

位相解析による左室局所壁
運動の定量的評価

Quantitative evaluation
of regional wall motion
abnormality by phase
analysis using RI multi-
gated method

| | |
|---------|---------------------|
| 南川 博司 | Hiroshi MINAMIKAWA |
| 生野 善康 | Yoshiyasu IKUNO |
| 秋岡 要 | Kaname AKIOKA |
| 寺柿 政和 | Masakazu TERAGAKI |
| 安田 光隆 | Mitsutaka YASUDA |
| 小松 裕司 | Hiroshi KOMATSU |
| 井上 英二 | Eiji INOUE |
| 木積 一憲 | Kazunori KOTSUMI |
| 吉村 隆喜 | Takayoshi YOSHIMURA |
| 奥 久雄 | Hisao OKU |
| 竹内 一秀 | Kazuhide TAKEUCHI |
| 田中忠治郎 | Chujiro TANAKA |
| 越智 宏暢* | Hironobu OCHI* |
| 西本 正紀** | Masaki NISHIMOTO** |
| 古川宏太郎** | Kotaro FURUKAWA** |

Summary

Phase analysis was applied to 90 multigated blood pool studies in 10 normal cases, 35 cases with myocardial infarction (MI) including 2 cases with subendocardial infarction, 4 cases with dilated cardiomyopathy (DCM), and 41 cases with other various conditions including angina pectoris, hypertensive heart disease, hypertrophic cardiomyopathy, and others. To evaluate an ununiformity of left ventricular contraction (asynchrony), one standard deviation (1SD) was calculated from a histogram of left ventricular phase distribution in each case.

大阪市立大学医学部 第一内科

* 同 RI 研究室

大阪市阿倍野区旭町 1-5-7 (〒545)

**和泉市立病院 内科

和泉市府中町 780 (〒594)

The First Department of Internal Medicine, and

*The Division of Nuclear Medicine, Osaka City University Medical School, Asahimachi 1-5-7, Abenoku, Osaka 545

**Internal Medicine, Izumi Municipal Hospital, Fuchu-cho 780, Izumi 594

Presented at the 24th Meeting of the Cardiography Society held in Tokyo, March 23-24, 1982

Received for publication April 26, 1982

A significant difference of the 1SD was seen among each group. The 1SD was $5.1 \pm 1.4^\circ$ in normals, $24.1 \pm 14.8^\circ$ in MI, 24.7 ± 21.6 in DCM and $7.1 \pm 2.0^\circ$ in others. The 1SD in normal cases was less than 10° . In cases with transmural MI the 1SD was more than 10° except one case.

A significant correlation was found between the 1SD and the left ventricular ejection fraction ($r = -0.79$).

In 38 cases, the 1SD was compared with contrast ventriculographic findings. The more accentuated the wall motion abnormality, the larger the 1SD. Therefore, the 1SD was a good parameter of left ventricular function as well as asynchrony. In 28 of the 38 cases, we also attempted to evaluate regional wall motion abnormality. The phase difference of the region showing a phase shift in the left ventricle from the right atrium was calculated and compared with contrast ventriculographic findings in the LAO view. The phase delays were $167.4 \pm 10.9^\circ$ in normal region, $198.5 \pm 21.4^\circ$ in hypokinetic region and $276.9 \pm 34.4^\circ$ in akinetic region, indicating larger delay in the region with severely abnormal wall motion.

We conclude that Fourier analysis is a useful non-invasive method to evaluate regional wall motion abnormality (asynergy and asynchrony) quantitatively.

Key words

Phase analysis
Asynchrony

Phase histogram

Multigated blood pool study

Regional wall motion abnormality

はじめに

Adam ら¹⁾による位相解析 (phase analysis) は、本邦では越智ら²⁾の報告以来、外山ら³⁾、玉木ら⁴⁾と数多く報告されるようになった⁵⁾。この位相解析は、左室壁運動の空間的異常のみならず、時間的異常についても評価し得る方法と考えられ、今回、左室内の位相分布ヒストグラムを作成し、各種心疾患につき左室壁収縮の時間的不均一性の定量化を試みたので報告する。

対象と方法

対象は心内膜下梗塞2例を含む心筋梗塞35例、拡張型心筋症4例、正常10例、およびその他の心疾患41例の計90例である。正常例は、自覚症状より心疾患を疑われ、精査の結果、異常を認めなかった例である。また、その他の心疾患には、狭心症例、高血圧性心疾患例、肥大型心筋症例が含まれている。

使用した装置は、シンチカメラ (Ohio Nuclear Σ 410S) に汎用コリメーターを装着し、オンラインで接続したデータ処理装置 (Informatek Simis 3) である。

Tc-99 m ヒト血清アルブミン 20 mCi, または Tc-99 m in vivo 標識赤血球 20 mCi を静注後、平衡状態で心室中隔が明瞭に分離できる左前斜方向 (LAO) より、マルチゲート法によるデータ収集を行った。データ収集は、磁気ディスクに心電図の R 波をトリガーとして、R-R 間隔を 16 等分し、 64×64 matrix にて、 4×10^5 count/frame, 500~600 心拍を加算することにより行った。このデータを time space filter にかけるスムージングを行い、次に Fourier filter にて解析し、その一次高調波成分より各 matrix の振幅 (amplitude) と位相 (phase) を求め、振幅像 (amplitude image) と位相像 (phase image) を作成した。次に各 matrix ごとに、位相値に直流成分を乗じ、左室関心領域 (ROI) の位相分布ヒストグラムを作成した。このさい R-R 間隔を $0 \sim 360^\circ$ とし、その間を 120 等分し、最大値を 100% のスケールにあわせて表示した。これより平均値 (mean) と標準偏差 (1SD) を求め、1SD を左室壁収縮の時間的不均一性の指標とした (Fig. 1)。

また 90 例中ほぼ同時期に左室造影を施行した 38 例につき、その造影所見とおおの 1SD とを対比検討した。造影所見は、右前斜方向 (RAO)

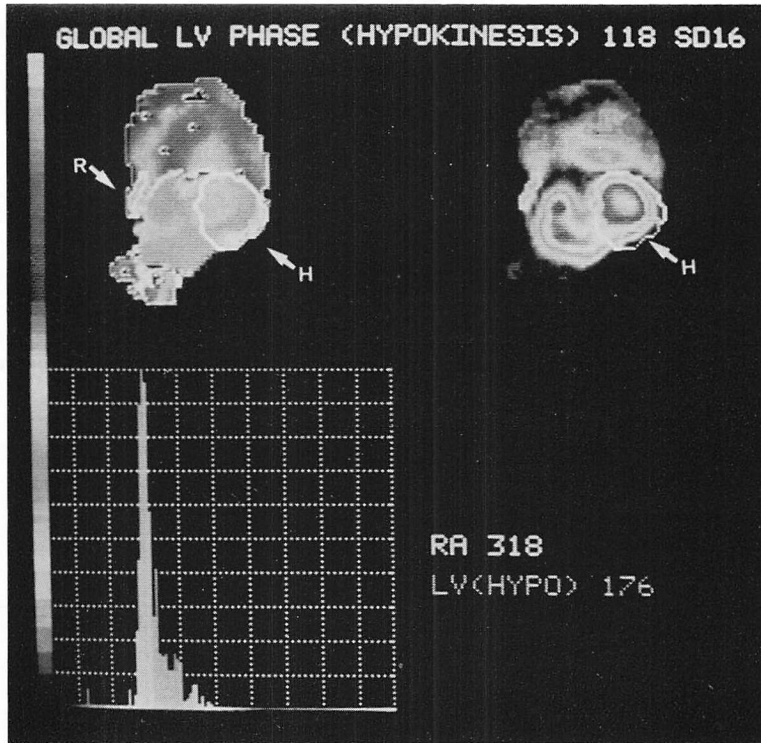


Fig. 1. Amplitude image (upper right), phase image (upper left), and histogram of the ventricular phase distribution in a patient with regional wall motion abnormality (lower left).

One standard deviation (1SD) is calculated from the histogram and used as a parameter of temporal ununiformity of left ventricular contraction (asynchrony). The process of evaluation of regional wall motion abnormality is as follows: Firstly, the operator outlines right atrium ($\rightarrow R$), guided by four images. They are amplitude image, phase image, end-systolic image and end-diastolic image. Secondly, the operator outlines the region with phase shift ($\rightarrow H$). Thirdly, the mean phase value of the region from that of right atrium is calculated. And then, it is compared with the contrast ventriculographic finding.

あるいは LAO より認められた所見より、正常壁運動群、hypokinesis 群、akinesis 群、dyskinesis 群に分類し、複数の所見を有する例では、より壁運動の重篤な群とした。

さらに左室造影 (LAO) とほぼ同時期、同方向にて phase analysis を行った 28 例につき、造影所見と、phase image で異常を示す部位の、右房を基準とした位相の平均値とを対比検討した。造影所見は、拡張末期像と収縮末期像をトレースし軸補正を行わずに、重ね合わせて判定した。右房の ROI は、amplitude image, phase image,

end-diastolic image, と end-systolic image を参考に設定した (Fig. 1 矢印 R)。

統計処理には t 検定を用い、危険率 5% 以下を有意とした。

結 果

Fig. 2 は、左室造影所見により判定した正常例、hypokinesis を有する例、および akinesis を有する例の、左室内位相分布ヒストグラムと平均値および 1SD を示したものである。壁運動異常が高度になるに従い、1SD は大となった。

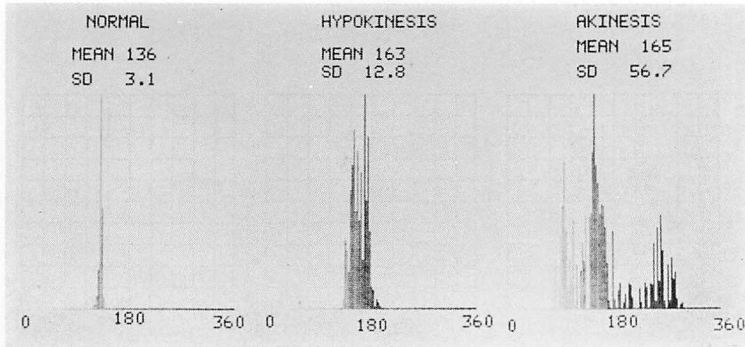


Fig. 2. The histogram of normal case and cases showing asynergy in contrast ventriculography.

The more accentuated the wall motion abnormality, the larger the 1SD.

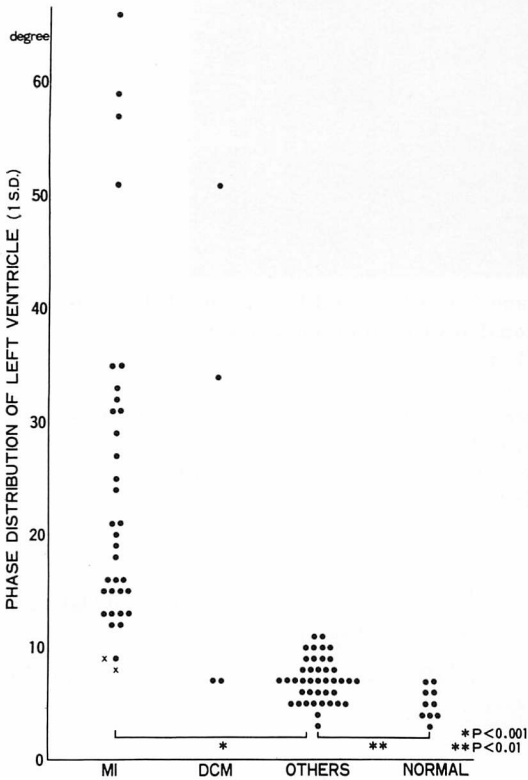


Fig. 3. Comparison of phase distribution of left ventricle in various cardiac diseases.

1SD in normal cases is less than 10 degrees.

MI=myocardial infarction; DCM=dilated cardiomyopathy; OTHERS=other cardiac diseases including hypertensive heart disease, angina pectoris, and hypertrophic cardiomyopathy.

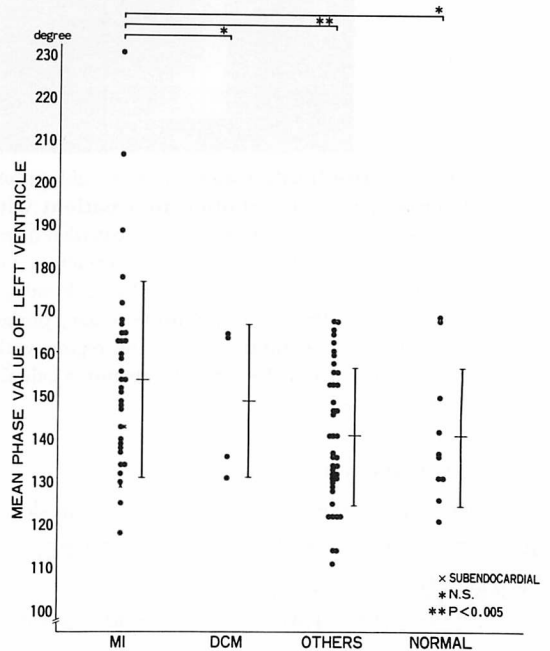


Fig. 4. Comparison of mean phase value of left ventricle in various cardiac diseases.

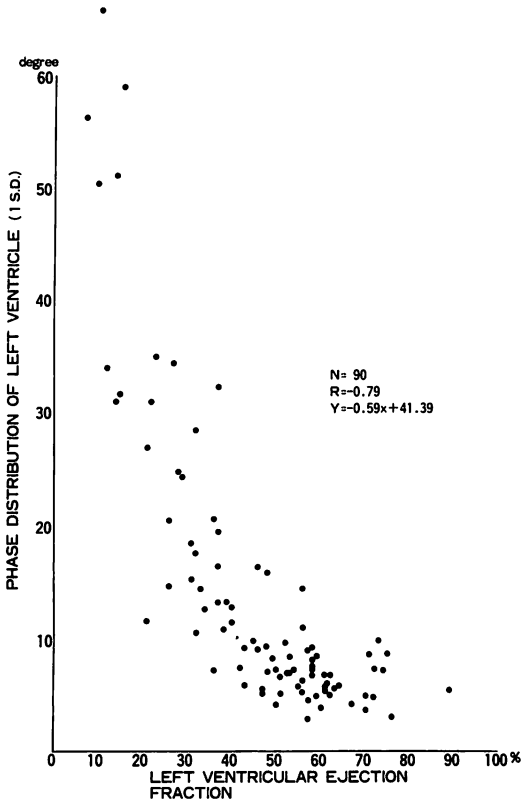


Fig. 5. Correlation between left ventricular ejection fraction and phase distribution of left ventricle.

A significant correlation was found between left ventricular ejection fraction obtained from ECG gated cardiac study and standard deviation (1SD) of the left ventricle ($r = -0.79$).

Fig. 3 は、心筋梗塞群、拡張型心筋症群、その他の心疾患群および正常群の 1SD である。

心筋梗塞群 35 例では $24.1 \pm 14.8^\circ$ 、その他の心疾患群 41 例では $7.1 \pm 2.0^\circ$ 、正常群 10 例では $5.1 \pm 1.4^\circ$ と各群間に有意差を認めた。正常群全例の 1SD は 10° 以下であったが、心筋梗塞群 35 例中 32 例は 10° 以上であり、残る 3 例は 10° 以下であった。

このうち 2 例は心内膜下梗塞群であり、1 例は狭い領域の後壁梗塞例であった。拡張型心筋症は 2 例が 10° 以上であり、この例は左室駆出率の低

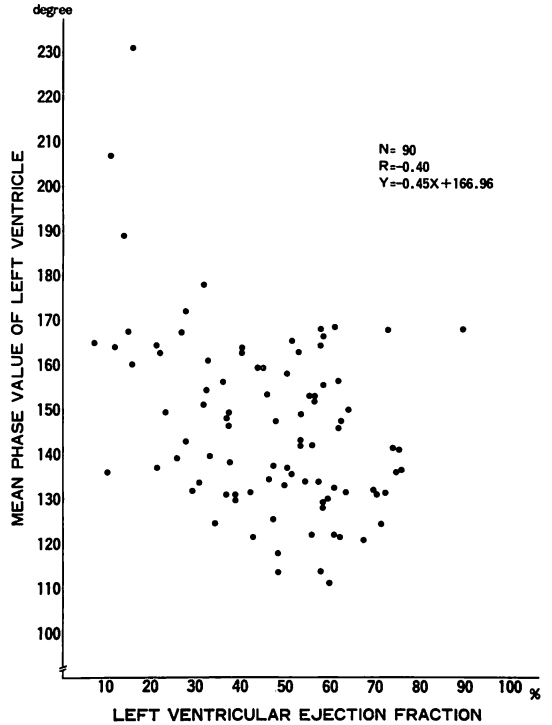


Fig. 6. Correlation between left ventricular ejection fraction and mean phase value of the left ventricle.

下が著明であり、Thallium-201 心筋シンチグラムにて perfusion defect を認めた。

また、その他の心疾患群 41 例中、1SD が 10° 以上を示す例が 5 例あり、2 例は狭心症例、他の 3 例は肥大型心筋症例ないし高血圧性心疾患で、心筋肥大の著明な症例であった。しかし、Fig. 4 に示すように、左室の位相の平均値で検討した場合、心筋梗塞群とその他の心疾患群で差異を認められたものの、各群間の重なりは大であった。

左室ポンプ機能の指標である左室駆出率と、左室収縮の時間的不均一性の指標である 1SD との相関は、 $r = -0.79$ と良好な負の相関を認め、左室収縮の時間的不均一性の程度が高度となるほど、左室ポンプ機能が低下することが示唆された (Fig. 5)。

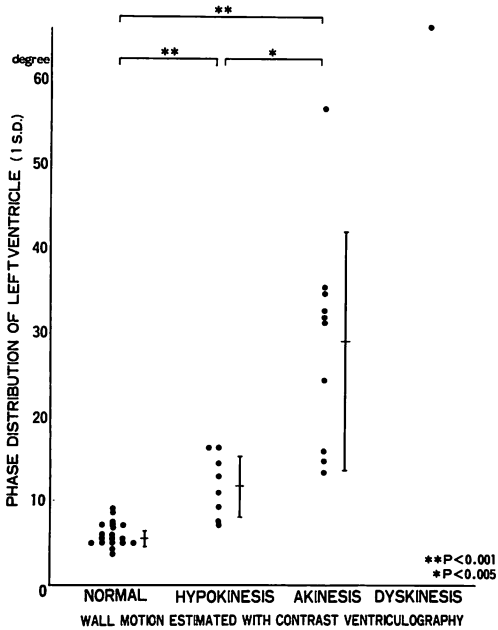


Fig. 7. Phase distribution of the left ventricle in normal cases and cases with asynergy.

The more accentuated the wall motion abnormality, the larger the 1SD.

しかし、左室駆出率と左室位相の平均値との間には、良い相関を認めなかった (Fig. 6).

Fig. 7 は、左室造影所見とそれぞれの症例の 1SD との関係を見たものである。正常壁運動群 19 例は $5.9 \pm 1.5^\circ$ 、hypokinesis 群 8 例は $11.8 \pm 3.8^\circ$ 、akinesis 群 10 例は $29.1 \pm 13.0^\circ$ と各群間に有意差を認め、より重篤な壁運動異常を呈する症例ほど、左室収縮の時間的不均一性が著明となった。一方、左室造影所見と左室位相の平均値とを対比検討したが、各群間に有意差を認めなかった (Fig. 8).

Fig. 9 は、正常収縮を示す 45 例における、心拍数と位相の平均値との関係である。 $r=0.76$ と正の相関を認めた。

左前斜方向からの左室局所壁運動異常の検討については、さきに症例を呈示する。

Fig. 10 は、正常例である。左室造影 (左上は

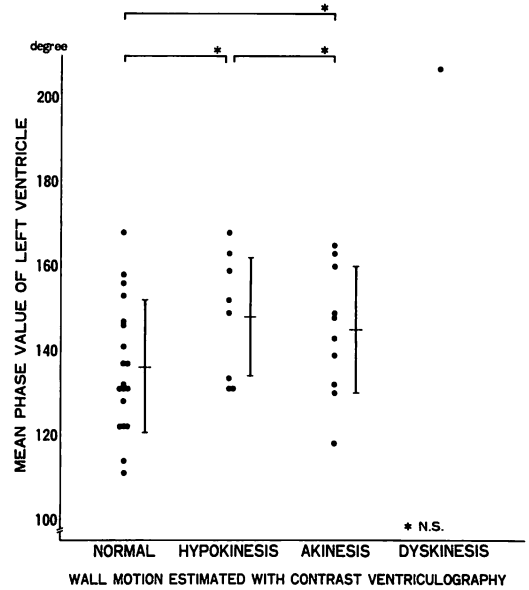


Fig. 8. Mean phase value of the left ventricle in normal cases and cases with asynergy.

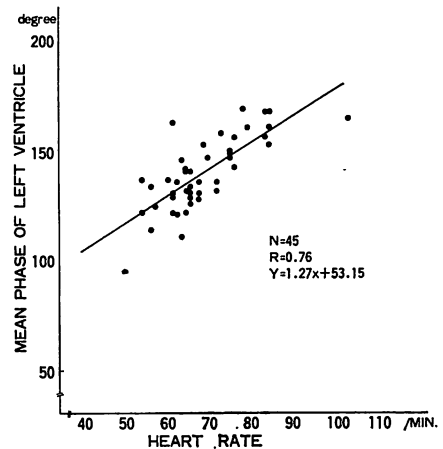


Fig. 9. Correlation between heart rate and mean phase value of the left ventricle.

A significant correlation was found between heart rate and mean phase value of left ventricle ($r=0.76$).

拡張末期像、右上は収縮末期像)にて異常を認めず、phase image (右下)でも左室の色調は均一で異常を認めない。

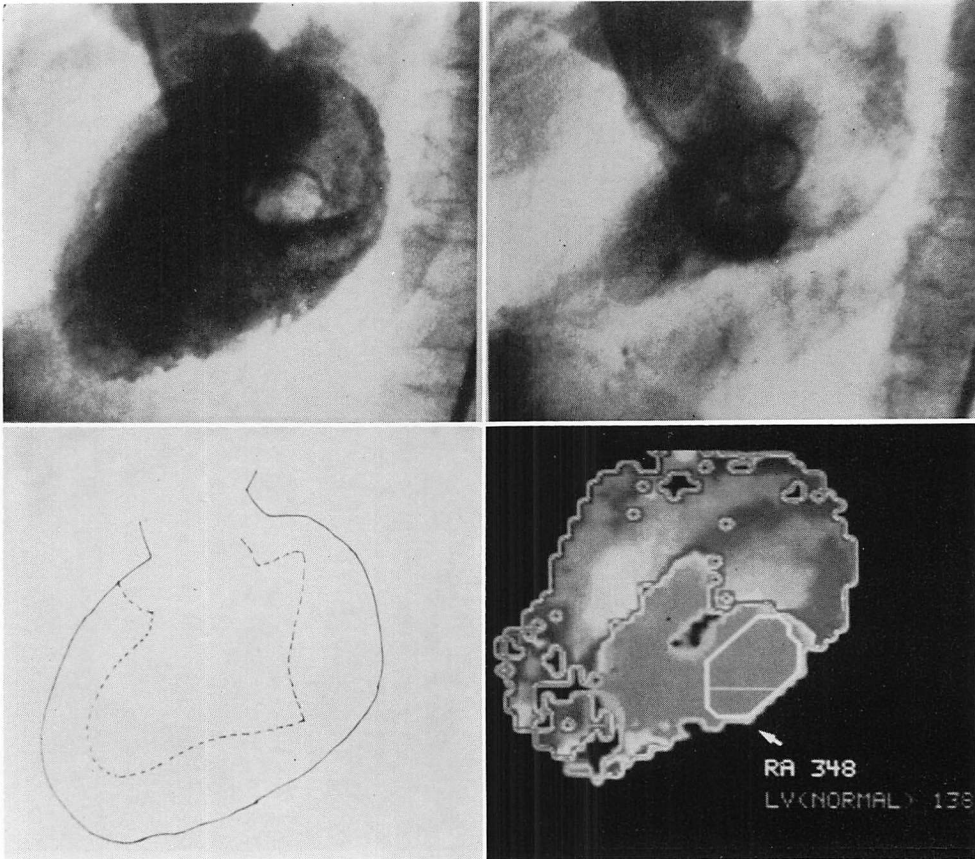


Fig. 10. Left ventriculograms and phase image in a patient with normal contraction.
 Upper: Left ventriculogram of LAO view during diastole (left) and systole (right). Lower left: Schematic drawing of left ventriculogram. Lower right: Phase image.

The left ventriculogram and the schematic drawing show normal contraction. In phase image, no phase shift is observed (→).

右房を基準とした、正常と思われる部(矢印)の位相値の平均値は 150° であった。

Fig. 11 は、hypokinesis 例である。左室造影にて AHA 分類の segment 7 の下部の hypokinesis を認め、phase image にても同部の phase の shift を認めた(矢印)。右房を基準とした同部の位相値の平均値は 218° であった。

Fig. 12 は、akinesis 例である。左室造影にて segment 7 の akinesis を認め、phase image にても同部の phase の shift を認めた(矢印)。右

房を基準とした同部の位相値の平均値は、 278° であった。

Fig. 13 は、前述のごとく求めた 28 例 49 region についての、左室造影所見とそれぞれの平均値を対比したものであり、正常収縮 34 region は $167.4 \pm 10.9^\circ$ 、hypokinesis 11 region は $198.5 \pm 21.4^\circ$ 、akinesis 4 region は $276.9 \pm 34.4^\circ$ と各群間に有意差を認め、壁運動異常の程度が強くなるほど、収縮の遅延が大きくなった。

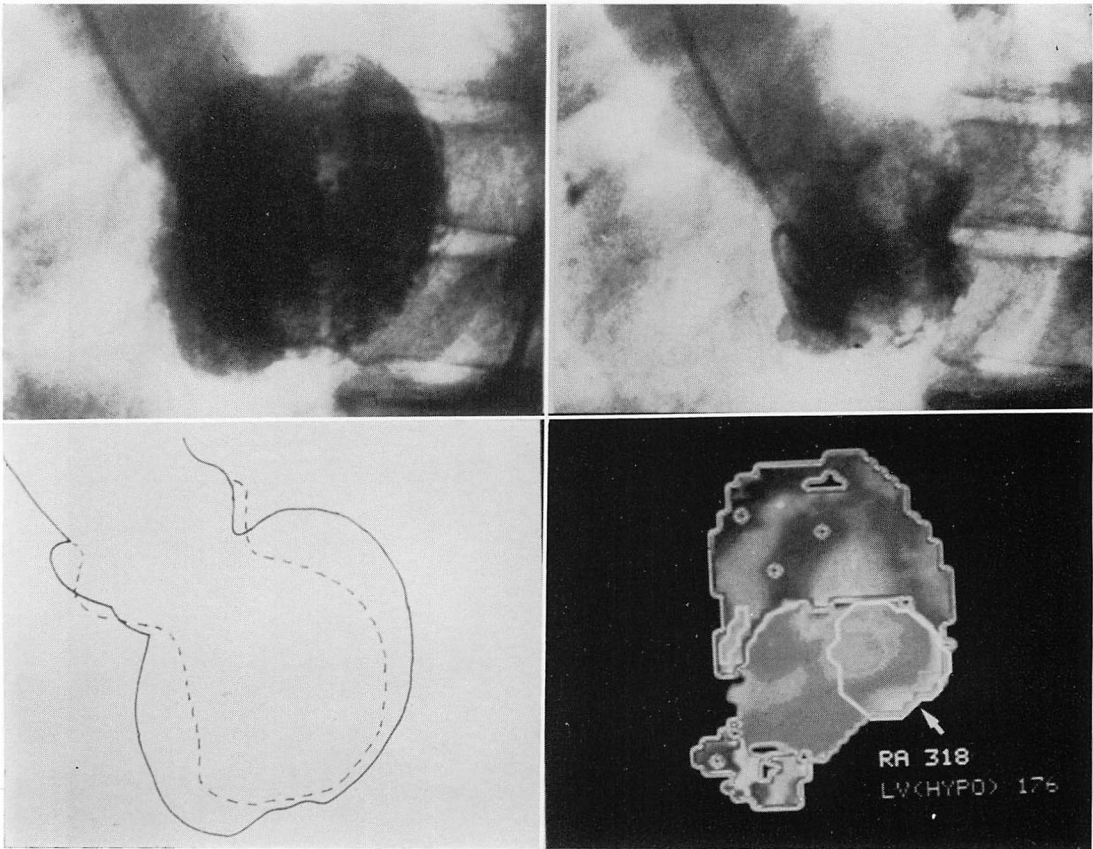


Fig. 11. Left ventriculograms and phase image in a patient with hypokinesis.

Upper: Left ventriculogram of LAO during diastole (left) and systole (right). Lower left: Schematic drawing of ventriculogram. Lower right: Phase image.

The left ventriculogram and the schematic drawing show posterolateral hypokinesis. In the same region of the phase image, phase shift is observed (→).

考 案

RI ventriculography は、心筋収縮による心室容量変化 (time activity curve) をカウントの変化として捉えることにより、壁運動を解析する方法である。局所壁運動の解析には、従来より局所駆出率や isocounter 法があるが、これらは壁運動の空間的異常 (asynergy) を評価するのみであった。しかし、phase analysis により得られる amplitude と phase を用いることにより、壁運動の空

間的異常のみならず、時間的な異常についても評価できると考えられる。この臨床応用としては、伝導障害例やペースメーカー例の心室収縮動態^{6,7)}や、isocounter 法では困難な上部中隔の壁運動評価⁸⁾などがある。

今回、心室収縮の時間的不均一性を定量評価するため、左室 ROI 内の位相分布ヒストグラムを作成し、その 1SD を収縮の時間的不均一性の指標、また平均値を左室収縮の遅れの指標とし検討した。

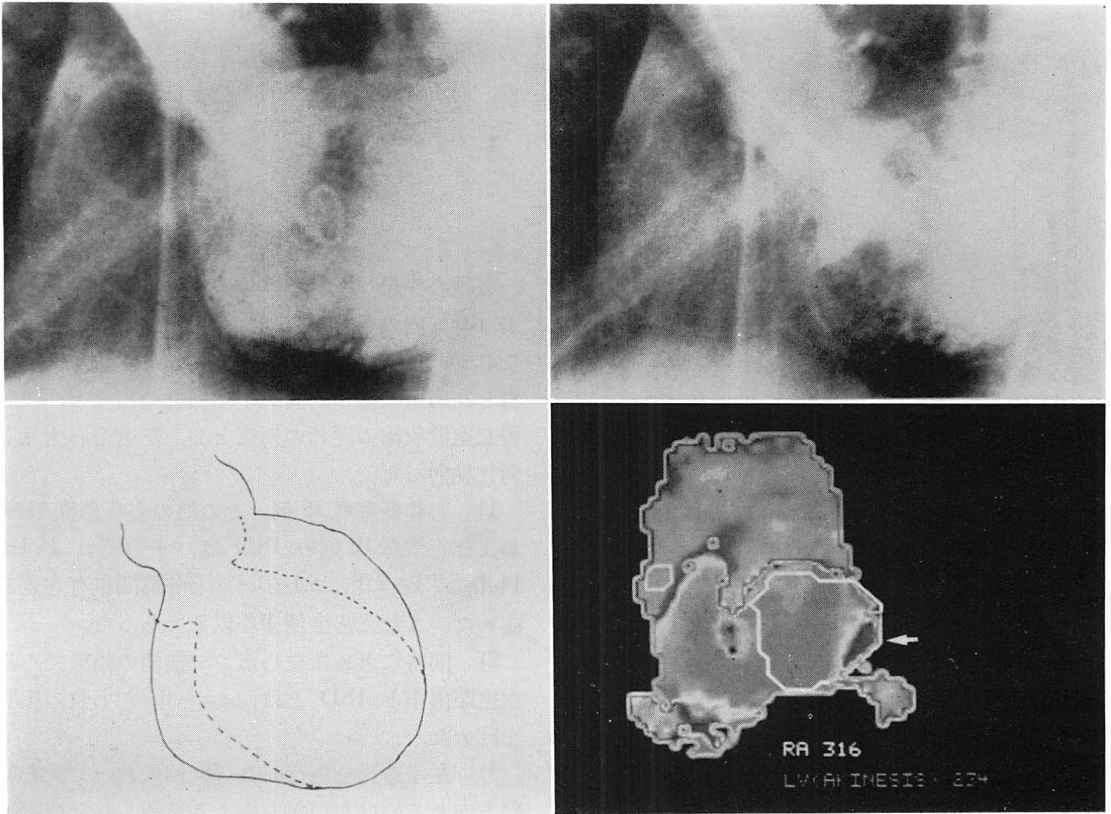


Fig. 12. Left ventriculograms and phase image in a patient with akinesis.

Upper: Left ventriculogram of LAO during diastole (left) and systole (right). Lower left: Schematic drawing of left ventriculogram. Lower right: Phase image.

The left ventriculogram and the schematic drawing show posterolateral akinesis. In the same region of the phase image, phase shift is observed (→).

1SD は正常例全例で 10° 以下であったが、異常壁運動を認めた心筋梗塞 33 例中、32 例は 10° 以上であり、両者間に有意差を認め ($p < 0.001$)、異常壁運動を示す心筋梗塞では、壁運動の時間的不均一性の存在が示唆された。残る 1 例は後壁梗塞例で、その梗塞範囲は非常に狭く、心機能の低下は軽度であった。

左室ポンプ機能の指標である左室駆出率と左室収縮の時間的不均一性の指標である 1SD との良好な負相関は、左室収縮の時間的不均一性の増大が、左室ポンプ機能を低下させることを示唆するものと思われる。Swan ら⁹⁾も左室の asynergy が

左室機能に影響を与えると指摘している。また、従来より収縮の低下としてのみとらえていた hypokinesis 例においても 1SD が 10° 以上を示す例があり、収縮の時間的不均一性が存在することが示唆され、狭心症例においても同様の例があり、これは Slutsky ら¹⁰⁾が X 線左室造影像上、収縮早期の駆出率が左室機能の良い指標であるとしていることを反映している。また心筋肥大の著明な肥大型心筋症例ないし高血圧性心疾患例においても 10° 以上の 1SD を示す例があり、これらの疾患においても、収縮期の異常が存在することが示唆された。

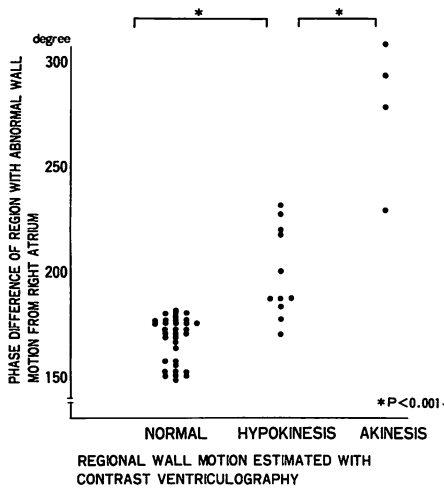


Fig. 13. Comparison of regional wall motion and regional phase delay.

The more accentuated the regional wall motion abnormality, the larger the regional phase delay.

一方、左室収縮の遅れの指標として用いた平均値は心拍数と正の相関を有し、心拍数の影響を受けることが示された。この原因として、心拍数の増加とともに拡張時相の短縮が起るため、収縮時相の全心周期に対する比率が大きくなり、位相値が大きく算出されるものと考えられた。このことが原因となり、各心疾患群間の平均値、造影所見の重症度と各群の平均値との間に重なりができ、明らかな差異を認めることができなかったものと思われる。

局所壁運動の検討に平均値を用いたが、心拍数の影響を少なくし、個々の症例を比較検討するため、各症例ごとに右房に基準点を定め、局所の平均値と造影所見を比較検討した。その結果、局所壁運動異常が高度となるほど平均値は大となり、壁運動異常の程度が大となることが示唆された。しかし各群間に重なりがあり、その原因として、各症例ごとに P-Q 時間が若干異なること、また、hypokinesis でもその程度に差があること、またその判定に主観が入り易いことなどが考えられる。

このように、phase analysis による局所壁運動の評価にはなお検討の余地が残されているものの、局所壁運動の時間的不均一性を客観的に評価でき、その定量評価にとって有用な方法と思われる。

要 約

各種心疾患 90 例に phase analysis を行い、左室 ROI 内の位相分布ヒストグラムを作成した。これより標準偏差 (1SD) と平均値を算出し、前者を左室壁収縮の時間的不均一性の指標と、後者の左室壁収縮の遅れの指標とし、左室造影所見と対比検討した。

1) 心筋梗塞群 35 例、その他の心疾患群 41 例および正常群 10 例の 1SD は、それぞれ $24.1 \pm 14.8^\circ$ 、 $7.1 \pm 2.0^\circ$ 、 $5.1 \pm 1.4^\circ$ と各群間に有意差を認めた。また正常全例 10° 以下であった。

2) 同時に求めた左心ポンプ機能の指標である左室駆出率と 1SD とは、 $r = -0.79$ と負の相関を認めた。

3) 左室造影を施行した 38 例において、右前斜方向あるいは左前斜方向より認められた造影所見と 1SD を対比検討した。正常壁運動群 19 例では $5.9 \pm 1.5^\circ$ 、hypokinesis 群 8 例では $11.8 \pm 3.8^\circ$ 、akinesis 群 10 例では $29.1 \pm 13.0^\circ$ と各群間に有意差を認めた。なお dyskinesis 例は 1 例のみであった。

4) 左前斜方向で左室造影を施行した 28 例の 49 region につき、造影所見の局所壁運動異常の程度と、右房を基準としたその局所の位相値とを対比検討した。正常収縮 34 region では $167.4 \pm 10.9^\circ$ 、hypokinesis 11 region では $198.5 \pm 21.4^\circ$ 、akinesis 4 region では $276.9 \pm 34.4^\circ$ と、壁運動異常の程度が強くなるにつれ、位相の遅延が大となった。

以上のごとく、phase analysis は局所壁運動の空間的異常のみならず、時間的異常についての評価も可能とし、局所壁運動を定量化することで、客観的評価が可能となった。

文献

- 1) Adam WE, Tarkowska A, Bitter F, Stauch M, Geffers H: Equilibrium (gated) radionuclide ventriculography. *Cardiovasc Radiol* **2**: 161-173, 1979
- 2) Ochi H, Ikuno Y, Onoyama Y, Goris ML, Briandet PA, Hara M: Phase analysis in ECG Gated Cardiac Blood Pool Studies. *Jpn J Nucl Med* **17**: 1157, 1981 (abst)
- 3) Toyama H, Murata H, Iio M, Takaoka S: The temporal Fourier analysis of the cardiac multigated by the first pass and the equilibrium method. *J Med Imagings* **1**: 81-88, 1981 (in Japanese)
- 4) Tamaki N, Mukai T, Ishii Y, Yamamoto K, Minako K, Fujita T, Torizuka K, Tamaki S, Yoshida A, Kadota K, Kambara H, Kawai C: Quantitative evaluation of asynchrony of the left ventricle using phase analysis. *Jpn J Nucl Med* **18**: 1241-1248, 1981 (in Japanese)
- 5) Takahashi T, Katsuragawa S, Yanagisawa T: Evaluation of the cardiac multigated blood pool study with various heart disease using phase analysis. *Jpn J Nucl Med* **19**: 239-244, 1982 (in Japanese)
- 6) Links JM, Douglass KH, Wagner HN: Patterns of ventricular emptying by Fourier analysis of gated blood-pool studies. *J Nucl Med* **21**: 978-982, 1980
- 7) Ikuno Y, Tanaka C, Takeuchi K, Oku H, Yoshimura T, Kotsumi K, Minamikawa H, Inoue E, Komatsu H, Shiota K, Ochi H, Onoyama Y, Omura M, Hamada K, Hara M: The usefulness of amplitude image and phase image by Fourier analysis. *Jpn J Nucl Med* **18**: 724, 1981 (abstr)
- 8) Ikuno Y, Tanaka C, Takeuchi K, Oku H, Yoshimura T, Kotsumi K, Minamikawa H, Inoue E, Komatsu H, Ochi H, Furukawa K, Nishimoto M, Kawai S, Sakaguchi K: Clinical usefulness of RI angiography using amplitude image and phase image by Fourier analysis for the detection of anteroseptal myocardial infarction. *J Cardiology* **11**: 791-801, 1981 (in Japanese)
- 9) Swan HJ, Forrester JS, Danzig R, Allen HN: Power failure in acute myocardial infarction. *Cardiovasc Dis* **12**: 568-600, 1970
- 10) Slutsky R, Karliner JS, Battler A, Peterson K, Ross J Jr: Comparison of early systolic and holosystolic ejection phase indexes by contrast ventriculography in patients with coronary artery disease. *Circulation* **61**: 1083-1090, 1980