

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

Determination of left  
ventricular center of con-  
tractile motion by two-  
dimensional echocardi-  
ography

木原 康樹  
小坂田元太\*  
藤沢 明子  
橋本 友久  
富岡 宣良  
篠山 重威  
河合 忠一

Yasuki KIHARA  
Genta OSAKADA\*  
Akiko FUJISAWA  
Tomohisa HASHIMOTO  
Nobuyoshi TOMIOKA  
Shigetake SASAYAMA  
Chuichi KAWAI

**Summary**

To quantify left ventricular (LV) regional wall motion using two-dimensional echocardiography, reference points such as the center of left ventricular gravity or an intersecting point of radial grids were conventionally used, assuming that they were near or at the center of LV contractile motion. However, since the LV does not contract homogenously, their positions might be quite different. Endocardial high density spots in two-dimensional echocardiograms were used as markers for LV regional wall motion, and we determined the center of LV contractile motion (C) at papillary muscle level in the parasternal short-axis view for 10 normal subjects (control group) and eight patients with aortic regurgitation (left ventricular volume overload; LVVO group).

In one subject, each of six endocardial high density spots extracted from different LV regions, and were traced frame by frame throughout one cardiac cycle using a video motion analyzer, and their systolic movements were shown by six vectors. Using the method of least squares, the point of convergence of vectors (C) was determined from the point toward which the six vectors were directed. The LV centers of gravity at end-diastole (Ged) and at end-systole (Ges) were also determined by tracing the endocardial surface on video frames. The distributions of C, Ges, and Ged were compared.

In the control group, point C was at the point 35% distant from Ged toward the middle of the interventricular septum (IVS). Ges deviated from Ged in the same direction as point C, but the distance was one third of C (11%). In the LVVO group, the distribution of Ges referred to Ged was similar to that of the control group, however, point C was closer to Ged, since its deviation was 16% of the radius.

These results suggest that point C, which is determined by the directions of regional wall motion,

京都大学医学部 第三内科

\*同 附属病院検査部

京都市左京区聖護院川原町 54 (〒606)

The Third Division, Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, Kyoto University and

\*Central Clinical Laboratory, Kyoto University Hospital, Kawaracho 54, Shogoin, Sakyo-ku, Kyoto 606

reflects the contractile pattern of the whole LV. This might be termed the center of LV contraction. Using it as a reference, we were able to obtain more accurate quantitative data about LV regional wall motion.

### Key words

Left ventricular regional wall motion  
Two-dimensional echocardiography

Left ventricular center of contraction

Polar coordinate system

## はじめに

左室局所壁運動の異常は虚血性心疾患を特徴づける現象であり<sup>1)</sup>, 虚血心の診断を質的に向上させるには, より正確な局所壁運動異常の把握が必要である. 断層心エコー図法は様々な方向より心臓の断面像とその運動状態を実時間で提供するため, この目的に叶った検査法と思われる. 1976年, Weyman らが断層心エコー図法により心尖部心室瘤の定性的評価が可能であることを示してから<sup>2)</sup>, この方面に多くの努力が払われている<sup>3-16)</sup>. 心臓という, 周期運動を繰り返す立体構造物の任意の一部分の運動を, 正常, 異常の区別が可能で数値として表現することが, これら研究の目標である. これは左室造影法をも含め, 心臓イメージ法のすべてに共通したテーマであるが, 断層心エコー図法には他の方法にない利点があり, 独自の長所を生かした定量法の開発が期待される<sup>17)</sup>.

我々は, 以前, その特徴を生かした解析法として, 心内膜面上の解剖学的マーカーを追跡することにより, 細かな局所運動の定量化が可能であることを指摘し, 虚血心の評価法としての応用を提案した<sup>18)</sup>. 今回我々は, 同法を用い, 横断面での左室収縮様式を検討し, 今まで示されていない左室横断面における心内基準点, または収縮運動の中心点の算出を行い, 加えて従来の基準点に対する検討を行った.

## 方 法

### 対象と心エコー図の記録

心疾患を否定された38名の健常者のうち, 傍胸骨よりの超音波アプローチが良好であり, かつ

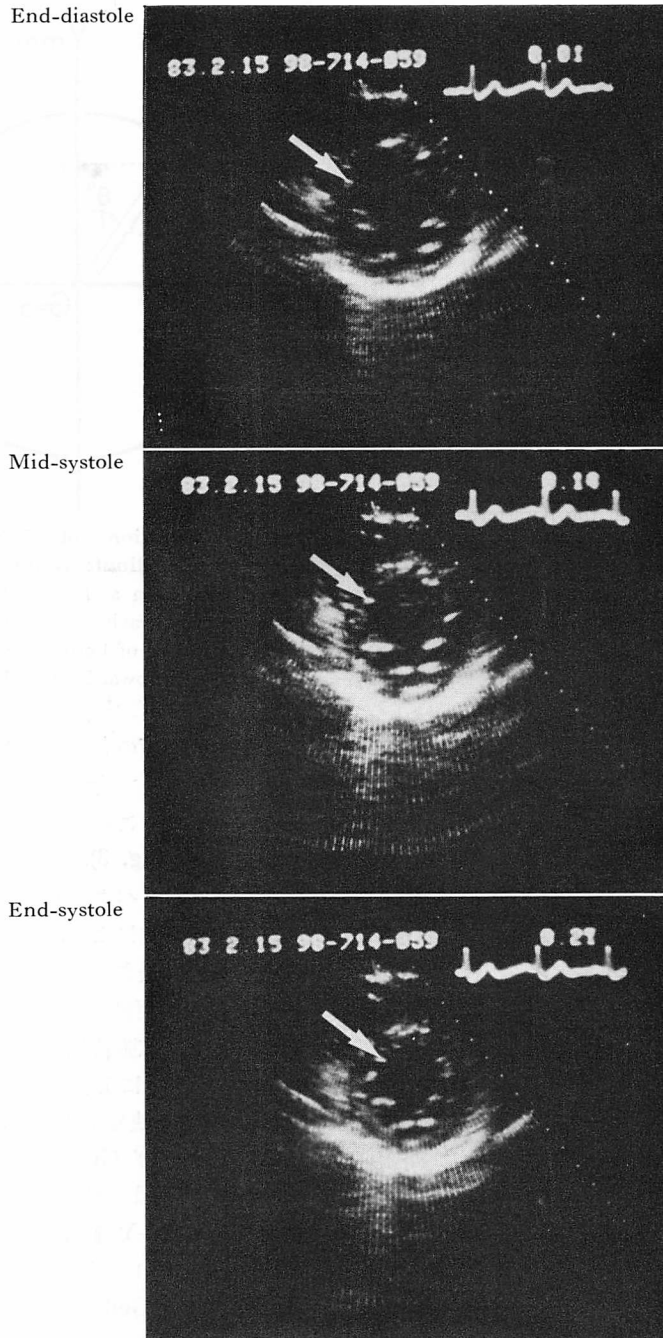
以下の解析で述べる分散した解析点が6点以上得られた10名(男3名, 女7名; 年齢 $33.8 \pm 21.7$ 歳)をコントロール群とした. また冠動脈に異常なく, さらに相当量の容積負荷にもかかわらず, 左室駆出率が50%以上に保たれている純型大動脈弁閉鎖不全症17例中, カテーテル検査の1週間以内に心エコー図検査が施行され, コントロール群と同様の解析に耐えうる良好な心エコー図の得られた8例(全例男性; 年齢 $52.5 \pm 19.7$ 歳)を左室容積負荷群とした.

対象は安静左側半臥位で, 軽い呼気にて呼吸停止とし, 傍胸骨に探触子を固定して, 乳頭筋レベルの左室短軸像を10心拍以上記録した. 記録は数回繰り返し, 術者が最良と判断したものを選択した. 装置には東芝製SSH-11Aを用い, 画像はいったんVictor製video cassette recorder CR-6060に収録した.

### 画像の再生と解析

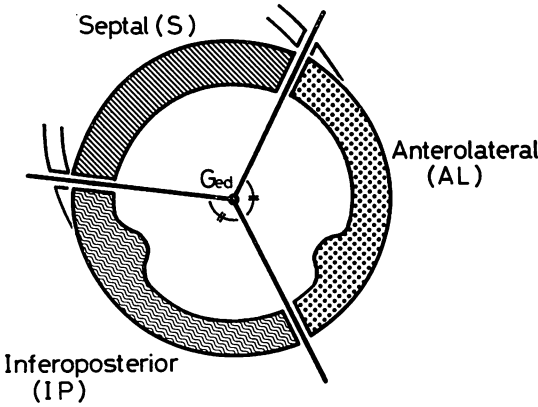
画像は後日, ソニー製video motion analyzer SVM-1110に入力し, 1コマずつ再生した. Analyzerの使用により, 画質の低下なく, 鮮明な静止像を得ることができた(Fig. 1). こうして得られた静止像上の左室心内膜面には, Fig. 1に示すごとく, いくつかの輝度の高い点が認められる<sup>19)</sup>. このような点のうち, 1心周期を通じてその位置が明瞭に確認できる点をその解剖学的局所のマーカーとし, 解析の対象とした. 乳頭筋に由来するもの, 周囲の点との異同が紛らわしいものは慎重に除外した. これら解析点の運動要素は, 画面上で重ね合わせることで, 拡張終期と収縮終期の位置を結ぶ二次元ベクトルとして表示した.

このような解析点を, Fig. 2のごとく, 3分割



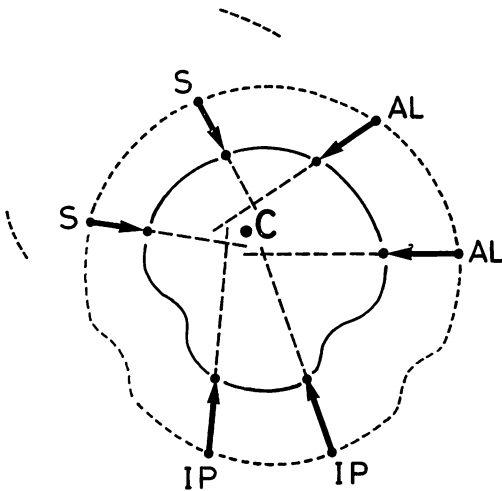
**Fig. 1. An example of echocardiographic image played back by video motion analyzer.**

The arrows show endocardial high density spot which can be identified throughout one cardiac cycle. We considered it a marker of regional wall motion of the left ventricle. From end-diastole to end-systole, its position was traced on every video frame. The systolic motion of these markers presents a vector, as shown in Fig. 3.



**Fig. 2. Regional segmentation of the left ventricle.**

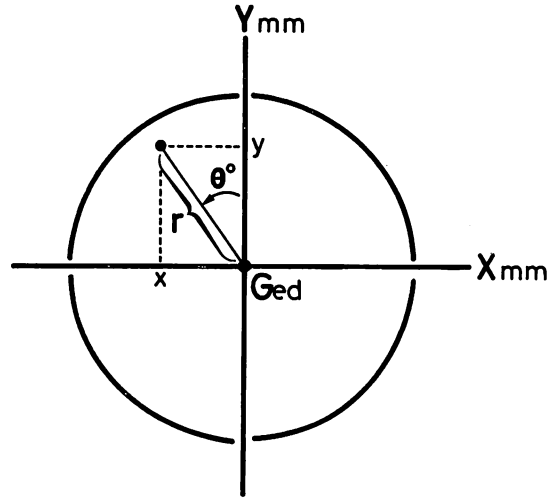
The left ventricular wall in the parasternal short-axis view is divided into three segmental regions.  
 Ged=center of gravity at end-diastole.



**Fig. 3. Left ventricular regional wall motion represented by six vectors.**

Each vector shows the regional wall motion during systole. To assess total systolic motion of the left ventricle by these vectors, the point of convergence of the vectors (C), toward which the six vectors direct with the least error, is determined using the method of least squares.

...: endocardium at end-diastole; —: endocardium at end-systole; S=septal; AL=anterolateral; IP=inferoposterior.



**Fig. 4. Definition of X-Y rectangular and R-θ polar coordinate systems.**

For calculation and presentation, the left ventricular center of gravity at end-diastole (Ged) is defined as the reference of both systems. Y-axis and a base line of 0 direct toward the probe on the chest wall.

した左室横断面の各部分より, おおの2個抽出した. したがって全体として, 分散した6個の解析点が得られ, これらを6個の運動ベクトルとして表示した (Fig. 3).

次にこれら6ベクトルの収束点を決定するため, 最小二乗法により, 各ベクトルの延長線上に降した垂線の長さの総和が最小となるような点を決定し, 収縮運動の中心点 (C) とした. また各対象において拡張終期と収縮終期の心内膜面をトレースし, それにより, それぞれの面積重心 Ged, Ges の位置を決定した<sup>20,21)</sup>. こうして得られた C, Ged, および Ges の三者相互の位置関係を定めるため, Ged を原点として, 探触子の方向を縦軸とする X-Y 直交座標系を設定した. また Ged を原点とし, Y 軸より反時計回転方向になす角を  $\theta$  ( $^{\circ}$ ), Ged からの距離を r (mm) とする極座標系も, 重ねて併用した (Fig. 4).

統計学的解析には, 一群間においては paired t test, 二群間においては unpaired t test を用い, 5% 以下の危険率をもって有意とした.

Table 1. Left ventricular dimensions of the two groups

Group	Control (n=10)	LV volume overload (n=8)	
Age (y.o.)	33.8±21.7	52.5±19.7	N.S.
Sex (male/female)	3/7	8/0	
End-diastolic diameter (mm)	44.3±5.8	63.0±3.3	p<0.001
End-systolic diameter (mm)	26.2±5.4	39.9±6.6	p<0.001
End-diastolic volume (ml)	91.1±28.1	201.8±23.8	p<0.001
End-systolic volume (ml)	26.7±14.3	71.4±24.5	p<0.001
LV ejection fraction (%)	72.1±6.3	65.1±9.9	N.S.

N.S. = not significant.

## 結 果

対象2群の左室容積指標を Table 1 に示す。コントロール群に比べ、左室容積負荷群では、拡張終期および収縮終期の左室内径と容積は、ともに明らかな増加を示した。しかし左室駆出率には両群間に有意な差を認めず、左室容積負荷群はその容積負荷に対して代償状態にあることが示された。

Fig. 5 にコントロール群の左室横断面において求められた3点、すなわち C, Ged, Ges 点の位置関係を示す。C は Ged に対して全例で第4象現、すなわち心室中隔方向にずれた位置にあり、Ged からの距離は  $7.7 \pm 2.2$  mm で、左室内半径の35%であり、ずれの方向  $\theta$  は  $43 \pm 18^\circ$  で、心室中隔のほぼ中央部方向 ( $\theta = 45 \pm 10^\circ$ ) を示していた (N.S.)。左室収縮に伴う重心の移動、すなわち、Ged に対する Ges の偏位も、すべて第4象現に位置しており、 $\theta = 50 \pm 21^\circ$  で、C の Ged に対する偏位の方向と同一であった (N.S.)。しかし、Ges と Ged との距離は  $2.3 \pm 0.6$  mm で、C の位置に比べ Ged に近い位置にあった ( $p < 0.001$ )。したがって、Ges を原点として C の位置をみても、C は Ges に対し、さらに心室中隔方向に偏位していた。

Fig. 6 に、左室容積負荷群における同様な C, Ged, Ges の関係を示す。この群における Ged に対する Ges のずれは正常群と同じく、 $\theta = 40 \pm$

$24^\circ$  で心室中隔方向 ( $\theta = 36 \pm 15^\circ$ ) にあり、かつその距離は  $2.4 \pm 0.6$  mm で、いずれもコントロール群との間に有意差を認めなかった。しかし C の位置には明らかな分布傾向がなく、Ged に対して第1および第3象現に位置するものもあり、 $\theta = 91 \pm 117^\circ$  と、大きな分散を示した。さらに C と Ged との距離は左室径の増大にもかかわらず  $5.0 \pm 1.7$  mm で、コントロール群に比べ小であり ( $p < 0.05$ )、Ged および Ges により近い位置にあることが示された。

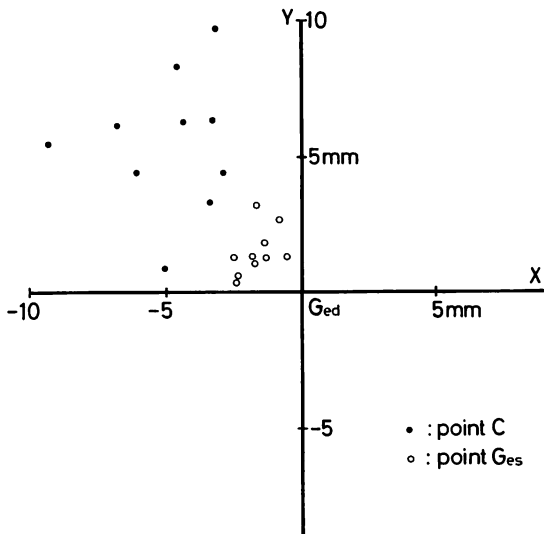
これらの関係を両群間で比較し、その差をより明らかとするため、Ges の Ged に対する、あるいは C の Ged に対する偏位の大きさを拡張終期半径で normalize し、Fig. 7 および Fig. 8 に示した。Fig. 7 は両群の Ged に対する Ges の分布を示すが、2群間の分布に差は認められなかった。Fig. 8 は両群の Ged に対する C の分布であるが、左室容積負荷群の C はコントロール群の C に比べ、明らかに中央の Ged 寄りに分布していた。

Table 2 に局所壁運動として定量したベクトルの大きさ、および C 点とベクトル方向とのずれ (なす角度) を示す。コントロール群での中隔領域のベクトルの大きさは、後下壁領域および前側壁領域のそれよりも小であった ( $p < 0.01$ )。それに対し、左室容積負荷群での3領域間のベクトルの大きさは比較的均一で、三つの領域間に差を認めなかった。求められた C 点とベクトルとのなす

**Table 2. Vector length and error angle in the three left ventricular segmental regions**

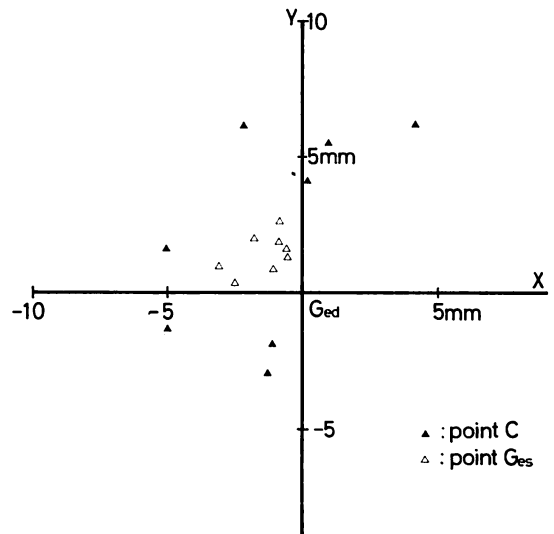
Segmental region	n	Control		LV volume overload		
		Vector length (mm)	Error angle (°)	n	Vector length (mm)	Error angle (°)
Septal	20	6.9 ± 1.2	11.7 ± 8.9	16	9.3 ± 2.0	7.9 ± 4.4
		p < 0.001	N.S.		N.S.	N.S.
Anterolateral	20	8.6 ± 2.0	9.6 ± 5.4	16	10.6 ± 2.1	7.6 ± 5.9
		p < 0.01	N.S.		N.S.	N.S.
		N.S.	N.S.		N.S.	N.S.
Inferoposterior	20	8.1 ± 1.9	9.6 ± 6.7	16	10.4 ± 2.1	5.8 ± 4.7
Total	60	7.8 ± 1.9	10.3 ± 7.1	48	10.1 ± 2.1	7.1 ± 5.0

An error angle is defined as an angle between the direction of a vector and the direction from its starting (end-diastolic) point to point C. In the control group, vector lengths of the septal region are shorter than those of the other regions. In contrast, vector lengths in the LVVO group are the same in all regions. As to error angles, there are no significant differences in all the three regions of the two groups.



**Fig. 5. Distribution of point C and Ges to Ged in the control group.**

Point C is defined as in Fig. 3. The left ventricular centers of gravity at end-diastole (Ged) and at end-systole (Ges) are determined by tracing endocardial margins. C is shown by a closed circle, and Ges by an open circle. When Ged is chosen as a reference point, both C and Ges are similarly deviated toward the interventricular septum, however, the distance from Ged to C is approximately three times longer than that to Ges.



**Fig. 6. Distribution of point C and Ges to Ged in the group of left ventricular volume overload.**

C is shown by a closed triangle, and Ges by an open triangle. The distribution of C to the reference point Ged is not so uniformly deviated in the direction of the interventricular septum in contrast to that of Ges.

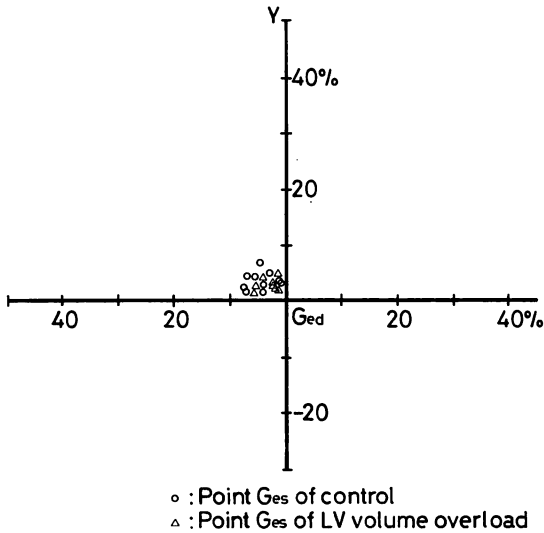


Fig. 7. Distribution of Ges to Ged in the two groups.

Comparing the distributions of point C, Ges and Ged in the two groups, the distances from Ged to C and Ges are normalized for the end-diastolic radius of the left ventricle. In spite of the difference in left ventricular size in the two groups, the distributions of Ges to Ged of these groups are same. The symbols are the same as in Figs. 5 and 6.

角はコントロール群で  $10 \pm 7^\circ$  と狭角であり、両群とも3領域間に差を認めなかった。

### 考 察

左室は複雑な形をした立体であり、かつ胸部内で位置移動と回転を伴いつつ、不均一な周期的収縮運動を行っている<sup>22-24</sup>。この左室の運動をそのまま把握することは容易でなく、造影法も断層心エコー図法も真の左室運動を過不足なく表現しているとはいえない。摘出心では断層心エコー図法により左室容積をきわめて正確に推測しえたと報告されているが<sup>25</sup>、生体内では、断層心エコー図法による左室容積値は造影法による予測値よりも約30%低値を示す<sup>26,27</sup>。したがって断層法により得られた左室運動に関する情報が常に正確無比であるとの保障はない。しかし、断層心エコー図法は造影法と異なり、多断面多方向からの観察が

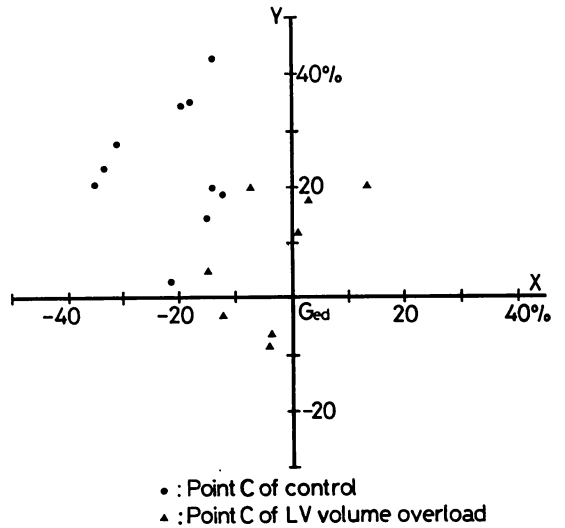


Fig. 8. Distribution of point C to Ged in the two groups.

The deviation of C to the reference point Ged is much smaller in the group of left ventricular volume overload than in the control group. The symbols are the same as in Figs. 5 and 6.

可能であるとか、局所の壁厚変化<sup>10,14,16</sup>やエコー輝度で表現される壁の性状の推測が可能である<sup>28,29</sup>など、情報の多様性を有している。さらには後述するごとく、心周期を通じて左室内に一定の関心点を同定することが可能なため<sup>18</sup>、左室の位置移動や回転等も考慮して、左室運動を評価しようと思われる。断層心エコー図法上の左室局所の解剖学的指標をもって、左室収縮に伴う位置変化や回転を評価しようとした試みはいくつかある<sup>30,31</sup>。しかし、左室内心膜面上の任意の点を壁運動の解析にあてた試みはこれまででない。動物実験に基づく我々の経験では、本報告で用いたエコー断面における輝度の高い心内膜上の点は、解剖学的な局所と一致した運動を示した<sup>32</sup>。また臨床例における検討では、それらの点は虚血による壁運動異常を良く表現している<sup>18</sup>。したがって我々のこの局所マーカーは、壁動態の評価に十分役立つものと思われる。

一方、左室局所運動の表現には、心外指標によ

る固定極座標系がより適当であることが明らかにされているが<sup>33-35)</sup>, 極座標系における心内基準点決定が困難なため, 結局, 左室局所壁運動の不均一性は無視され, 左室の面積重心や radial grid の交点などを座標の中心におき, 局所運動の定量化が行われている<sup>21,25)</sup>. しかし, これでは定量化に際して誤差が生じる可能性がある<sup>36)</sup>. この問題は今後も適当な極座標系の心内基準点を決定することで解決されると考えられる. 今回我々は心内膜面上の局所マーカ―を利用し, 局所収縮運動を定量することによって, 固定極座標系における基準点を決定し, その性格を指摘した.

本研究では, 左室短軸横断面での左室収縮運動の収束点は, 面積重心よりも心室中隔方向に偏位した位置にあり, 両者は明らかに異なる点にあった. このように収縮の中心点が心室中隔寄りに位置している理由は, 心室中隔の左室収縮運動に寄与する程度と, 他の部分のそれとに差異があるためと考えられる<sup>37,38)</sup>. 実際, 心室中隔が左室収縮によりいっそう関与していると考えられる左室容積負荷群では, この収縮の中心点が正常群よりも面積重心により近く位置している. これらのことより, 本研究における収縮の中心点は, 左室収縮運動の不均一性をよく反映していると判断される. 他方, 心外指標による固定座標系を用いれば, 局所の運動は心臓全体の位置移動および回転の要素を含まざるを得ない. とくに収縮期における左室の前胸壁方向への位置移動が, 収縮の中心点を心室中隔方向へ偏位させる可能性がある. 実際, この左室の位置移動を反映していると考えられる面積重心の収縮期の移動方向も, 同様に心室中隔方向である. しかしながら, ベクトルのこの重心の収縮期の移動の大きさを差し引いても, さらに収縮の中心点は心室中隔方向にあることが分る. また, 左室容積負荷群での重心移動の大きさは正常群のそれと差がないにもかかわらず, 収縮中心の分布は正常群と異なっていた. 以上のことは, 収縮の中心を位置づける主たる規定要因が, 左室収縮運動の不均一性にあることを示しており, こ

の点は面積重心とはまったく異なった性格を有すると考えられる. 我々が求めた収縮中心に対し, ベクトルのなす角は正常群で  $10 \pm 7^\circ$  と小さく, ベクトルの所属領域による差もなく, 局所運動の定量化に対して良い指標と考えられた. それに対し, 面積重心を指標とすると, 領域によっては相当量の誤差を生じる可能性があり, 臨床評価上, 問題を生じる場合があると思われる.

我々の今回の試みには限界がある. 本報告では乳頭筋レベル短軸像という一つの断層面のみで観察を行い, 他の断面での考察を行っていない. したがって真の収縮の中心点の空間的位置が定められているとはいえない. 以前我々は左室長軸断面の局所ベクトル解析にさいして, Ingels らの提唱した 69% ポイントが良い心内指標となることを示した<sup>18,39)</sup>. すなわち長軸断面でみた場合の収縮の中心点は, この 69% ポイントと大きな差異のない領域にあると考える. この 69% ポイントは, 我々の用いた乳頭筋レベルよりやや心尖寄りに位置しているが, その短軸断面上に投影された位置は, 前壁中隔寄りにあり, 我々の今回の結論と矛盾しないと考えられる.

## 要 約

左室局所壁運動の定量化に対し, 心外固定指標による極座標系表示が優れているとされている. しかし左室腔内に求められるべき極座標系の基準点は左室腔の中央に位置するという理由から, 面積重心や放射グリッドの交点などが用いられているもののその是非については評価がなされていない. 我々は断層心エコー図で観察される心内膜面上の輝度の高い点が左室局所壁運動を表していることを応用し, その運動の定量化を行い, それより左室収縮運動の収束点 (C) を算出した. また, これを従来の基準点の一つである面積重心と比較し, 極座標系の基準について考察した.

健常者 10 例 (正常群) と大動脈弁閉鎖不全症 8 例 (左室容積負荷群) を対象とし, 乳頭筋レベルでの左室短軸断層図を記録した. ついでモーション



アナライザーを用いて画像を再生し、心内膜面にある、あらかじめ指定された6個の輝度の高い点の位置を、1画面ごとに決定した。これらの点の収縮期運動を二次元運動ベクトルとして定量化し、それら6ベクトルの収束点を最小二乗法により決定してCとした。また心内膜面のトレースにより、拡張終期および収縮終期の面積重心(GedとGes)を決定した。

正常群では、Cは、Gedを基準として、心室中隔中央方向に内半径の35%偏位した位置にあった。またGesはGedより同様に心室中隔方向に半径の11%偏位しており、面積重心の収縮運動に伴うずれを示した。左室容積負荷群における面積重心のずれは、正常群と同様であった。しかし、Cの偏位はGedを基準として半径の16%であり、そのずれの大きさは正常群に比して小であった。またCを基準点とすれば、正常群では運動ベクトルを小さなずれ角度( $10 \pm 7^\circ$ )でもって、領域の別なく定量化することができた。

C点は局所壁運動の定量化に適した点であり、従来の基準点よりも、より正確な情報を提供すると判断された。

#### 文 献

- 1) Tennaut R, Wiggers C: The effect of coronary occlusion on myocardial contraction. *Am J Physiol* **112**: 351-361, 1935
- 2) Weyman AE, Peskoe SM, Williams ES, Dillon JC, Feigenbaum H: Detection of left ventricular aneurysms by cross-sectional echocardiography. *Circulation* **54**: 936-944, 1976
- 3) 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): III-72, 1977 (abstr)
- 4) Wynne J, Birnholz J, Finberg H, Alpert J: Regional left ventricular wall motion in acute myocardial infarction assessed by two-dimensional echocardiography. *Circulation* **56** (Suppl III): III-152, 1977 (abstr)
- 5) 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**: 134-141, 1977
- 6) Heng MK, Lang TW, Toshimitsu T, Meerbaum S, Wyatt HL, Lee SS, Davidson R, Corday E: Quantification of myocardial ischemic damage by two-dimensional echocardiography. *Circulation* **56** (Suppl III): III-125, 1977 (abstr)
- 7) Hegger JJ, Weyman AE, Noble RJ, Dillon JC, Feigenbaum H: Analysis of the site, extent, and hemodynamic consequences of acute myocardial infarction by cross-sectional echocardiography. *Circulation* **56** (Suppl III): III-152, 1977 (abstr)
- 8) 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
- 9) Meltzer RS, Woythaler JN, Buda AJ, Griffin JC, Harrison WD, Martin RP, Harrison DC, Popp RL: Two-dimensional echocardiographic quantification of infarct size alteration by pharmacological agents. *Am J Cardiol* **44**: 257-262, 1979
- 10) Pandian N, Koyanagi S, Eastham C, Skorton D, Marcus M, Kerber R: Relationships between two-dimensional echocardiographic wall thickening abnormalities, infarct size and coronary risk area in dogs. *Circulation* **62**: (Suppl III): III-186, 1980 (abstr)
- 11) Nixon JV, Narahara KA, Smitherman TC: Estimation of myocardial involvement in patients with acute myocardial infarction by two-dimensional echocardiography. *Circulation* **62**: 1248-1255, 1980
- 12) Wyatt 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**: 607-614, 1981
- 13) Weiss JL, Bulkley BH, Huchins GM, Mason SJ: Two-dimensional echocardiographic recognition of myocardial injury in man: Comparison with postmortem studies. *Circulation* **63**: 401-408, 1981
- 14) Lieberman AL, Weiss JL, Jugdutt BI, Becker LC, Bulkley BH, Garrison JG, Huchins 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
- 15) Parisi AF, Moynihan PF, Folland ED, Feldman CL: Quantitative detection of left ventricular contraction abnormalities by two-dimensional

- echocardiography: II. Accuracy in coronary artery disease. *Circulation* **63**: 761-767, 1981
- 16) Henschke CI, Risser TA, Sandor T, Hanlon WB, Neumann A, Wynne J: Quantitative computer-assisted analysis of left ventricular wall thickening and motion by two-dimensional echocardiography in acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* **52**: 960-964, 1983
  - 17) Falsetti HL, Marcus ML, Kerber RE, Skorton DJ: Quantification of myocardial ischemia and infarction by left ventricular imaging. *Circulation* **63**: 747-751, 1981 (Editorial)
  - 18) Kihara Y, Osakada G, Nakamura M, Fujisawa A, Hashimoto T, Sasayama S, Kawai C: New approach for quantitating left ventricular regional wall motion in ischemic heart disease: Motion vector analysis of endocardial surface in two-dimensional echocardiography. *J Cardiology* **13**: 233-241, 1983 (in Japanese)
  - 19) 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
  - 20) Fujita M, Sasayama S, Kawai C, Eiho S, Kuwahara M: Automatic processing of cineventriculograms for analysis of regional myocardial function. *Circulation* **63**: 1065-1074, 1981
  - 21) 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 Cardiology* **11**: 901-909, 1981 (in Japanese)
  - 22) McDonald IG: The shape and movements of human left ventricle during systole. *Am J Cardiol* **26**: 221-230, 1970
  - 23) Daughters GT, Ingels NB, Jang JC, Alderman EL, Stinson EB: Left ventricular long axis rotation assessed by cinefluoroscopy of implanted myocardial markers. *Fed Proc* **36**: 447, 1977
  - 24) Walley K, 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
  - 25) Eaton LW, Maugham L, Shoukas AA, Weiss JL: Accurate volume determination in the isolated ejecting canine left ventricle by two-dimensional echocardiography. *Circulation* **60**: 320-326, 1979
  - 26) Schiller NB, Acquatella H, Ports TA, Drew D, George J, Ringertz H, Silverman NH, Brundage B, Botvinick EH, Boswell R, Carlsson E, Parmley W: Left ventricular volume from paired biplane two-dimensional echocardiography. *Circulation* **60**: 547-555, 1979
  - 27) Starling MR, Crawford MH, Sorensen SG, Levi B, Richards KL, O'Rourke RA: Comparative accuracy of apical biplane cross-sectional echocardiography and gated equilibrium radionuclide angiography for estimating left ventricular size and performance. *Circulation* **63**: 1075-1084, 1981
  - 28) Adams DF, Hessel SJ, Judy PF, Stein JA, Abrams HL: Differing attenuation coefficients of normal and infarcted myocardium. *Science* **192**: 467-469, 1976
  - 29) Skorton DJ, Melton HE, Pandian NG, Nichols J, Koyanagi S, Marcus ML, Collins SM, Kerber RE: Detection of acute myocardial infarction in closed-chest dogs by analysis of regional two-dimensional echocardiographic gray-level distributions. *Circulat Res* **52**: 36-44, 1983
  - 30) Mirro MJ, Rogers EW, Weyman AE, Feigenbaum H: Angular displacement of the papillary muscles during the cardiac cycle. *Circulation* **60**: 327-333, 1979
  - 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) Kihara Y, Osakada G, Ohyagi A, Tomioka N, Kannagi T, Hashimoto T, Sasayama S, Kawai C: A new approach for quantitating left ventricular regional wall motion by two-dimensional echocardiography: Experimental evaluation of endocardial motion with implanted markers in the dog. *JSUM Proceedings*: 187-188, 1983 (in Japanese)
  - 33) Chaitman BR, Bristow JD, Rahimtoola SH: Left ventricular wall motion assessed by using fixed external reference systems. *Circulation* **48**: 1043-1054, 1973
  - 34) 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**: 966-972, 1980
  - 35) 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
  - 36) Fujii J, Sawada J, Kuboki M, Aizawa T, Ono A, Okabe A, Ogasawara N, Kato K, Onoe M, Kuno Y: Qualitative and quantitative evaluation of LV asynergy in ischemic heart disease by echocardiography. *Jpn J Ultrasonics* **10**: 41-48,

- 1981 (in Japanese)
- 37) Sasayama S, Nakamura M, Takahashi M, Osakada G, Shimada T, Nishimura E, Kawai C: Influence of acute mechanical overload on dimension and dynamics of interventricular septal thickness in dogs. *Am J Cardiol* **48**: 93-100, 1981
- 38) Brinker JA, Weiss JL, Lappe DL, Rabson JL, Summer WR, Permutt S, Weisfeldt ML: Leftward septal displacement during right ventricular loading in man. *Circulation* **61**: 626-632, 1980
- 39) Ingels NB, Mead CW, Daughters GT, Stinson EB, Alderman EL: A new method for assessment of left ventricular wall motion. *Comput Cardiol IEEE*: 57-61, 1978