

《原 著》

位相解析による運動負荷時壁運動異常の評価とその限界

梅澤 滋男* 藤原 秀臣** 平井 正幸** 関 延孝**
 廣江 道昭*** 谷口 興一****

要旨 心拍同期心プール像位相解析が運動負荷時の壁動態異常の検出に有用であるかを検討する目的で、狭心症12例、心筋梗塞+狭心症12例、陳旧性前壁梗塞17例、正常10例を対象とし Tc-99m 運動負荷心プールシンチを施行した。左室位相角の標準偏差 (SD) は駆出率と $-0.7 \sim -0.8$ の負の相関を示し、この相関関係は心拍数の増大により影響されなかった。負荷に伴う SD 値の変化を検討すると狭心症例では SD 値は control 時有意に増大したが、ISDN, nifedipine, propranolol 投与後にはこの増大は抑制された。これに対し、前壁梗塞例では安静時の SD 値は壁動態異常を反映すると考えられるものの、負荷時の反応には一定の傾向は認められなかった。以上より、狭心症例においては負荷に伴う SD 値の増大は虚血に伴う心機能の低下ならびに不均等収縮を示す指標となりうるが、梗塞例においては負荷時の SD 値の変動には問題があり今後の検討が必要と考えられた。

I. 緒 言

心拍同期心プール像から得られる心容量曲線をフーリエ変換し、各画素ごとの同期特性を表現する位相解析 (phase analysis) は Adam らの報告以来広く普及し¹⁾、心室壁運動異常 (Asynchrony) の検出²⁾、心室興奮伝導異常の診断における有用性が認められている^{3,4)}。このうち左室局所壁運動異常を非観血的に評価することは臨床的にも重要な意義を有するが、運動負荷時の壁動態の解析に本法を用いた報告は少ない^{5,6)}。本研究では、運動負荷心プールシンチ (RNA) を施行し、位相解析による左室壁動態の定量的評価を行うとともに、薬剤の効果についても位相解析の面から検討を加えた。

II. 対象および方法

対象は正常例 10 例 (G-1: 平均年齢 55.1 歳)、狭心症 12 例 (G-2: 56.0 歳)、陳旧性前壁梗塞+狭心症 12 例 (G-3: 52.3 歳)、陳旧性前壁梗塞 17 例 (G-4: 58.1 歳) の計 51 例である。なお正常例は自覚症状から心疾患を疑われ精査の結果異常の認められない例を選んだ。

1) 運動負荷 TI-201 心筋断層法 (SPECT): 臥位自転車エルゴメーターによる symptom limited の多段階負荷を用い (Fig. 1a)⁷⁾、TI-201 2~3 mCi 静注 10 分後および 4 時間後の SPECT データを収集し、視覚的に redistribution (RD) の有無を検討した。SPECT にて RD を認めた例を狭心症 (+) とした。

2) 運動負荷心プールシンチ (RNA): Tc-99m を生体内で赤血球に標識した後、平衡時に multi-gate 法を用い、modified LAO 40° にてシンチカメラ (Siemens ZLC3700) に接続したミニコンピュータ (シンチパック 2400) にデータを収集した。運動負荷は Fig. 1b に示すように SPECT 時に求めた最大負荷量 (MWL) の 50%、75% の 2 段階負荷とし、イメージの収集は安静時 40 msec/frame

* 横須賀共済病院内科

** 土浦協同病院内科, RI 室

*** 東京女子医科大学放射線科核医学部

**** 東京医科歯科大学第二内科

受付: 62 年 6 月 17 日

最終稿受付: 62 年 10 月 21 日

別刷請求先: 横須賀市米ヶ浜通 1-16 (☎ 238)

横須賀共済病院内科

梅澤 滋男

で 5 分間、運動時は後半の各 2 分間 20~30 msec/frame で行った。なお、原則として検査の 24 時間前にすべての薬剤は中止した。

位相解析はミニコンピュータシステム (シンチパック 2400) を用いて 4 次項フーリエ解析により行い、早期位相から遅延位相までを紺色から赤色で表示した。そして、位相イメージ上の左室に関心領域を設定し、位相角ヒストグラムを作成した (Fig. 2)。ヒストグラムは R-R 間隔を 0~360° とし、その標準偏差 (SD) を求めた。また、51 例中 31 例では Isosorbide dinitrate (ISDN) 5 mg, nifedipine 10 mg 舌下後 30 分, propranolol 20~30 mg 経口 1 時間後に同様の負荷を繰り返し行い、位相解析の面から薬剤の効果について検討した。統計処理には t 検定, χ^2 検定を用い、危険率 5% 以下を有意と判定した。

III. 結 果

1. 標準偏差 (SD) と左室駆出率 (EF) の関係

SD 値と EF の関係を見ると (Fig. 3), 上段左 (安静時: 心拍数 63.1±12.2/min), 上段右 (Ex 1: 心拍数 100.2±14.4/min), 下段 (Ex 2: 心拍数 121.8±18.1/min) に示すように両者の間には $r = -0.7 \sim -0.8$ の負の相関が認められ、Asynchrony の程度が大きいほど EF は低下すると考えられた。また、位相解析の SD 値は心拍数による影響を受けないことが示唆された。

Table 1 Comparison of EF and SD of phase angles among 4 groups

| | Rest | | Ex 2 | |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | EF (%) | S.D | EF (%) | S.D |
| G-1 | 70.2±7.0 | 13.7±4.8 | 76.4±6.1 | 11.2±5.9 |
| G-2 | 66.5±6.6 | 12.9±4.7 | 63.4±12.3 | 21.0±10.9 |
| G-3 | 60.3±11.4 | 19.1±9.0 | 50.8±10.5 | 29.9±10.7 |
| G-4 | 34.8±13.0 | 34.4±16.2 | 37.3±16.2 | 40.3±19.9 |

* P<0.05, ** P<0.01 (mean±S.D)

2. 運動負荷に伴う SD 値と EF の変化

SD 値と EF の運動負荷に伴う変化を 4 群で比較検討した (Figs. 4, 5, Table 1)。正常例 (G-1) では、負荷により EF は 70.2±7.0%→76.4±6.1%と有意に増加し、SD 値は 1 例を除き全例で低下した。これに対し狭心症例 (G-2, 3) では EF はそれぞれ 66.5±6.6%→63.4±12.3%, 60.3±11.4%→50.8±10.5%と低下し、SD 値はそれぞれ 12.9±4.7→21.0±10.9, 19.1±9.0→29.9±10.7 と有意に増大した。陳旧性前壁梗塞例 (G-4) では EF はばらつきが大きく、負荷に対する反応に一定の傾向は認められなかった。SD 値では高値を示す群と比較的低値を示す群を認め、これらの群間では SD 値の負荷に対する反応に統計上差異が認められたが、これも個々の変化をみると一定の傾向は認められなかった。

3. SD 値と抗狭心症薬の効果との関連

狭心症状を有する 20 例に対し ISDN, nifedipine,

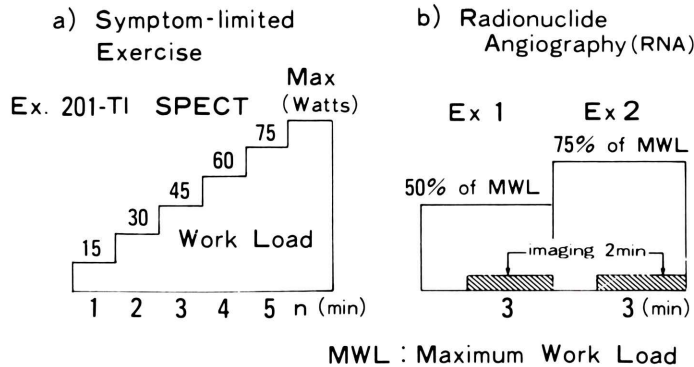


Fig. 1 The protocol of ergometer exercise with SPECT and RNA.

Phase Histogram

Normal case (G-1)

Old myocardial infarction (G-4)

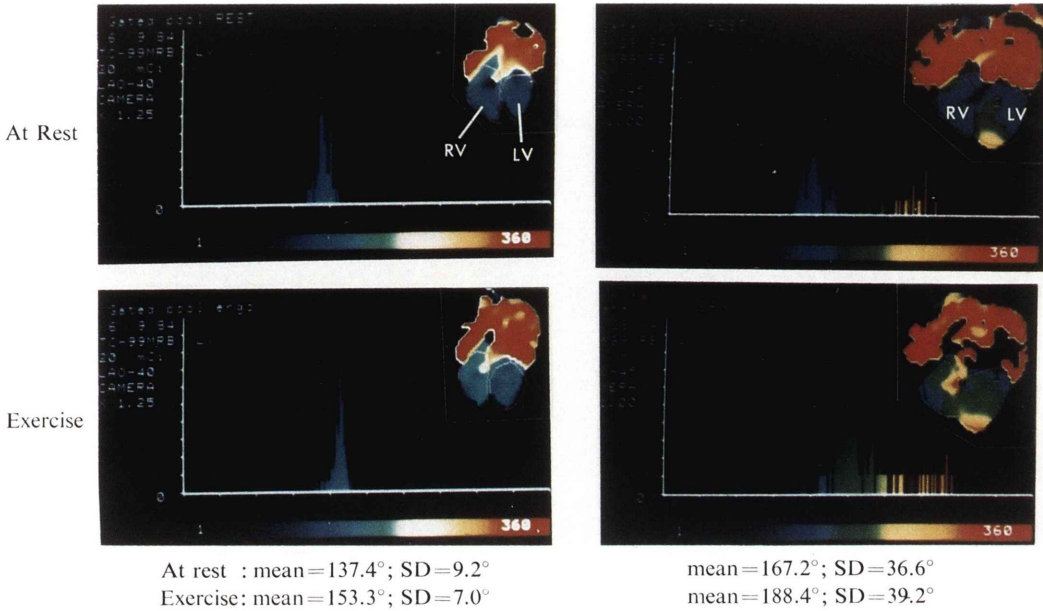


Fig. 2 Phase images of two cases (G-1 and G-4). The SD of phase angle of left ventricle and its mean values were shown.

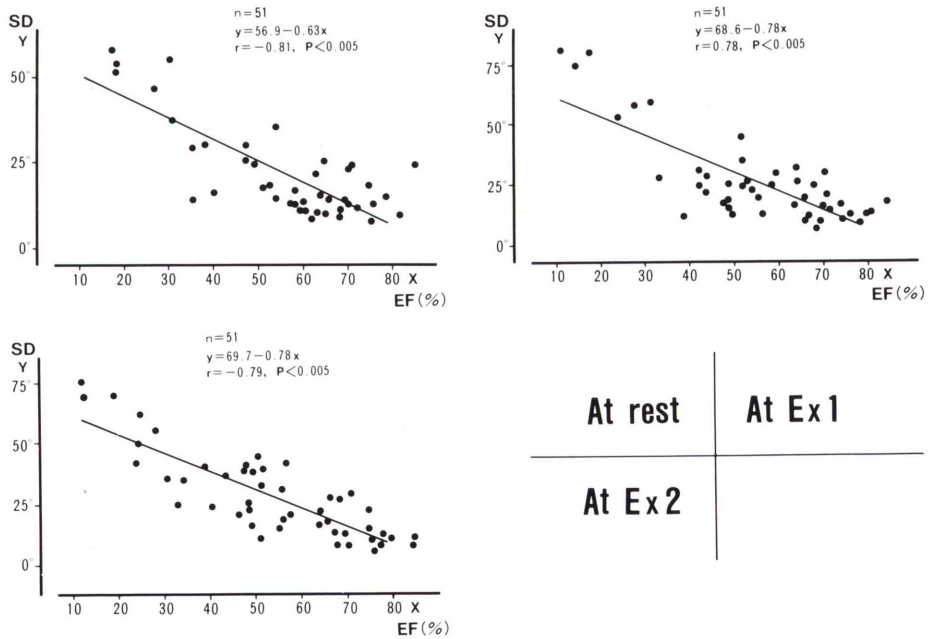


Fig. 3 Correlation between SD of the LV phase angles and EF at rest, Ex 1 and Ex 2. Significant correlation was shown between them irrespective of heart rate.

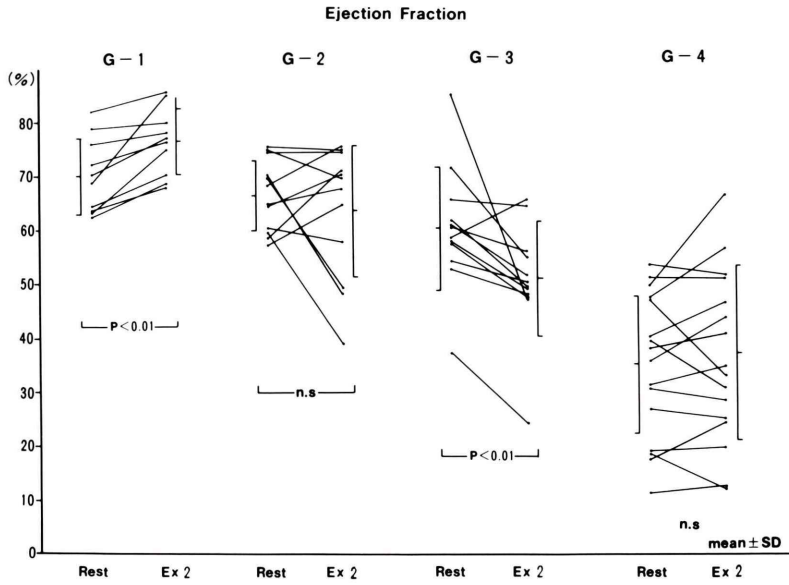


Fig. 4 The changes of EF on exercise were shown in each group.

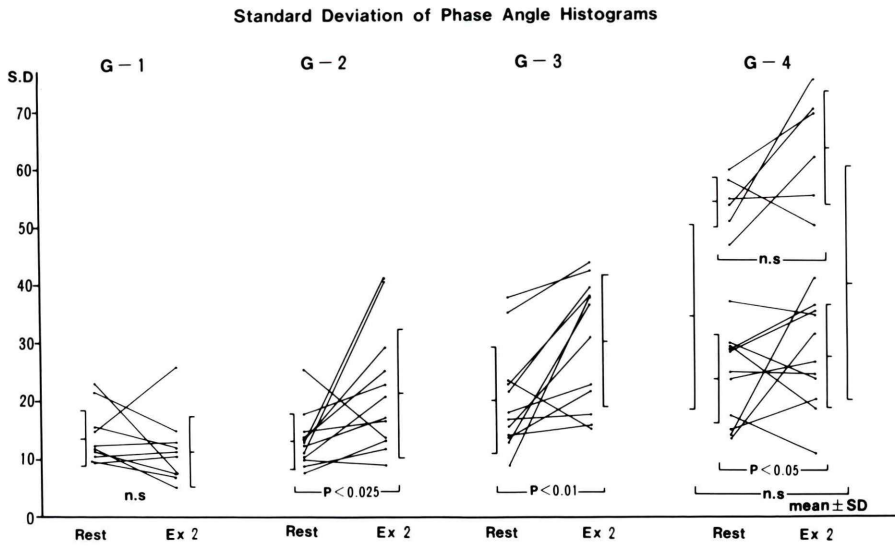


Fig. 5 The changes of SD on exercise were shown in each group.

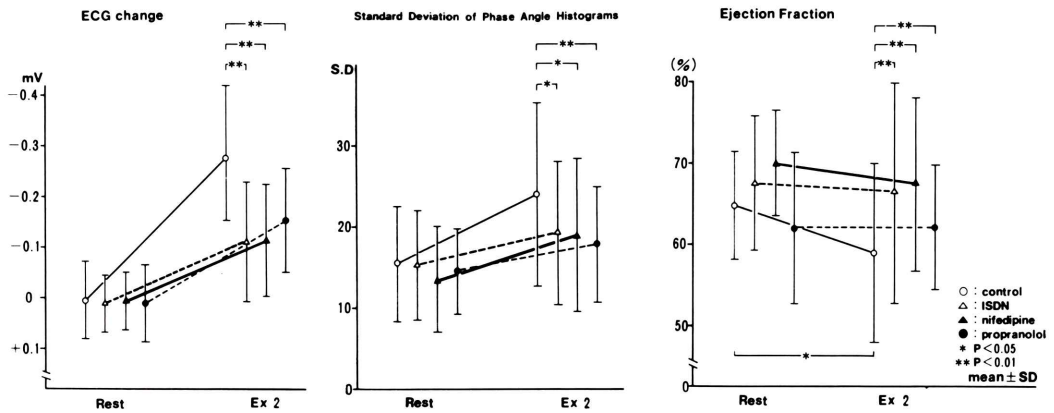


Fig. 6 Effects of ISDN, nifedipine and propranolol on EF, the phase distribution histograms and ST deviation.

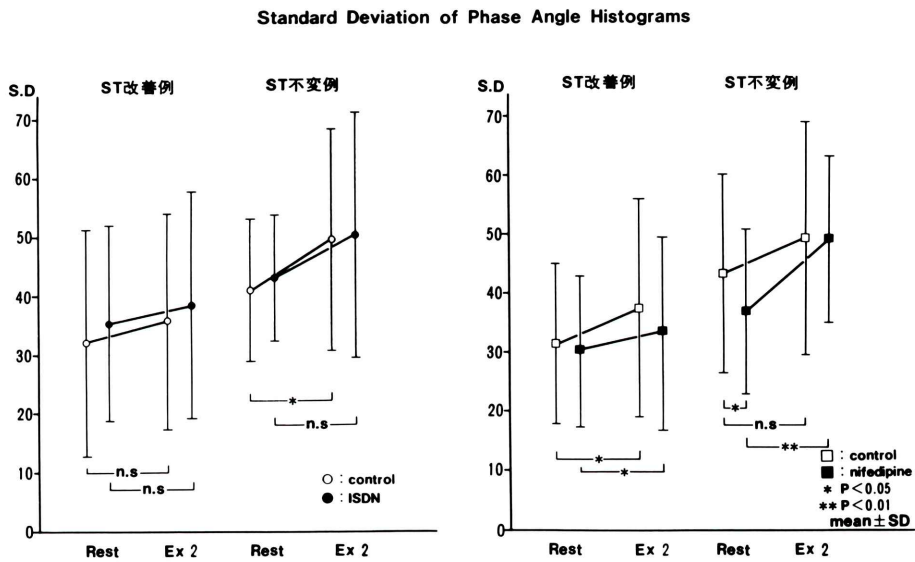


Fig. 7 Effects of ISDN and nifedipine on the phase distribution histograms in the patients whose ECG changes significantly improved after these two drugs.

propranolol を投与した後、同一の負荷量にて運動負荷心プールシンチを行い心電図の変化、EF、SD 値について無投薬時 (control) と比較検討した (Fig. 6)。Control 時、心電図では ST は有意に低下し、EF も減少した。これに対し薬剤の投与後では ST の変化は軽微となり、EF の減少は認められなかった。この変化を位相解析でみると、薬剤の投与後では SD 値は control に比べ負荷時

意の低値を示した。

4. SD 値と運動負荷時梗塞部 ST 上昇との関連
 前述したように陳旧性前壁梗塞例 (G-4) における SD 値は大小の 2 群に分けられた。SD 値と ST 上昇の関連をみると、SD 値の大きな群では 6 例中 6 例すべてに負荷時 ST 上昇が認められたが、小さな群では 11 例のうち 5 例のみであり両群間に有意差 ($p < 0.05$) を認め、壁動態の異常と ST 上

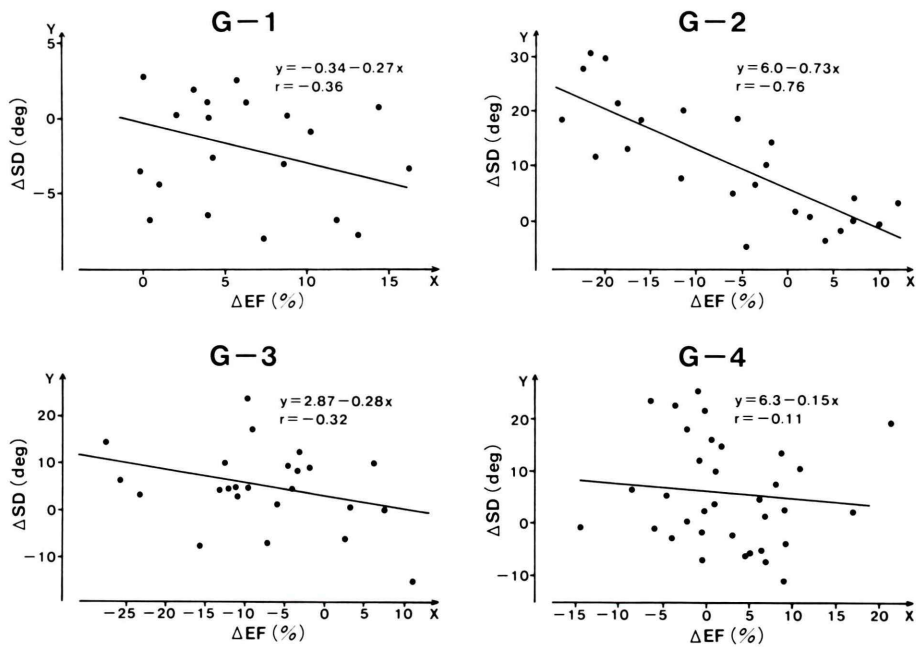


Fig. 8 Relationship between Δ SD and Δ EF was illustrated. Significant correlation was shown only in G-2.

昇との関連を裏づけるものと考えられた。

ST 上昇を認めた 11 例に ISDN, nifedipine を投与し同様の負荷を行った。その結果, ISDN で 6 例, nifedipine では 5 例において ST 上昇は改善した。しかし, この時の SD 値の変化を検討すると (Fig. 7), ST 改善例, 不変例ともに, 薬剤の投与前後で SD 値には有意の変化を認めなかった。

5. Δ EF と Δ SD の関係 (Fig. 8)

運動負荷に伴う EF と SD の変化についてその関連性を検討した。G-2 では Δ EF と Δ SD の間には良好な負の相関が認められた。しかし, G-1, G-3 では両者の相関係数は -0.3 と低く, G-4 では両者の相関係数はさらに低値であった。

IV. 考 察

従来より左室壁運動の空間的異常 (Asynergy) は左室造影所見等により検討されている。最近では, これに時間的要素を加えた壁運動の時間的収縮異常 (Asynchrony) の評価が位相解析により可能と

なり, 左室の SD 値は左室機能の重症度を反映し, EF と SD 値は有意の負の相関を有すると報告されている^{8,9)}。本検討では, 負荷に伴う SD 値の変化を検討したが, EF と SD 値の関係をみると両者の間には, 安静時, 負荷時ともに有意の負の相関が認められ, SD 値と左室機能との密な関連性が示唆され, また, SD 値は運動負荷による心拍数の増大や収集時間の違い (安静時 5 分間, 負荷時 2 分間) による影響が少ない点で有用と考えられた¹⁰⁾。

本検討では虚血性心疾患を SPECT の所見による 4 群に分け, 運動負荷に伴う変化を位相解析にて検討した。その結果, ほぼ正常例と考えられる G-1, SPECT により再分布の確認された G-2, G-3, 再分布を認めない G-4 における安静時, 負荷時の EF, SD 値の変化を比較すると各群の特徴がよく表わされた。すなわち, G-2 は安静時には正常例 (G-1) と差は認められなかったが, 負荷時には G-1 とは異なり EF の有意の減少, SD 値の増大

が認められ、虚血性変化により **Asynchrony** が出現し、**SD** 値の増大をもたらしたものと考えられた。同様に陳旧性心筋梗塞を合併している **G-3** では安静時すでに **Asynchrony** が存在するため、**SD** 値は安静時から高値を示し、負荷時には虚血性変化の発現を反映して **SD** 値はさらに増大した。これらの結果は、位相解析は安静時の **Asynchrony** の有無や、運動負荷に伴う虚血性変化の評価に有用であることを示している。さらに、抗狭心症薬の効果を位相解析にて検討すると、**SPECT** にて再分布を認めた例では **ISDN**, **nifedipine**, **propranolol** の投与後、運動負荷時 **ST** 低下は **control** に比し軽微となり虚血性変化の改善が示唆され、この時 **SD** 値は **control** に比し有意の低値を示し、虚血に伴う **Asynchrony** の出現が薬剤により抑制されたことを間接的に示すものと考えられた。**G-4** の安静時の **SD** 値は高値を示す例と比較的低値を示す例に分けられた。われわれは、前壁梗塞例における負荷時梗塞部 **ST** 上昇が、左室容量の変化と壁動態の異常とに密に関連していることを報告しており¹¹⁾、今回の検討でも **SD** 値の大きい例に **ST** 上昇例が有意に多いことは、壁動態と **ST** 変化との関連性を示唆しているものと考えられる。しかし、**G-4** での運動時の **SD** 値の動きをみるといくつかの問題点が認められた。負荷時の **SD** 値の変化にはバラツキが認められ、負荷に対する反応にも一定の傾向を認めなかった。また、**ISDN**, **nifedipine** の投与後には負荷時梗塞部の **ST** 上昇が抑制され、壁動態の改善が推定される例においても **SD** 値は **control** との間に差異は認められず、壁動態の指標とはならなかった。玉木らは **Nitroglycerin** の投与前後で梗塞例の **SD** 値を検討した結果 **SD** 値の増大を認め、それは薬剤の投与により壁動態の改善する領域と不変の領域が存在するためと報告しており⁹⁾、今回の薬剤後の **ST** 変化と **SD** 値の関係も同様の機序によるものと考えられる。しかし、運動負荷時の **SD** 値の変化 (ΔSD) を ΔEF との関係で検討したところ、狭心症例 (**G-2**) では両者に良好な負の相関を認めたものの、他の群特に **G-4** では相関は認められな

かった。これらの結果から、梗塞例においては、位相解析により運動負荷時の壁動態の変化を評価するには一つの限界があるものと考えられた。

V. まとめ

1) 労作狭心症12例、心筋梗塞+狭心症12例、陳旧性前壁梗塞17例、正常10例を対象として運動負荷心プールシンチを施行し、各群における左心室の駆出率 (**EF**) と位相角の標準偏差 (**SD**) の負荷に伴う変化を比較検討するとともに、これらに及ぼす薬剤の効果についても位相解析の面から検討した。

2) 左室位相角の **SD** 値は **EF** と有意の負相関 ($r = -0.7 \sim -0.8$, $p < 0.005$) を示し、左室の不均等収縮を反映しうる指標と考えられた。また、この相関関係は心拍数により影響を受けなかった。

3) 安静時、負荷時の **SD** 値を検討することにより、正常例、狭心症例、心筋梗塞+狭心症例の特徴がより明瞭となった。

4) 狭心症例に **ISDN**, **nifedipine**, **propranolol** を投与した後、同様の検討を行うと負荷に伴う **SD** 値の増大は **control** に比し有意に抑制された。

5) 陳旧性前壁梗塞例では負荷による **SD** 値の変動はバラツキが大きく、負荷に伴う壁動態を位相解析にて評価するには限界があることが示唆された。

文 献

- 1) Adam WE, Tarkowska A, Bitter F: Equilibrium (gated) radionuclide ventriculography. *Cardiovasc Radiol* 2: 161-173, 1979
- 2) Botvinick E, Dunn R, Frais M, et al: The phase image: Its relationship to patterns of contraction and conduction. *Circulation* 65 (3): 551-560, 1982
- 3) 向井孝夫, 玉木長良, 石井 靖, 他: 心拍同期心プール像の位相解析による局所心筋壁運動の評価. *核医学* 18 (5): 609-612, 1981
- 4) 中居賢司, 松下一夫, 川村明義, 他: マルチゲート心プール法位相解析よりみた心室内伝導障害例の検討. *呼と循* 32 (5): 487-491, 1984
- 5) Norris SL, Slutsky RA, Gerber KH, et al: Sensitivity and specificity of nuclear phase analysis versus ejection fraction in coronary artery disease. *Am J Cardiol* 53: 1547-1552, 1984

- 6) Ratib O, Henze E, Schon H, et al: Phase analysis of radionuclide ventriculograms for the detection of coronary artery disease. *Am Heart J* **104**: 1-12, 1982
- 7) 西岡隆文, 廣江道昭, 本田 喬, 他: 運動負荷心臓核医学検査による A-C バイパス術の効果判定. *循環器科* **16**: 386-394, 1984
- 8) 松島英夫, 河合直樹, 鈴木晃夫, 他: 脚ブロックを合併した心筋梗塞の診断における Tc-99m 心プール像位相解析の有用性. *核医学* **23** (6): 801-809, 1986
- 9) 玉木長良, 向井孝夫, 石井 靖, 他: phase analysis による左室局所壁運動の定量的評価——位相分布ヒストグラムによる検討——. *核医学* **18** (9): 1241-1247, 1981
- 10) 玉木長良: 位相解析を用いた運動負荷心プール像の局所壁運動評価の試み. 第4回ニュータウンカンファランス, Dec, pp. 92-94, 1981, 東京
- 11) 梅澤滋男, 藤原秀臣, 谷口興一, 他: 陳旧性前壁梗塞患者における運動負荷時梗塞部 ST 上昇に関する核医学的検討. *呼と循* **35** (11): 1171-1177, 1987

Summary

The Usefulness of Phase Analysis of Gated Radionuclide Angiography in the Patients with Ischemic Heart Disease

Shigeo UMEZAWA*, Hideomi FUJIWARA**, Masayuki HIRAI**, Nobutaka SEKI**, Michiaki HIROE*** and Koichi TANIGUCHI****

*Yokosuka Kyosai Hospital, Yokosuka

**Tsuchiura Kyodo Hospital, Tsuchiura

***The Division of Nuclear Medicine, Tokyo Women's Medical College

****The Second Department of Medicine, Tokyo Medical and Dental University

Quantitative evaluation of ventricular contraction abnormality at rest and during exercise was attempted using phase analysis of RBC-Tc-99m radionuclide angiography (RNA). We performed RNA on 51 patients (normal case: 10, angina pectoris: 12, angina pectoris with old myocardial infarction: 12, anterior old myocardial infarction: 17). Standard deviation (SD) of the phase histograms distributed within the left ventricle was calculated. The changes of left ventricular ejection fraction (EF) and magnitude of ST deviation on exercise were also evaluated. In 24 cases with angina pectoris, the SD significantly increased on

exercise, while EF decreased with significant ST depression. This increase of the SD on exercise was abolished after administration of ISDN, nifedipine and propranolol. In contrast to this, the SD of the cases with old myocardial infarction variously changed on exercise. These findings indicate that the SD is useful for the assessment of cardiac function and regional wall motion abnormality induced by exercise, although in old myocardial infarction, it is to be determined what those SD changes mean.

Key words: Radionuclide angiography, Ergometer exercise, Phase analysis, Ischemic heart disease.