

超音波心断層法による虚血
心局所壁運動の定量的解析:
二次元運動ベクトル解析に
よる新しいアプローチの評
価

New approach for quan-
tifying left ventricular
regional wall motion in
ischemic heart disease:
Motion vector analysis
of endocardial surface by
two-dimensional echo-
cardiography

木原 康樹
小坂田元太*
中村 正治**
藤沢 明子
橋本 友久
篠山 重威
河合 忠一

Yasuki KIHARA
Genta OSAKADA*
Masaharu NAKAMURA**
Akiko FUJISAWA
Tomohisa HASHIMOTO
Shigetake SASAYAMA
Chuichi KAWAI

Summary

To quantify regional wall motion of the left ventricle with two-dimensional echocardiography, the motion of an endocardial surface point in echocardiograms was analyzed throughout systole on frame by frame using video motion analyzer. With a fixed external reference system and in the "69% point (C)" by Ingels et al, the motion vector (\vec{M}) of a point was expressed in two components; the contracting component (\vec{Y}) directed toward the point C, and the component vertical to it, the shearing component (\vec{X}).

In the control group, the magnitude of \vec{M} and its contracting component were widely varied with the location along the endocardial surface (5.6 ± 1.6 , 5.0 ± 1.5 mm in the apex, 10.9 ± 2.2 , 10.4 ± 2.0 mm in the inferior base, $p < 0.001$ and $p < 0.001$, respectively). The shearing component and the angle θ at which \vec{M} and \vec{Y} meet, showed narrow normal ranges (1.9 ± 1.4 mm, $15.1 \pm 11.2^\circ$), and were independent

京都大学医学部 第三内科
*同 付属病院検査部
京都市左京区聖護院川原町 54 (〒606)
**天理よろづ相談所病院 循環器内科
天理市三島町 200 (〒632)

The Third Division, Department of Internal Medi-
cine, Faculty of Medicine, Kyoto University, *Central
Clinical Laboratory, Kyoto University Hospital,
Kawaracho 54, Shogoin, Sakyoku, Kyoto, 606
**Cardiovascular Division, Tenri Hospital, 200
Mishimacho, Tenri 632

Presented at the 25th Meeting of the Cardiography Society held in Tokushima, October 9-11, 1982
Received for publication May 10, 1983

木原, 小坂田, 中村, ほか

of their locations.

In the ischemic group, however, the points of non-ischemic regions showed low values of θ ($14.9 \pm 8.9^\circ$), which were not significantly different from those of the control group, while the points of ischemic regions showed high values of θ (over 2SD of the control group). The distribution of these points with abnormal θ values was well correlated to that of the segments with asynergic motion evaluated by both real-time two-dimensional echocardiography and left ventriculography ($p < 0.001$ and $p < 0.001$, respectively).

These results suggest that this new approach with quantitative echocardiography is sensitive and specific for the assessment of regional wall motion of the left ventricle and may provide accurate clinical information for the evaluation of ischemic heart disease.

Key words

Regional left ventricular wall motion

Ischemic heart disease

Two-dimensional echocardiography

はじめに

心エコー図法は1954年 Edler らによって臨床応用されて以来、その有用性は高い評価を受けている¹⁾。超音波検査法は、i) 簡易性、ii) 非侵襲性、iii) 再現性、iv) 即時性など、他の検査法にはない長所を備えており、時間的、空間的分解能においても優れている。特に超音波心断層法(以下 UCT)の開発により心構造の空間的把握が容易となり、同法の適用は拡大し、診断の精度も向上した^{2,3)}。

一方、現在の心臓病に大きな比重を占める虚血性心疾患では、局所の壁運動異常の評価が重要であり⁴⁾、種々の試みがなされて来た⁶⁻⁸⁾。しかしながら、現在一般的に応用されている左室壁を幾つかの領域に区分し、それぞれの運動様式を程度別に表現する方法⁹⁻¹⁰⁾は半定量的であり、UCT が本来備えている優れた分解能を十分に活用しているとはいえない。

この点に鑑み、我々は UCT で認められる心内膜面上の一点の運動を二次元ベクトルで表わし、それより得られるパラメーターを用いて、局所壁運動を定量的に解析することを試みた。本稿ではまず壁運動に異常のない正常群でのパラメーターを分析し、その後虚血性心疾患群での局所壁異常運動が明確に解析できることを示したい。

方 法

1. 対象と記録

対象は心疾患を否定された12名の健常者(年齢16~53歳、平均30.8歳、男4、女8名)、および慢性期に心臓カテーテル検査を行い、左室造影にて少なくとも1つの領域に hypokinesis 以上の壁運動異常が証明された心筋梗塞症の患者10名(年齢41~73歳、平均55.0歳、男9・女1名)である。前者を正常群、後者を虚血群とした。虚血群については心臓カテーテル検査前1週間以内に UCT を施行した。心不全のあるもの、心電図上左脚ブロックを示すもの、心嚢水の貯留、僧帽弁閉鎖不全症の合併が疑われるもの、および UCT 上、心内膜面の描出が困難なものは対象より除外した。

被検者は安静状態にて左半側臥位とし、浅い呼吸にて呼吸を停止させ、心尖部より左室長軸超音波断層図を記録した。心尖部および大動脈弁を描出し、同時に僧帽弁の最大振幅を捉えられる断面をもって心尖部長軸像とした¹²⁾。

探触子は 2.4 MHz のものを使用し、東芝製 SSH-11A を用いて Victor 製 video cassette recorder CR 6060 に記録した。画像は後日 Victor 製 video disk recorder VM 1200M、または SONY 製 video motion analyzer SVM 1110 を用いて再生し、1コマずつ解析を行った。

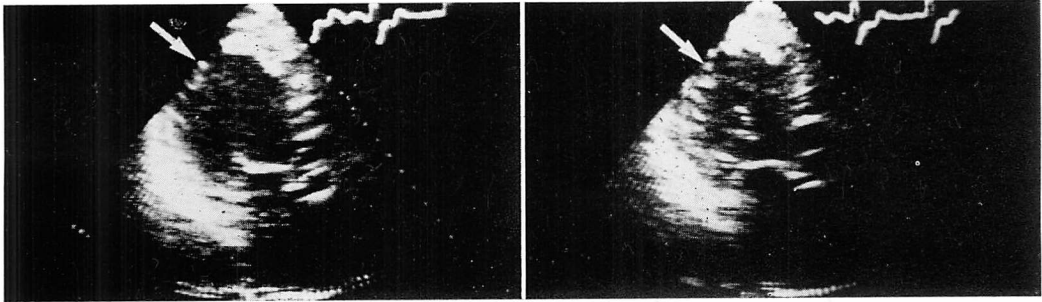


Fig. 1. An example of analyzed points in two-dimensional echocardiograms.

The photographs show apical long-axis view of the left ventricle in two-dimensional echocardiograms at end-diastole (left panel) and at end-systole (right panel). The arrows show analysed points on the endocardial surface of the left ventricle, which could be identified throughout a systole and is considered as a marker of regional wall motion.

2. 解析点の抽出

UCTにて観察される心内膜面は、滑らかな曲線としてではなく、エコー輝度の高い点状の部分によって作られた不連続線として表現される¹³⁾。我々はその輝度の高い点として認められる部分を心内膜局所の解剖学的指標と考えて、運動の解析に当てた。Fig. 1はmotion analyzerにて再生した拡張終期(左図)と、収縮終期(右図)の心尖部長軸断層図を示す。矢印で示すような心内膜面上の点のうち、1コマずつ再生を行ったさい、拡張終期より収縮終期までのすべてのコマで点の位置が画面上に確認でき、心周期を通じて追跡が可能であるものを解析点とした。解析点の抽出は特定の領域に片寄ることなく、描出された心内膜面全域に均等に分布するよう努めた。このようにして各例において5~15点の解析点を抽出した。

さらに被検者の名を伏せて、同一記録について2名の検者が独立して解析を行ったが、両者の解析は良く一致した。

3. 解析点の運動ベクトル

抽出した解析点の運動は、拡張終期の画面上での位置(PED)より収縮終期のそれ(PES)へのベクトル \vec{M} として表現した(Fig. 2: A)。ついで収縮終期像において、心尖部と大動脈弁輪前壁とを結ぶ直線上の、大動脈端から69%の点を原点Cとした極座標系を定めた¹⁴⁾(Fig. 2: B)。すな

わち各解析点のベクトル \vec{M} を、Cに向うベクトル \vec{Y} と、それに垂直なベクトル \vec{X} とに分解した(Fig. 2: A)。またベクトル \vec{M} とベクトル \vec{Y} とのなす角を θ (°)、ベクトル $\vec{M} \cdot \vec{X} \cdot \vec{Y}$ のスカラールをそれぞれ $L \cdot X \cdot Y$ (mm)とした。かくして解析点の運動を $X \cdot Y \cdot \theta \cdot L$ という4つのパラメーターで定量的に把握することが可能となった。

4. 解析点と領域区分

心尖部長軸断層図の左室壁を、GibsonらによるHegerらの変法に従い5つの領域に区分し¹¹⁾(Fig. 3)、前述のごとく抽出した解析点の所属する領域を定めた。また虚血群についてはリアルタイムにUCTを観察し、領域別に壁運動異常の有無を判定した。さらに左室造影(RAO 30°)との比較も行った。左室造影におけるAHAの領域区分と上記UCT心尖部長軸像での領域区分とは、断層面が異なるため完全に一致するものではないが、便宜上Table 1のように対応させた。

5. 時相の決定

心電図のR波の頂点に最も近いコマをもって拡張終期とした。また左室内腔の最小となるコマを収縮終期と定めた。

6. 統計処理

正常群におけるパラメーターの領域間の比較には分散分析の後に、Neuman & Keulの方法に

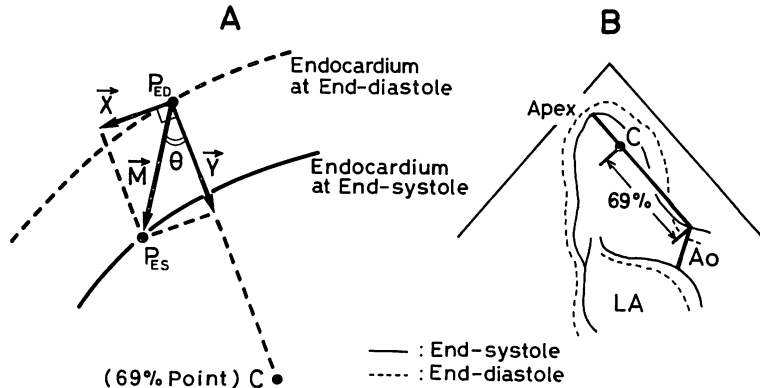


Fig. 2. Vector system to show the systolic motion of an endocardial target point.

A) During systole, a target point on the endocardium moves from the point at end-diastole, P_{Ed} , to the point at end-systole, P_{Es} , in the fixed external reference system. A vector \vec{M} , defined as the motion of the target point during systole, is expressed in two components; a vector \vec{Y} , which is directed toward point C, and a vector \vec{X} , which is vertical to a vector \vec{Y} . A vector \vec{M} and a vector \vec{Y} meet at an angle, θ (degree). Scalars of the vectors \vec{M} , \vec{X} , and \vec{Y} are presented as L , \vec{X} , and \vec{Y} , respectively.

B) Point C is defined as the point 69% of the distance from the anterior edge of the aortic valve to the left ventricular apex at end-systole (Ingels et al¹⁴).

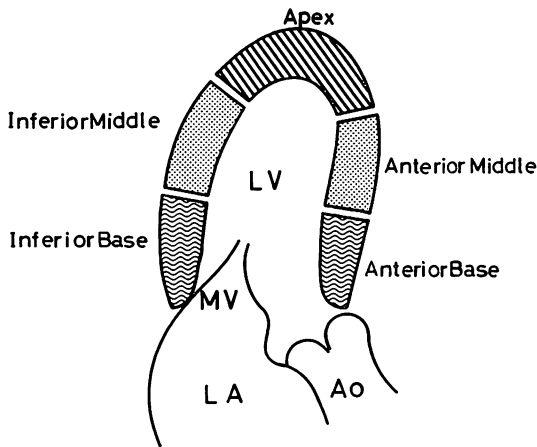


Fig. 3. Regional segmentation of left ventricle.

The left ventricular wall is divided into 5 segmental regions in apical long-axis view of two-dimensional echocardiogram.

より多群比較を行った¹⁵⁾。また虚血群におけるリアルタイム UCT との比較, および左室造影所見との比較には, χ 二乗検定を使用した¹⁵⁾。危険率は 0.05 以下をもって有意とした。

Table 1. Regional segmentation of two-dimensional echocardiogram compared with left ventriculogram

Two-dimensional echocardiogram	Left ventriculogram
Anterior base	Segment 1
Anterior middle	" 2
Apex	" 3
Inferior middle	" 4
Inferior base	" 5

The left ventricle of apical long-axis view in echocardiograms is divided into 5 segmental regions as shown in Fig. 3, which are matched to those of left ventriculograms in RAO 30° by AHA classification.

結 果

解析例を Fig. 4 に示す。左は健常被検者, 右は前壁中隔梗塞症の被検者より得られた心尖部長軸像の解析図である。破線は拡張終期, 実線は収縮終期の心内膜面を表わす。C 点は大動脈弁輪前壁から心尖部を結ぶ直線上の 69% の点である。正常例では (1)~(8) の 8 点, 虚血例では (1)~(7)

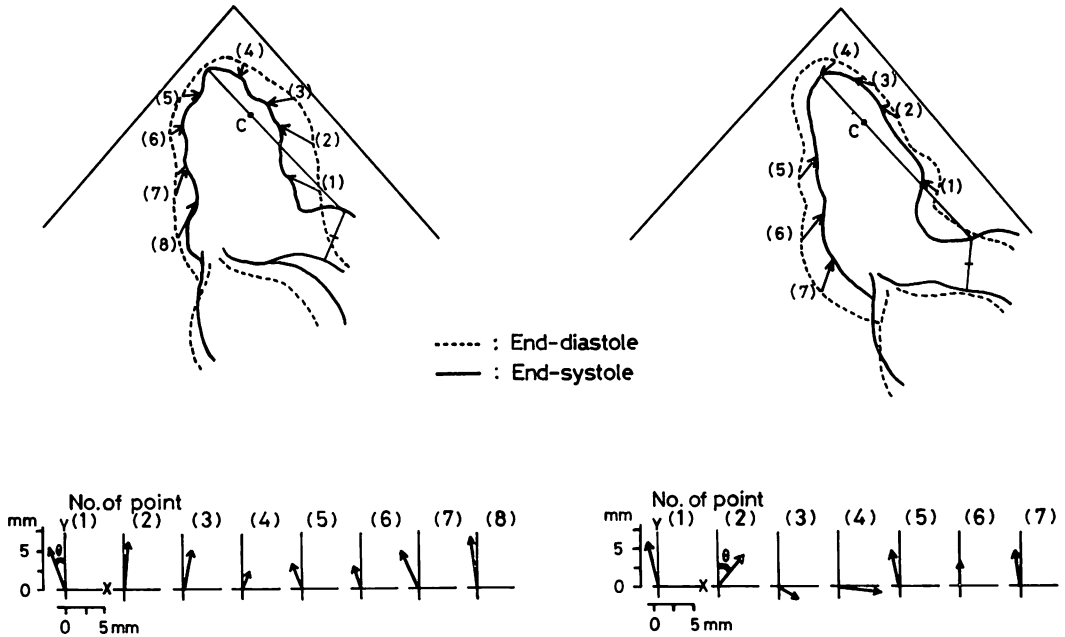


Fig. 4. Examples of the vector analysis.

A case in the control group is shown on the left panel. The schema of apical long-axis view indicates that all 8 endocardial target points move toward the inside of the ventricular cavity during systole. The vectors are directed toward the Y axis, being convergent around the point C.

A case of old anteroseptal myocardial infarction is illustrated on the right panel. The vectors of the apical and anterior segment do not direct toward the center of the cavity, without convergence to point C. Note that the values of θ are high.

の7点が抽出した解析点である。下段にはおのこの解析点の運動ベクトルを \vec{X} を水平方向、 \vec{Y} を垂直方向として X-Y 座標に表示した。ベクトルの絶対値が L、ベクトルと Y 軸方向とのなす角が θ である。

正常例ではすべての解析点においてベクトルは Y 軸正方向を示し、X の値は Y に比して小さく、ベクトルと Y 軸とのなす角 θ は狭小であった。それに対して、虚血例では、梗塞領域である前壁中央部および心尖部より抽出した解析点 (2), (3), (4) で、ベクトルは X 軸方向の成分が大となり、Y 軸より離れ θ は開大していた。特に (3), (4) では Y が負の値を示した。しかし他の領域より抽出された解析点では、正常例と同様に、Y 軸正方向のベクトルを示している。すな

わち、虚血例では、梗塞領域に属する解析点の運動ベクトルのみが偏位していることがわかった。

1. 正常群のパラメーター

正常群の解析点 (n=88) から求めた各パラメーターを **Table 2** に示す。|X| は 1.9 ± 1.4 mm で、Y 7.7 ± 2.4 mm に比して小さく、 $|\theta|$ は $15.1 \pm 11.2^\circ$ と狭角を呈し、L は 8.0 ± 2.5 mm であった。5つの領域別にみても、X/Y 比が小さく $|\theta|$ が小なる傾向はいずれも同様であった。その中において最も大なる X/Y 比を示した心尖部領域においても、 $|\theta|$ は $25.8 \pm 11.1^\circ$ と比較的狭い範囲に収まることが判明した。Y および L は前壁および後壁の相対応する領域の間には差のないものの、相互に隣接する領域同志の多くに有意差 ($p < 0.05$) を認めた。特に心尖部と2つの心基部

Table 2. Summary of parameters in the control group

Segmental region	Anterior base	Anterior middle	Apex	Inferior middle	Inferior base	Total
Parameter	n=13	n=20	n=20	n=23	n=12	n=88
X (mm)	1.6±1.2	1.6±1.0	2.3±1.1	2.0±1.2	2.0±2.7	1.9±1.4
Y (mm)	9.4±1.4	7.3±1.7	5.0±1.5	8.1±1.7	10.4±2.0	7.7±2.4
\theta (degree)	9.5±7.3	13.2±8.6	25.8±11.1	14.0±9.5	10.1±12.8	15.1±11.2
L (mm)	9.6±1.4	7.6±1.6	5.6±1.6	8.4±1.6	10.9±2.2	8.0±2.5

**

**

*
**

**
**

**

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001.

Table 3. Number of abnormal points in the ischemic group

Case	Examined points (n)	Abnormal points (n) ($ \theta > \text{mean} \pm 2\text{SD}$ of the control group)
No. 1	15	6
2	10	4
3	11	6
4	12	4
5	13	2
6	11	4
7	10	4
8	12	4
9	11	5
10	10	4
Total	115	43

The abnormal point is defined as the point with value of θ over 2 standard deviations of the control group.

領域との間には明らかな差 ($p < 0.01$) があり, この2つのパラメーターは心尖部において小さく, 心基部領域に向うにつれて大となる傾向を示した. それに対して |X| および $|\theta|$ は, 5つの領

域のうちのいずれの2領域間の比較も有意差を示さなかった. このように, |X| および $|\theta|$ には解析点の所属する領域による差がなく, 比較的狭い範囲で均一な値を示した.

2. 虚血群の解析

虚血群におけるパラメーター θ の解析を行った. 正常群における各領域の $|\theta|$ の分布より, その平均値から2標準偏差以内をもって正常範囲と定めた. この正常範囲からはずれた $|\theta|$ を示す解析点を異常運動点とし, その数を **Table 3** に示した. 正常群の解析点 ($n=88$) のうち, この正常域に入らないものは3点(3.4%)であったが, 虚血群では37.3%(43/115)の点が異常運動点とみなされた. $|\theta|$ の分布をみると (**Fig. 5**), この異常運動点は $|\theta| \geq 40^\circ$ の部分で, 正常群とは明らかに異なる不均一な分布を形成していた. しかし残りの正常範囲に属した解析点は $\theta = 14.9 \pm 8.9^\circ$ で, 正常群と差のない分布を示した.

次に上記の異常運動点の局在と, リアルタイムのUCT観察による領域別壁運動異常の判定, および左室造影所見におけるそれとの対比を行った. **Fig. 6** の*印は異常運動点の局在を示す. ま

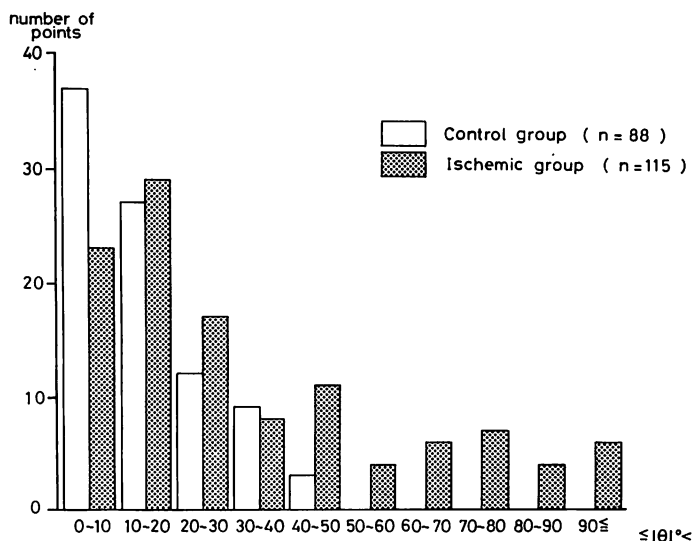


Fig. 5. Distribution of the parameter θ in the control and ischemic groups.

In the control group, the values of θ were distributed in a narrow range at low end, and only 3 points showed θ over 2 standard deviations. In the ischemic group, however, the distribution of θ was wide and 43% of the points had values over 2 standard deviations of the control group. Other points showed the similar distribution as the control group.

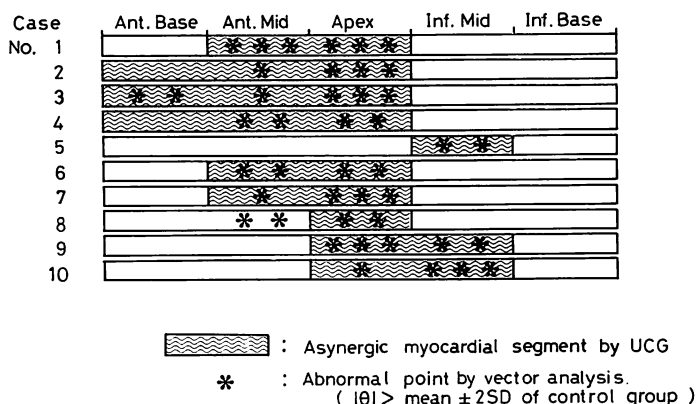


Fig. 6. Correlation of distribution of abnormal points evaluated by the motion vector analysis and that of asynergic regions evaluated by real-time two-dimensional echocardiogram in the ischemic group.

The abnormal point by the vector analysis is defined as the point with θ over 2 standard deviations of the control group. Note that the correlation is fairly good.

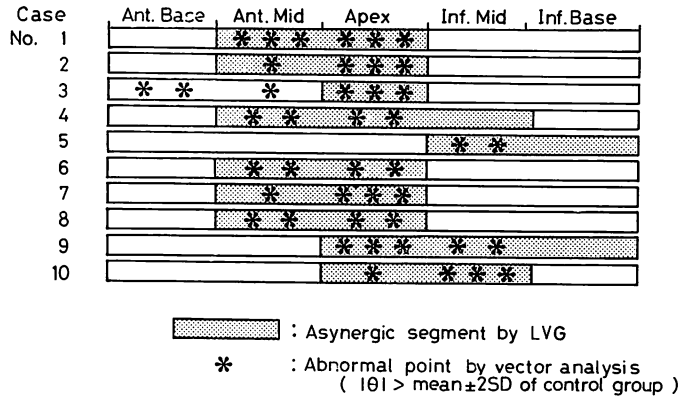


Fig. 7. Correlation of distribution of abnormal points by the motion vector analysis and that of asynergic segmental regions evaluated by left ventriculogram in the ischemic group.

The abnormal point is the same as Fig. 6.

た波状帯の部分は UCT 長軸断層像のリアルタイムの観察により, 壁運動異常ありと判定した領域を示す. 各症例において両者は良く一致しており, 両者による壁運動異常の検出は感受性 77.4%, 特異性 95.3% で, $p < 0.001$ と有意の相関を示した. 一方, Fig. 7 の点状帯は左室造影にて壁運動異常ありと判定した領域である. *印は Fig. 6 と同様に, ベクトル解析での異常運動点の局在を示している. この 2 者間にも感受性 73.2%, 特異性 95.3% で, $p < 0.001$ と有意の相関を認められた.

考 察

UCT における左室壁運動の定量化にはこれまで幾つかの試みがあるが¹⁶⁻¹⁹⁾, 我々の方法は従来のもとは異なり, 新しい観点に立脚している. すなわち心尖部長軸断層図を motion analyzer を用いて再生し, external reference system により左室心内膜面上の点を追跡して, その局所の運動ベクトルを求め, それを Ingels らの 69% ポイント¹⁴⁾を固定極座標として, 定量化するものである.

心内膜面上にエコー輝度の高い点状部分があることは明らかであるが, その部分の解剖学的位置

付けについては必ずしも明確ではない. そのようなエコー上の点が心臓の周期を通して, 常に解剖学的局在に対応して維持されているという直接の証明はない. ある時相には強い反射波を生じる部分が心周期とともに変化して, 超音波を反射しにくい位置または構造に変わり, 逆にその隣接部が強い反射部位となるような可能性を考慮する必要がある. しかしそのような場合のみかけ上の運動成分は, 当然, ずれ方向の運動ベクトルの増大として捉えられるはずである. しかし我々の正常群での運動ベクトルでは, そのような運動成分は小さく, Ingels らのマーカーの解析^{14,20)}と同様の所見を示した. このことは, 我々の解析点が, 解剖学上の局在から大きく離反することなく運動していることを示していると考えられる.

心臓各部は三次元運動を行っており, 左室心内膜面も収縮期に内方運動とともに回転運動を行っていることは良く知られている. それに対して UCT は二次元での構造把握である. UCT 長軸断層面において, 心内膜面の回転運動成分は断層面に垂直な要素であるため, 断層面での運動ベクトルの成分には影響しないと考えることができる. また Walley らによれば心内膜の最大回転運動は 7.0° であり²¹⁾, 他者の報告も同様である²²⁾.

これは長軸断層面において3ミリ程度の垂直運動に相当するが、超音波のビーム幅に比しては小である。これらは定められた断層面上に解析点が連続して投影可能であることを示しており、解析点は十分追跡可能であった。

我々は UCT により心内膜の運動ベクトルを解析したが、Ingels らは左室壁中央部のマーカーの運動ベクトルを検討している^{14,20,23}。Sabbah ら²⁴や Gallager ら²⁵が示すように、収縮期の壁厚の増加、左室内径の短縮には心内膜側心筋の果す役割が大きいと、内腔へ向う運動ベクトルの大きさは、壁中央部よりも心内膜面上の方が大であると考えられる。しかし運動ベクトルの方向については、壁厚増加時の心内膜側と心外膜側とのひずみは少なく、両者の間に差はないものと考えられる^{25,26}。実際我々の予備的検討によると、左室長軸像の拡張終期または収縮終期の重心を index とするよりも、この 69% ポイントを index としたほうが良好な結果が得られている。また正常群より得られた結果からも、この点が index として妥当であると考えられる。我々の今回の検討だけでこの点が最良の index であるとはできないが、少なくとも通常の臨床的解析に当てることは十分可能と判断された。

次に心エコー図上の問題点として、深部からの反射波におけるスキャン方向の分解能の低下がある²⁷。実際、心基部領域の解析点は左右にエコーの広がりを持っているため、我々は今回の検討ではその中央部をもって解析に用いた²⁸。また異なる媒体を通過する音波は屈折効果を生じ、そのため特に心尖部の梗塞巣を介して基部の超音波像を観察するさいには、画像の歪みが関与する可能性がある。しかし本研究では梗塞心筋内での音速 (1650 m/sec) は正常部 (1600 m/sec) に比してわずかな変化であり²⁹、屈折効果は無視しうる³⁰と仮定した。今回解析に用いた心尖部梗塞例においても、心基部の解析点が特別な偏位を示してはならず、大きな歪みはないと考えられる。

以上のごとき根拠に基づき、我々はこの新しい

方法を局所壁運動の定量化に妥当であると判断した。

正常群のパラメーターにおいて、Y は領域により差があり、心尖部で小さく、心基部に向うほど大きい。特に心尖部領域と心基部領域とでは、平均値でも 2.1 倍もの差を認める。この傾向は全く同様に、L についても示されており、このことは Y の領域による変化が、external reference system でみた心臓の収縮運動の様式そのものに由来していることを示している。Kessler らは UCT にて、収縮期に大動脈基部が $8 \pm 2^\circ$ も心尖部方向に水平運動することを観察している³¹。このことは左室後壁基部においては、4~5 mm の心尖部方向への運動が、局所の収縮運動とは別に生じていることを示していると考えられる。心尖部に近い index を用いて収縮運動を解析すれば、このような心臓全体の運動に関する成分を index に向う運動の一部として加算しているものと想像され、Y および L の領域による差も理解される。それに対して X および θ は領域による差がなく、かつ比較的狭い範囲に正常域を設定しうるパラメーターである。またこれらはともに内方への収縮運動成分そのものではなく、収縮方向からのずれの大きさを示すものである。Franklin らは UCT 左室短軸像における心内膜面の中心方向への運動の不均一性を指摘し、UCT による心内膜面局所運動の評価は無効であるとしているが³²、求心運動のみに着目し、我々の示した如き、ずれ方向の運動成分を含めた解析には言及していない。

我々は今回 θ を用いて虚血群の解析を行った。特に θ による定量的評価と、一般に用いられている半定量的な壁運動評価法による所見との間の対応を検討した。Fig. 5 に示したごとく、虚血群では θ の分布が正常群とは異なった分布を示しており、異常運動の部位は Fig. 6 および Fig. 7 でみたごとく、リアタイムでの UCT の観察や、左室造影法による壁運動異常の領域と良く一致した。また残りの部分は正常群と差異のない分

布を示した. このように, パラメーターの一つである θ によって異常壁運動の把握が可能であった. この θ のごとく, ずれ方向の運動を評価するパラメーターのみでは, いわゆる tethering 効果等を含めて異常領域を判定している可能性があるが³³⁾, 他のパラメーターとの組み合わせなどの工夫により, より特異的な局所運動の定量的評価ができるものと考えられる.

要 約

左室局所壁運動を定量的に評価するため, 超音波心断層図で捉えられる心内膜面上の点を局所の指標として, その運動をビデオモーションアナライザーを用いて解析した. 点の運動は画面上で重ね合わせ, 拡張終期の位置より収縮終期の位置に至る二次元ベクトル \vec{M} として表現した. ベクトル \vec{M} はさらに Ingels らの提唱した“69% ポイント (C)”を中心とする固定極座標系により, C に向う収縮成分ベクトル \vec{Y} と, ベクトル \vec{Y} に垂直なずれ方向の成分ベクトル \vec{X} , ベクトル \vec{M} とベクトル \vec{Y} とのなす角度 θ により示した.

正常群ではベクトル \vec{M} および \vec{Y} の大きさは点の所属領域によって変化した (5.6 ± 1.6 , 5.0 ± 1.5 mm: 心尖部, 10.9 ± 2.2 , 10.4 ± 2.0 mm: 下壁基部, $p < 0.001$, $p < 0.001$). それに対して, ずれ方向の成分であるベクトル \vec{X} の大きさおよび θ はともに小さく, 所属領域に関係なく, 狭い正常域を示した (1.9 ± 1.4 mm, $15.1 \pm 11.2^\circ$).

虚血群では非虚血領域に由来する点の θ は正常群と同様な値を示したが ($14.9 \pm 8.9^\circ$), 虚血領域に由来する点の θ は, 正常群の値に対して, 2 標準偏差以上偏位する大きな値であった. またこれら異常なベクトル方向を示した点の領域分布は, リアルタイム超音波心断層法での観察や, 左室造影法の読影による異常運動領域の分布と良く一致した ($p < 0.001$, $p < 0.001$).

以上の結果より, この超音波心断層図による新しい左室局所壁運動の定量化法は, 局所壁運動異常に対して鋭敏かつ特異的であると考えられる.

この方法は比較的容易であり, 今後の虚血性心疾患の臨床的評価に用いられるべきものと判断された.

文 献

- 1) Edler I: Diagnostic use of ultrasound in heart disease. *Acta Med Scand* **308**: 32-36, 1955
- 2) Ebina T, Oka S, Tanaka M, Kosaka S, Terasawa Y, Unno K, Kikuchi D, Uchida R: The ultrasonotomography of the heart and great vessels in living human subjects by means of ultrasonic reflection technique. *Jpn Heart J* **8**: 331-353, 1967
- 3) Bam N, Lancee CT, Honkoop J, Hugenholz PC: Ultrasonic viewer for cross-sectional analyses of moving cardiac structures. *Bio-Medical Eng* **6**: 500-503, 1971
- 4) Theroux P, Franklin D, Ross J Jr, Kemper WS: Regional myocardial function during acute coronary occlusion and its modification by pharmacologic agents in the dog. *Circulat Res* **35**: 896-908, 1974
- 5) Kerber RE, Marcus ML, Ehrhardt J, Wilson R, Abboud FM: Correlation between echocardiographically demonstrated segmental dyskinesias and regional myocardial perfusion. *Circulation* **52**: 1097-1103, 1975
- 6) Kisslo JA, Robertson D, Gilbert BW, von Ramm O, Behar VS: A comparison of real-time, two-dimensional echocardiography and cineangiography in detecting left ventricular asynergy. *Circulation* **55**: 134-141, 1977
- 7) Weyman AE, Franklin TD, Egenes KM, Green D: Correlation between extent of abnormal regional wall motion and myocardial infarct size in chronically infarcted dogs. *Circulation* **56** (Suppl-III): 72, 1977 (abstr)
- 8) Weiss JL, Burkley BH, Hutchins GM, Mason SJ: Two-dimensional echocardiographic recognition of myocardial injury in man: Comparison with postmortem studies. *Circulation* **63**: 401-408, 1981
- 9) Heger JJ, Weyman AE, Wann LS, Dillon JC, Feigenbaum H: Cross-sectional echocardiography in acute myocardial infarction: Detection and localization of regional left ventricular asynergy. *Circulation* **60**: 531-538, 1979
- 10) 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**: 1113-1118, 1980
- 11) Gibson RS, Bishop HL, Stamm RB, Crampton RS, Beller GA, Martin RP: Value of early two-dimensional echocardiography in patients with acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* **49**: 1110-1119, 1982
 - 12) Weyman AE: *in* Cross-Sectional Echocardiography, Lea & Febieger, 1982, p 124-126
 - 13) Skorton DJ, McNary CA, Child JS, Newton FC, Shah PM: Digital image processing of two-dimensional echocardiograms: Identification of the endocardium. *Am J Cardiol* **48**: 479-486, 1981
 - 14) Ingels NB Jr, 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**: 966-972, 1980
 - 15) Zar JH: *in* Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, 1974, p 41-45 & p 151-155
 - 16) 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
 - 17) Takahashi M, Sasayama S, Osakada G, Nakamura M, Yamamoto A, Kannagi T, Kawai C, Asada N, Eiho S, Kuwahara M: Automatic processing of two-dimensional echocardiography of long-axis view for analysis of regional left ventricular function. *Jpn J Med Ultrasound* **8**: 305-311, 1981 (in Japanese)
 - 18) Fujii J, Kuboki M, Aizawa T, Watanabe H, Kato K, Onoe M, Kaneko M, Kuno Y: Digital image processing of the two-dimensional echocardiogram for the evaluation of regional contractility of the left ventricular wall. *J Cardiography* **11**: 901-909, 1981 (in Japanese)
 - 19) Garrison JB, Weiss JL, Maughan WL, Tuck OM, Guier WH, Fortuin NJ: Quantifying regional wall motion and thickening in two-dimensional echocardiography with a computer-aided contouring system. *in* Computers in Cardiology, Long Beach, California, IEEE, 1977, p 25-35
 - 20) Ingels NB Jr, Mead CW, Daughters GT, Edward B, Stinson EB, Alderman EL: A new method for assessment of left ventricular wall motion. *Comput Cardiol, IEEE*: 57-61, 1978
 - 21) Walley KR, Grover M, Raff GL, Bengt JW, Hannaford B, Glantz SA: Left ventricular dynamic geometry in the intact and open chest dog. *Circulat Res* **50**: 573-589, 1982
 - 22) Ingels NB Jr, Daughters GT, Stinson EB, Alderman EL: Measurement of midwall myocardial dynamics in intact man by radiography of surgically implanted markers. *Circulation* **52**: 859-867, 1975
 - 23) Daughters GT, Ingels NB Jr, Stinson EB, Alderman EL, Mead CW: Computation of left ventricular dynamics from surgically implanted markers. *Proc San Diego Biomed symp* **16**: 97-103, 1977
 - 24) Sabbah HN, Marzilli M, Stein PD: The relative role of subendocardium and subepicardium in left ventricular mechanics. *Am J Physiol* **240**: H920-H926, 1981
 - 25) Gallagher KJ, Osakada G, Hess OM, Koziol JA, Kemper WS, Ross J Jr: Subepicardial segmental function during coronary stenosis and the role of myocardial fiber orientation. *Circulat Res* **50**: 352-359, 1982
 - 26) Osakada G, Sasayama S, Kawai C, Hirakawa A, Kemper WS, Franklin D, Ross J Jr: The analysis of left ventricular wall thickness and shear by an ultrasonic triangulation technique in the dog. *Circulat Res* **47**: 173-181, 1980
 - 27) Roelandt J, van Dorp WG, Bom N, Laird JD, Hugenholtz PG: Resolution problems in echocardiology: A source of interpretation errors. *Am J Cardiol* **37**: 256-262, 1976
 - 28) Schnittger I, Fitzgerald PJ, Daughters GT, Ingels NB, Kantrowitz NE, Schwarzkopf A, Mead CW, Popp RL: Limitations of comparing left ventricular volumes by two dimensional echocardiography, myocardial markers and cineangiography. *Am J Cardiol* **50**: 512-519, 1982
 - 29) Theroux P, Ross J Jr, Franklin D, Covell JW, Bloor CM, Sasayama S: Regional myocardial function and dimensions early and late after myocardial infarction in the unanesthetized dog. *Circulat Res* **40**: 158-165, 1977
 - 30) 奥島基良, 大槻茂雄, カワン・スタント: 超音波ビームの屈折による円柱状物体背後のゆがみ. *日超医講演論文集* **41**: 575-576, 1982
 - 31) Kessler KM, Pefkaros K, Sequeira R, Myerburg RJ: Quantitation and significance of horizontal cardiac motion in M mode and two dimensional echocardiography. *Am J Cardiol* **50**: 520-534, 1982
 - 32) Franklin TD Jr, Wiske PS, Clendenon JL, Hogan RD, Avery KS, Burke KM, Sanghvi NT, Weyman AE: Variation in cross-sectional echocardiographic radial target motion relative to a calculated mean centroid of the left ventricle. *Circulation* **62** (Suppl-III): 132, 1980 (abstr)
 - 33) Lieberman AN, Weiss JL, Jugdutt BI, Becker

木原, 小坂田, 中村, ほか

LC, Bulkley BH, Garrison JG, Hutchins GM, Kallman CA, Weisfeldt ML: Two-dimensional echocardiography and infarct size: Relationship

of regional wall motion and thickening to the extent of myocardial infarction in the dog. *Circulation* **63**: 739-746, 1981