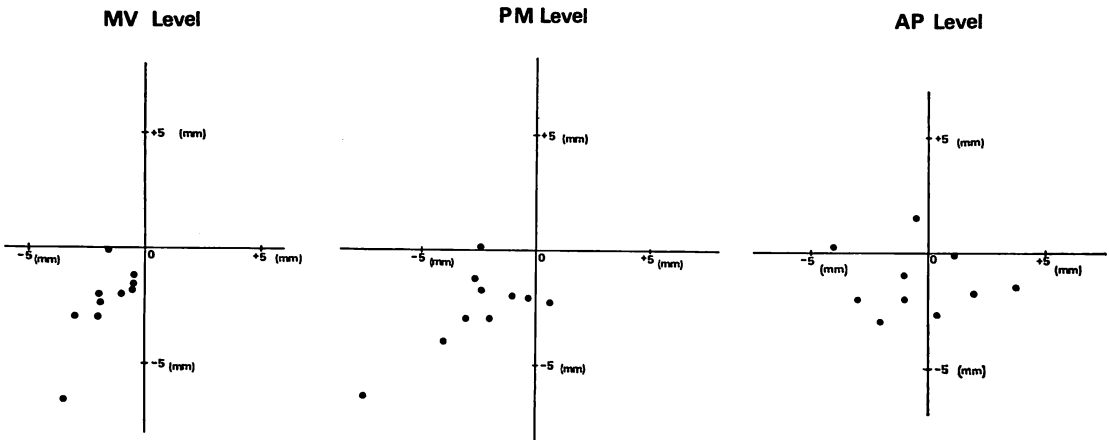


Fig. 14. Motion of the center of gravity of the left ventricular cavity during systole in ten patients with inferoposterior infarction.

の aortic valve 側から 69% の点に収束すること、および収縮期の長軸方向の rotation は無視し得ることを示し、この点を基準とした fixed external reference system の優秀性を述べている。

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、asynergy の検査に不適なことは LVG でも示されているが^{8,13)}、今回の結果においても同様の結

果を得た。左室短軸面の面積重心が収縮期に前壁中隔方向へ平均 2 mm の移動を示したが、これは左室壁収縮の非対称性、左室全体の動き、あるいはその両方を反映したものと考えられる。実質的にこれらを完全に補正することは不可能であり、実際上はこれらの動きを含めて正常値を決定せざるを得ない。このことは M モード法においても同様である。

今回は、運動異常の影響の少ない拡張終期断面

積重心を用いた fixed external reference system を採用したが, 冠動脈造影法, 左室造影法による壁運動異常部位を極めてよく反映していることが確認され, 本法の実際臨床面での有用性が明らかにされた。

2. 壁の分割に関して

壁の分割には基点を定めて機械的に分割する方法⁹⁻¹¹⁾, 中隔や乳頭筋等の構造物を基準に分割する方法, 病理学的な所見に基づく分割方法¹⁵⁾等があるが, 今回は処理 program の関係から機械的な分割を行った。分割数は, 壁の各部分が基準点に向かって直線上を収縮すると仮定すると, 細分する程, asynergy の検出精度が上昇するが, この仮定が証明困難であり, かつ短軸画像が全周期を通じて完全に同一部を記録しているとは考えにくいこと, trace 時の誤差が大きくなることを考えると細分化には限界がある。8分割法は他の分割方法を大体 cover し得るし, 今回の結果も asynergy の検出に有効であった。

3. 内径短縮率と断面積縮小率との比較

左室壁が短軸断面において拡張終期重心に向かって放射線上を直線的に収縮しているとは考え難い以上, 計測の対象は一定の広がりを持つものであることが望ましい。この点から考えると ΔA が ΔD より適当であると考えられる。今回の結果でも, ΔA の正常値は ΔD の正常値より範囲が狭かった。また面積法のほうが観察者による差の小さいことが, 左室造影⁷⁾や超音波心断層像^{10,11)}での局所壁運動を検討した報告においても示されている。

4. 壁厚変化 ΔTh に関して

Lieberman ら¹⁶⁾はイヌを用いて, 心筋梗塞の範囲を調べるのは壁厚変化が壁運動変化よりも有用であることを報告している。それによれば thickening は, 壁厚の 20% 以上の梗塞で急激に減少し, 20% から 100% まではそれ以上の大きな変化を示さなかった。従って systolic thickening が認められる時は, 梗塞が 20% 以下にとどまっていると考えて良いと報告している。また Galla-

gher ら¹⁷⁾はイヌで冠血流と thickening の関係を調べ, 心筋の内膜下 1/2 に血流低下が生じると 75% の thickening 低下が起こり得ること, thinning は血流低下が全筋層におよぶと生じることを示した。このように壁厚変化は残存心筋量や心筋血流量を反映した指標と考えられ, 虚血の評価には有用であるが, 実際上はいくつかの問題が残る。

まず全周期を通じ完全に同一部分を記録しているかどうかという問題がやはり解決されない点である。そして計測上の問題として, 心筋厚は左室径に比し小さな値であり, しかも心外膜, 心内膜両面の画像が鮮明に得られなければ正確な計測は困難である。これらは誤差を生じる原因となる。また今回我々は一直線上での壁厚を計測したが, これも ΔA と ΔD に関して述べたと同様の理由から各 segment ごとの平均値を求めた方が良いでしょう。

5. 心尖部の取り扱い

心尖部は内腔の形態がやや変形していること, 筋層が断面により斜めに切られる可能性があること, 心臓全体の動きの影響が最も強く現われること, さらに適当な land mark が得難いことなどの問題がある。今回は心室中隔が同定し得る心尖部を記録したが, 特に壁厚に関して心尖部での値にばらつきが目立った。心尖部に関する情報を正しく集めるには, 心尖部の形態, 動態を三次元的に把握し, これを空間座標において処理することが必要であると思われる。

以上, 左室壁動態の定量化における問題点を述べたが, 実用化に際しての最大の問題は処理の複雑さであり, computer の応用が不可欠であろう。

結 論

断層心エコー図法による左室短軸超音波心断層像を computer 処理することにより, 左室局所壁動態の定量的評価を試みた。基準点を拡張終期左室断面の面積重心とする fixed external reference system を採用し, 左室壁を 8 分割して各部分の

動態を評価した。用いた指標は断面積縮小率、内径短縮率、収縮期壁厚増加率で、これらはいずれも梗塞部位で有意に減少し、臨床上有用であると考えられた。画像の精度、測定時の誤差等を考慮すると断面積縮小率が最も適当と思われた。なお、心尖部壁動態の定量的評価には現行法では解決すべきいくつかの問題が残されている。

断層心エコー図法では左室全周の壁動態を非観血的に記録し得るという長所があり、今後この長所を臨床的に用いて行くためには、壁動態の定量化が重要であると思われる。そのためには computer による画像処理が不可欠であると考えられた。

要 約

超音波心断層像を computer により解析し、心筋梗塞症における左室壁運動異常の定量的評価を行った。

心筋梗塞患者 20 名、正常対照者 10 名で僧帽弁、乳頭筋、心尖部の各 level で、phased array sector scanner を用いて左室短軸断層画像を記録した。拡張終期と収縮終期において、心内膜側および心外膜側を trace した後 computer 処理した。左室短軸画像を 8 分円に等分割し、拡張終期左室内腔断面積重心と、重心と心室中隔右室側後端を結ぶ直線を基準点および基準線とする fixed external reference system により解析を行った。8 分円の各半径、断面積、壁厚と心周期におけるこれらの変化を計測、計算した。左室局所壁動態の評価は各部分の半径、断面積、壁厚の収縮にさいしての変化率をもって行った。

これらの値は、左室造影と心電図により診断された心筋梗塞部位で有意に低下していた。壁運動異常の検出には半径変化による方法より、断面積変化による方法のほうが優れていた。

Computer により求めた左室内腔断面積重心は正常者において、収縮期に僅かな前壁方向への偏位を示した。これは心臓全体の振子様運動を示すものと思われる。心筋梗塞例における左室内腔断

面積重心は梗塞部位方向へ偏位する傾向を示した。これは一個所の梗塞を有する患者では収縮期における重心の移動方向により壁運動の障害部位を検出し得る可能性を示す。この所見は壁運動異常の検出に fixed reference system を採用する一根據となるものである。

超音波心断層法短軸画像の解析に computer を用いることは、臨床的にみて左室局所壁動態の定量化に有用な方法である。

文 献

- 1) Heger JJ, Weyman AE, Wann LS, Rogers EW, Dillon JC, Feigenbaum H: Cross-sectional echocardiographic analysis of the extent of left ventricular asynergy in acute myocardial infarction. *Circulation* **61**: 1113, 1980
- 2) Nixon JV, Narahara KA, Smitherman TC: Estimation of myocardial involvement in patients with acute myocardial infarction by two-dimensional echocardiography. *Circulation* **62**: 1248, 1980
- 3) Wayatt HL, Meerbaum S, Heng MK, Rit J, Gueret P, Corday E: Experimental evaluation of the extent of myocardial dyssynergy and infarct size by two-dimensional echocardiography. *Circulation* **63**: 607, 1981
- 4) Weiss JL, Bulkley BH, Hutchins GM, Mason SJ: Two-dimensional echocardiographic recognition of myocardial injury in man: Comparison with postmortem studies. *Circulation* **63**: 401, 1981
- 5) Chaitman BR, DeMots H, Bristow JD, Rösch J, Rahimtoola SH: Objective and subjective analysis of left ventricular angiograms. *Circulation* **52**: 420, 1975
- 6) Leighton RF, Wilt SM, Lewis RP: Detection of hypokinesis by a quantitative analysis of left ventricular cineangiograms. *Circulation* **50**: 121, 1974
- 7) Gelberg HJ, Brundage BH, Glantz S, Parmely WW: Quantitative left ventricular wall motion analysis: A comparison of area, chord and radial methods. *Circulation* **59**: 991, 1979
- 8) Ingels NB, Daughters 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, 1980

- 9) Parisi AF, Moynihan PF, Folland ED, Strauss WE, Sharma GVRK, Sasahara AA: Echocardiography in acute and remote myocardial infarction. *Am J Cardiol* **48**: 1205, 1980
- 10) Moynihan PE, Parisi AF, Feldmal CL: Quantitative detection of regional left ventricular contraction abnormalities by two-dimensional echocardiography. I. Analysis of methods. *Circulation* **63**: 752, 1981
- 11) 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, 1981
- 12) Fujii J, Kuboki M, Aizawa T, Watanabe H, Onoe M, Kaneko T, Kuno Y, Kato K: Digital image processing of two-dimensional echocardiogram for the evaluation of regional contractility of the left ventricular wall. *J Cardiography* **11**: 901, 1981
- 13) Chaitman BR, Bristow JD, Rahimtoola SH: Left ventricular wall motion assessed by using fixed external reference system. *Circulation* **48**: 1043, 1973
- 14) Kisslo JA, Robertson D, Gilbert BW, vonRamm O, Behar VS: A comparison of real-time, two-dimensional echocardiography and cineangiography in detecting left ventricular asynergy. *Circulation* **55**: 134, 1977
- 15) Roberts WC, Cardin JM: Location of myocardial infarcts: A confusion of terms and definitions. *Am J Cardiol* **42**: 868, 1978
- 16) Lieberman AN, Weiss JL, Jugdutt BI, Becker LC, Burkley BH, Barrison JG, Hutchins GM, Kallman CA, Weisfeldt ML: Two-dimensional echocardiography and infarct size: Relationship of regional wall motion and thickening of the extent of myocardial infarction in the dog. *Circulation* **63**: 739, 1981
- 17) Gallagher KP, Kumada T, Koziol JA, McKown MD, Kemper WS, Ross J: Significance of regional wall thickening abnormalities relative to transmural myocardial perfusion in anesthetized dogs. *Circulation* **62**: 1266, 1980