

—原 著—

心電図同期心筋血流 SPECT 左室位相解析を用いた血流動態評価の試み

福永 智久 讃井 憲一

福岡県済生会二日市病院 放射線部

門上 俊明

福岡県済生会二日市病院 循環器内科

西村 浩

福岡県済生会二日市病院 放射線科

佐々木雅之

九州大学大学院医学研究院 保健学部門医用量子線科学分野

Evaluation of Myocardial Perfusion Using the Left Ventricular Phase Analysis with Gated Myocardial Perfusion SPECT

Tomohisa FUKUNAGA and Kenichi SANUI

Division of Radiology, Saiseikai Futsukaichi Hospital

Toshiaki KADOKAMI

Division of Cardiovascular Medicine, Saiseikai Futsukaichi Hospital

Hiroshi NISHIMURA

Division of Radiology, Saiseikai Futsukaichi Hospital

Masayuki SASAKI

Division of Medical Quantum Science, Department of Health Sciences,
Graduate School of Medical Sciences, Kyusyu University

(article received : Feb 23, 2016)

Summary

The purpose of this study was to obtain the reference standard value of peak phase, phase standard deviation (SD) and bandwidth from the phase analysis (PA) of myocardial perfusion single photon emission computed tomography (SPECT) (MPS) in our institution and to examine the usefulness of Heart Function View (HFV) for the evaluation of ischemic heart disease. PA for stress-rest MPS was retrospectively performed in 57 patients with suspected ischemic heart disease consisting of reference standard without any evidence of ischemia (REF) group, single vessel coronary disease (SVD) group and multi vessel disease (MVD) group. The reference standard value (16 frame) of peak phase, phase SD and bandwidth were $129.7^\circ \pm 21.6$, $8.70^\circ \pm 3.62$ and $31.8^\circ \pm 11.7$ at stress study that $130.9^\circ \pm 17.0$, $7.15^\circ \pm 3.91$ and $25.8^\circ \pm 13.1$ at rest study. There was no significant difference between stress and rest MPS and between 8 and 16 frame study. Phase SD and bandwidth of MVD group were significantly higher than those of SVD group and REF group.

These values were high in cases with high summed stress score (SSS) and summed difference score (SDS). In conclusion, the reference standard values of PA in our institution was obtained. Phase SD and bandwidth were considered to be useful for the evaluation of ischemic heart disease.

Key words : Gated-SPECT, Phase analysis, Phase SD, Bandwidth, Evaluation of myocardial perfusion

1. 背景

心電図同期心筋血流 single photon emission computed tomography (gated-SPECT) には、さまざまな解析ソフトウェアが使用されている。quantitative gated SPECT (QGS)¹⁾ (Cedars-Sinai Medical Center, CA, USA) は左室容積・左室壁移動距離・壁厚変化率の算出が可能であり、gated-SPECT を用いることで冠動脈疾患の診断における特異度が向上する²⁾。さらに近年は、従来の心プールシンチグラフィで利用されてきた位相解析もあわせて利用可能となっている³⁾。今日、位相解析が可能なプログラムとして QGS, Emory Cardiac Toolbox Sync Tool (ECTb) (Emory University, USA)⁴⁾, cardio REPO (EXINI diagnostic; Sweden, 富士フイルム RI ファーマ社)⁵⁾, Heart Function View (HFV) (日本メジフィジックス社)⁶⁾ などがある。

位相解析は心臓収縮の時間的解析のひとつであり、1 心周期における収縮開始位相の頻度をグラフ化して表示する⁷⁾。位相解析の心筋 SPECT への応用は、2005 年に ECTb を用いて報告された⁴⁾。位相解析プログラムは、心不全や心筋虚血の際に認められる左室収縮協調不全の診断と治療効果判定に有効であると報告されている⁸⁾。一方、心筋虚血に伴う左室壁運動障害では、壁厚の菲薄化に加えて収縮と拡張の位相差が局所ごとに異なる場合がある⁹⁾。さらに高度虚血後に血流が回復しながら収縮性が低下した気絶心筋や、心筋血流 SPECT だけでは虚血評価が困難な重症虚血や微小血管機能障害などでは、位相解析にて壁運動のタイミングの異常を検出することで診断精度の向上が期待されている^{10,11)}。HFV は心筋壁の輪郭抽出は可変閾値法にて自動で行われ、心室を楕円体と想定することで心臓や心外高集積も良好な抽出ができることを特徴としている⁶⁾。

中嶋らはプログラムごとの位相解析の評価を多

施設にわたる normal data base を用いて位相解析と心機能評価の報告を行った^{7,12)}。しかし位相解析は、解析プログラムによって指標が異なることや、SPECT 装置および収集法や再構成条件によって変化することが知られており¹³⁾、施設ごとに値が異なる可能性がある。機器の違いや検査プロトコルの違いが結果に与える影響は多大であり自施設の標準値を算出することは臨床上有用である¹⁴⁾。さらに、本研究は位相解析の正常標準値を利用することで、欠損スコアでは評価困難な多枝病変症例の診断に位相解析が有用であることを検討しており位相解析の正常値とスコアの検討は報告されていない。

本研究の目的は、HFV を用いた位相解析にて得られる指標の本施設における正常標準値を導き、さらに得られた正常標準値を用いた虚血性心疾患の評価における有用性を検討することである。

2. 対象と方法

(1) 対象

本研究は、2013 年 1 月から 2015 年 1 月に、当施設にて虚血性心疾患疑いで ^{99m}Tc-tetrofosmin を用いた負荷—安静心電図同期心筋血流 SPECT を施行された患者 526 名を対象とした。

当院正常標準値を導きだすための reference standard (REF) 群は過去の大規模研究の定義に準じて選出した^{15,16)}。まず、心筋梗塞や冠動脈血行再建術の既往がなく、心臓超音波検査にて収縮不全および左室心筋肥大を認めず、SPECT 収集時の心電図リズムが洞調律であることを条件とした。さらに、心筋血流 SPECT の安静時欠損スコアの合計 (summed rest score, SRS) および負荷時欠損スコアの合計 (summed stress score, SSS) が 3 以下、左室収縮末期容積 (end-systolic volume, ESV) が正常 (男性 ≤ 67 mL, 女性 ≤ 40 mL)、左室駆出分画 (ejection fraction, EF) が

正常（男性 $\geq 47\%$ ，女性 $\geq 55\%$ ）であることとした。この結果，25例（平均年齢76歳，男性/女性=10/15）がこの条件を満たした。なお非同期 SPECT 画像の SSS，SRS，および SSS と SRS の差分（summed difference score，SDS）は，17セグメントに分割した極座標画像から当院ノーマルデータベースに対するセグメントごとの集積率閾値設定法による5段階の自動解析スコアリングプログラム Heart Score View（Version 1.05.00）（日本メジフィジックス社）を用いて算出した。次に，冠動脈造影検査（冠動脈 CT または血管造影カテーテル法）において冠動脈に有意な器質的狭窄を1枝のみに認め，SSS ≤ 3 ，SRS ≤ 3 および超音波検査で壁運動異常を認めなかった症例を single vessel coronary disease（SVD）群とし，15例（平均年齢77歳，男性/女性=7/8）が対象となった。さらに，冠動脈造影検査において有意狭窄が右冠動脈，左冠動脈前下行枝および回旋枝の3枝または，左冠動脈起始部に認められた症例を multivessel coronary disease（MVD）群とし，17例（平均年齢70歳，男性/女性=10/7）が対象となった。SVD 群，MVD 群ともに過去の冠動脈血行再建術の既往の有無は問わない。なお，SVD 群，MVD 群は本研究はすでに実施された診療内容を後ろ向きに解析したものであり，研究内容が診療経過に影響を与えることはない。研究

内容は本施設の倫理委員会の承認を得た（Table 1）。

(2) SPECT 検査プロトコール

負荷先行型1日法で ^{99m}Tc -tetrofosmin（TF）を負荷時 296 MBq，安静時 740 MBq を経静脈的に投与し，それぞれ投与45～60分後に収集を行った。安静時の投与は負荷時投与の3時間後に行った。負荷方法はアデノシン（0.12 mg/kg/min $\times$ 6 min）による薬物負荷またはトレッドミルによる運動負荷（Bruce 法）とした。

(3) SPECT データ収集および再構成処理

SPECT 装置は E.CAM（東芝メディカル）を使用し，低エネルギー高分解能コリメータ（LEHR）を装着した。データ収集は，収集マトリクス 64 $\times$ 64，拡大率 1.45，ピクセルサイズは 6.6 mm とし，自動近接軌道を用いた Step & Shoot 収集モードにて64ステップ/360度，収集時間は負荷時 25 sec/view，安静時 30 sec/view にて行った。

画像処理装置は e.soft を用い，心電図同期 SPECT 再構成画像データおよび非同期 SPECT 画像再構成を行った。心電図同期 SPECT 再構成画像データの作成は ramp フィルタによるフィルタ補正逆投影法（FBP 法），前処理フィルタは Butterworth フィルタ（オーダ：8，カットオフ周波数：0.46 cycles/cm（負荷時），0.48 cycles/cm（安静時））を用いた。散乱補正および減弱補正は行わなかった。心電図同期法は，心拍数変動ヒストグラムに対する収集ウィンドウ設定を30%，収集時 R-R 心拍分割フレーム数は16フレームと設定し，forward-backward 加算収集および不整脈除去プログラムを用いた。なお，REF 群については16フレームデータを加算して8フレームデータも作成した。

一方，非同期 SPECT 画像作成は，ramp フィルタによる FBP 法，Butterworth フィルタ（オーダ：8，カットオフ周波数：0.53 cycles/cm（負荷時），0.59 cycles/cm（安静時））を用いた。散乱補正および減弱補正は行わなかった。

(4) 位相解析

心電図同期再構成データを DICOM（digital imaging and communication in medicine）data として出力したものを Windows PC 上で起動する

Table 1 Clinical characteristic of the subjects

	REF 群 (n=25)	SVD 群 (n=15)	MVD 群 (n=17)
Age (years)	75.5 $\pm$ 9.6	77.4 $\pm$ 7.0	70.2 $\pm$ 9.4
male/female	10/15	7/8	10/7
HR (/min)	67.7 $\pm$ 9.9	63.7 $\pm$ 7.3	65.7 $\pm$ 9.3
Rest myocardial perfusion SPECT			
SSS	0.84 $\pm$ 0.987	2.00 $\pm$ 1.85	10.8 $\pm$ 8.62
SDS	0.36 $\pm$ 0.70	1.13 $\pm$ 1.36	5.94 $\pm$ 5.44
EDV (mL)	61.4 $\pm$ 12.9	70.7 $\pm$ 23.0	95.8 $\pm$ 40.3
ESV (mL)	15.6 $\pm$ 4.7	20.4 $\pm$ 11.5	42.0 $\pm$ 31.8
EF (%)	74.7 $\pm$ 4.7	72.6 $\pm$ 7.06	60.6 $\pm$ 13.7

HR = heart rate, SSS = summed stress score, SDS = summed difference score, EDV = end-diastolic volume, ESV = end-systolic volume, EF = ejection fraction

HFV にて解析した。1 心周期あたりの左室心筋のピクセル毎のカウント変化を一次フーリエ関数にて近似し $y = A \cdot \cos(t - \phi)$ の三角関数として表す。 ϕ は位相値である¹⁴⁾。位相に対して心筋の壁カウントの変化をプロットし、心筋の全ピクセルの収縮開始位相を調べ、各位相におけるピクセル数の割合をヒストグラムとして表示する。グラフが最も高い位相を Peak Phase とし最も多くのピクセルが収縮を開始したタイミングが“いつ”なのかを示す。収縮開始位相の標準偏差を Phase SD とし、収縮開始タイミングのばらつきを示す。さらに、ヒストグラムで95%のピクセルが含まれる位相の幅を Bandwidth とし、心筋全体の95%が収縮開始する時間の幅を示す⁷⁾。

(5) 検討項目

1) 本施設の正常標準値算出と心拍分割フレーム数

REF 群を対象に、すべての症例の負荷時および安静時の Peak Phase, Phase SD, Bandwidth を求め、それぞれの平均と標準偏差を本施設の正常標準値とした。また、位相解析結果への位相数および位相幅の影響を検討するために、R-R 心拍

分割フレーム数を16フレームと8フレームの2種類を比較検討した。差の有意性はパラメトリックスチューデント t 検定を用いて検討し、 $P < 0.05$ を有意とした。

Table 2 Reference standard values of phase analysis in stress and rest study (n = 25)

	Stress	Rest	P value (Stress/Rest)
Peak Phase			
16 flames	129.7 ± 21.6	130.9 ± 17.0	0.82
8 frames	116.6 ± 16.23	118.4 ± 15.8	0.69
P value (16f/8f)	<0.05	<0.05	
Phase SD			
16 flames	8.70 ± 3.62	7.15 ± 3.91	0.15
8 frames	7.96 ± 3.18	6.49 ± 3.35	0.12
P value (16f/8f)	0.44	0.53	
Bandwidth			
16 flames	31.8 ± 11.7	25.8 ± 13.1	0.10
8 frames	29.1 ± 10.5	23.8 ± 11.6	0.09
P value (16f/8f)	0.41	0.56	

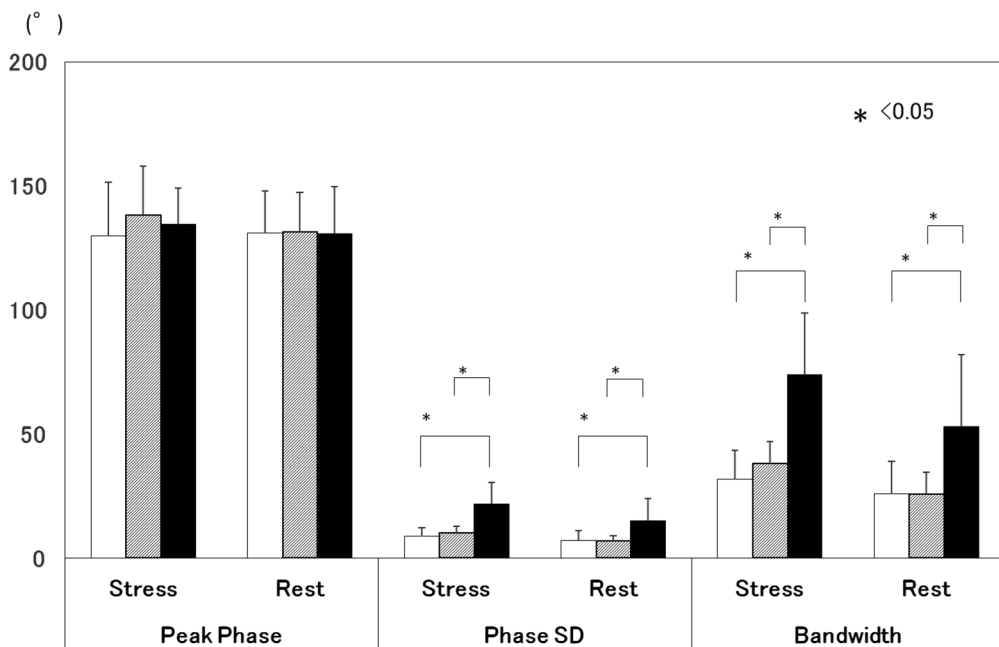


Fig. 1 Peak Phase, Phase SD and Bandwidth in patients with ischemic heart disease (□: reference standard group, ▨: single vessel coronary disease group, ■: multivessel coronary disease group, *: $P < 0.05$).

2) 3群間における位相解析結果の比較

REF 群, SVD 群, MVD 群の3群間で, Peak Phase, Phase SD, Bandwidth の差の有無を検討した。差の有意性はボンフェローニ補正を用いたパラメトリックスチューデント t 検定を用いて検討し $P < 0.05$ を有意とした。

3) 欠損スコアと位相解析結果の関係

REF 群, SVD 群, MVD 群の全症例を対象に, 欠損スコアの SSS および SDS と Peak Phase, Phase SD, Bandwidth の関係を検討した。

3. 結 果

1) 本施設の正常標準値と心拍分割フレーム数

当院における正常標準値を **Table 2** に示す。16 フレームにおける Peak Phase, Phase SD,

Bandwidth は, 負荷時はそれぞれ 129.7 ± 21.6 , 8.70 ± 3.62 , 31.8 ± 11.7 , 安静時はそれぞれ 130.9 ± 17.0 , 7.15 ± 3.91 , 25.8 ± 13.1 であり, 負荷時と安静時に有意差はなかった。また, 8 フレームでは16フレームに比して Peak Phase が有意に高値を示したが, Phase SD, Bandwidth は差はなかった。さらに, 16フレームと同様に負荷時と安静時に差はなかった。

2) 3群間における位相解析結果の比較

REF 群, SVD 群, MVD 群の位相解析結果を **Fig. 1** に示す。Peak Phase は, 負荷時と安静時ともに3群間で有意差を認めなかった。Phase SD は負荷時は MVD 群が 21.7 ± 8.80 と, REF 群 8.70 ± 3.62 , SVD 群 10.11 ± 2.53 よりも有意に高値であった ($P < 0.05$)。また安静時もそれぞ

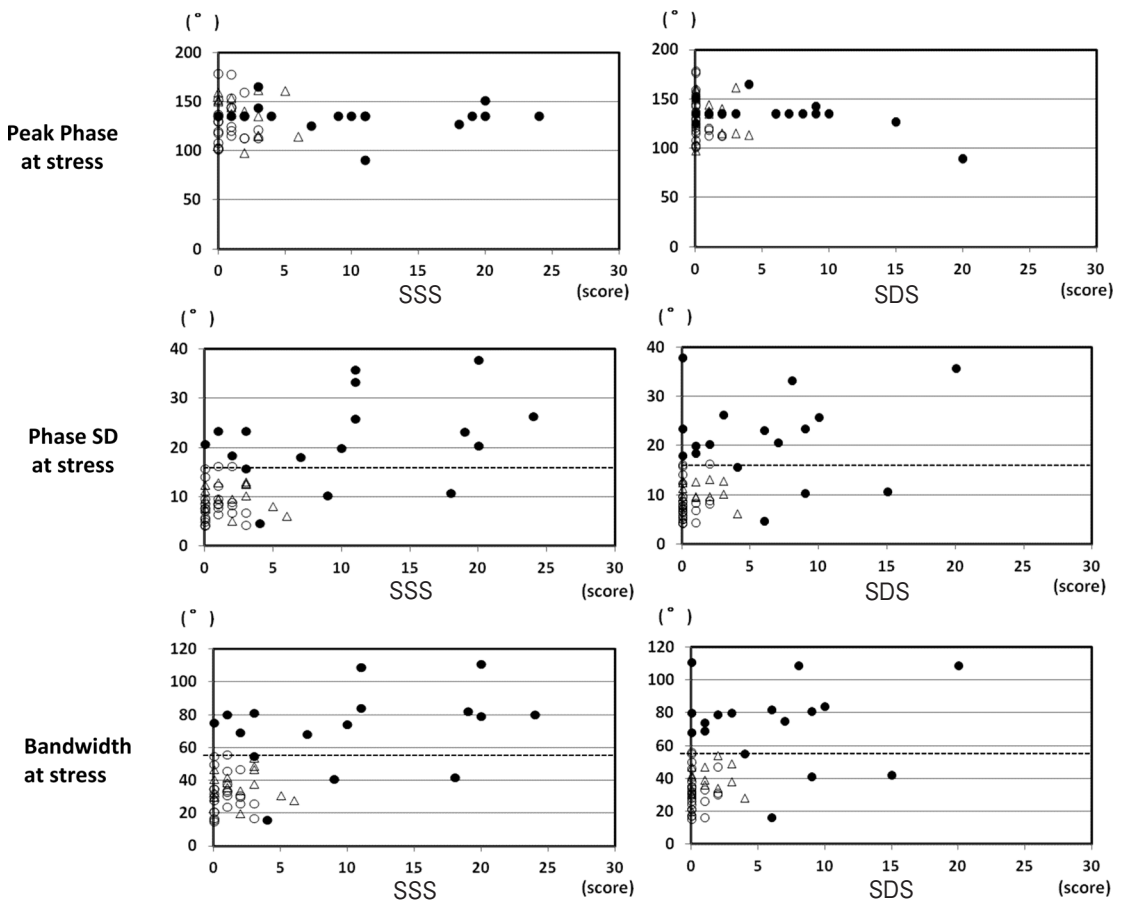


Fig. 2 Stress of Peak Phase, Phase SD and Bandwidth in relation to the defect score (○: reference standard group, △: single vessel coronary disease group, ●: multivessel coronary disease group). The dotted line is the +2 SD of the reference standard value.

れ 15.0 ± 9.00 , 7.15 ± 3.91 , 8.80 ± 2.23 と MVD 群が有意に高値であった ($P < 0.05$)。Bandwidth は負荷時が MVD 群 73.8 ± 25.0 と REF 群 31.8 ± 11.7 , SVD 群 37.9 ± 9.05 よりも有意に高値であった ($P < 0.05$)。また安静時もそれぞれ 52.9 ± 29.1 , 25.8 ± 13.1 , 25.6 ± 9.01 と MVD 群が有意に高値であった ($P < 0.05$)。

3) 欠損スコアと位相解析結果の関係

SSS および SDS と負荷時の位相解析結果の関係を Fig. 2 に示す。Peak Phase は SSS, SDS 共に 3 群間で差はなかった。一方 Phase SD, Bandwidth は SSS および SDS が高値であるほど高値を示した。さらに REF 群から求めた正常標準値と比較して, SVD 群の Phase SD, Bandwidth は $+2$ SD 以下に分布したのに対し MVD 群の Phase SD, Bandwidth は 17 例中 14 例 (82%) が $+2$ SD を超えて分布を示した。

4. 考 察

本研究ではまず心電図同期血流 SPECT の位相解析において, 本施設での正常標準値を求めた。この結果, すべての正常標準値に負荷時と安静時に有意差は認めなかった。フレーム数の影響では Peak Phase は 16 フレームが 8 フレームに対し有意に高値を示し Phase SD, Bandwidth は有意差を認めなかった。また, 虚血性心疾患の MVD 群では REF 群, SVD 群に比して Phase SD, Bandwidth は有意に高値を示し, SSS および SDS が高いものが高値を示した。

HFV を用いた正常者の位相解析には, 長町らによる ^{201}Tl 心筋 SPECT の検討がある¹⁷⁾。彼らは Phase SD の負荷時平均値は 7.7 ± 6.1 , 安静時平均値は 7.8 ± 5.5 , Bandwidth の負荷時平均値は 27.3 ± 20.6 , 安静時平均値は 27.6 ± 19.6 と報告しており, 我々の結果とはほぼ同様であった。また負荷時と安静時で有意差を認めなかった点も同様であった。また, 本研究と同じ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 心筋 SPECT を用いた検討には松尾らの QGS を用いた検討があり, Phase SD の負荷時中央値は 6.7, 安静時中央値は 6.6, Bandwidth の負荷時中央値 25.7, 安静時中央値 26.3 と報告しており, これらも我々の結果と大きな差はなかった¹⁰⁾。また, 負荷時と安静時に有意差を認めない点も同様で

あった。一方, Chen らは ECTb を用いて ^{201}Tl 心筋 SPECT を検討し, Phase SD は負荷時 15.9 ± 5.0 , 安静時 19.0 ± 4.2 , Bandwidth は負荷時 45.5 ± 11.2 , 安静時 57.4 ± 11.5 といずれも我々の結果よりも大きな値を報告している。また, Phase SD, Bandwidth とともに負荷時と安静時で有意差を認めている¹⁸⁾。本研究結果との差は使用核種や位相解析プログラムのアルゴリズムの違いが一因と考えられる⁷⁾。さらに中嶋らは 4 つのプログラムにおける正常値の比較を検討している。この中で HFV の Phase SD, Bandwidth の平均値は 5.4 ± 2.5 , 19.9 ± 9.1 とこれらも我々の結果と大きな差はなかった^{7, 12)}。しかし, この報告で用いられた normal data base は多施設による施設ごとの収集条件および再構成条件が用いられており, 単一施設, 同一機器での収集および再構成が行われた画像を用いた HFV の本検討と大きく異なる。多施設にわたる normal data base を用いた中嶋らの結果と単施設データである我々の結果において同じ位相解析プログラムで大きな差はなかった。このことは normal data base の違いよりもアルゴリズムの違いが位相解析の結果に影響を与えることが考えられる⁷⁾。

正常者の位相解析においてフレーム分割数の影響を検討した報告はまだない。本研究では Phase SD, Bandwidth は有意差を認めなかったが, Peak Phase は 8 フレームよりも 16 フレームにて高値を示した。Peak Phase は最も多くのピクセルが収縮を開始した位相を示すが, 16 フレームでは 8 フレームよりも 1 位相の幅が狭いため, 収縮開始時刻をより正確に検出できたためと考えられる。位相解析の結果を評価する際には注意すべき点である。一方, これまでの心電図同期 SPECT の検討では 8~16 分割が一般的であり, より詳細な左室機能の検討を行う場合は 32 分割が良いとされている¹³⁾。しかし分割数と収集カウントは相反する関係にあり, 過度に分割数を増すとカウント数低下による統計変動の増大を招き, 逆に分割数を減ざると 1 フレームあたりの時間が長くなるために拡張末期容積の過小評価と収縮末期容積の過大評価を生じる¹³⁾。これまでの位相解析では, 長町らや Chen らの ^{201}Tl 心筋 SPECT の検討は 8 フレームで行われており, 松尾らの $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 心筋

SPECT の検討は16フレームで行われている。本研究では ^{99m}Tc 製剤を使用しており、Phase SD と Bandwidth で有意差を認めないこと、心電図同期 SPECT では16～32フレームの多分割収集が推奨されることから¹³⁾、本研究の疾患の解析は16フレームでの解析を採用した。

Phase SD と Bandwidth は、MVD 群で REF 群および SVD 群よりも有意に高値を示した。MVD 群は収縮開始時相のズレを始めとするびまん的な高度壁運動異常をきたすことは報告¹¹⁾されており虚血性心疾患において左室壁運動低下を示唆する所見と考えられる¹⁹⁾。さらに虚血の程度と範囲を示す SSS および SDS と負荷時位相解析結果の関係において、SVD 群では SSS と SDS とともに低値であるとともに Phase SD と Bandwidth はともに正常標準値の +2 SD 以下であった。一方、MVD 群では SSS と SDS が高値を示すほど Phase SD、Bandwidth とともに高値を示し、17例中14例が +2 SD よりも大きかった。即ち、高度虚血において位相解析の異常が大きいことが示された。さらに MVD 群には SDS < 4 と SPECT 画像上、軽度虚血にもかかわらず、負荷時 Phase SD が 15.77～23.46、負荷時 Bandwidth が 55～80 と正常標準値の +2 SD を超える症例が5例見られた。これらの症例は SPECT 画像上は虚血を同定できないが、位相解析の異常が心筋の何らかの異常を検出したと考えられる。

Hida らは冠動脈疾患278名の検討で、一般的に用いられる SSS、9 以上は感度84%、特異度53%であったのに対して、負荷による Phase SD の増加が 4.4 以上は74%、68%、負荷による Bandwidth の増加は 14 以上は84%、91%といずれも高い感度、特異度を示した¹¹⁾。さらに多枝病変の予測因子を単変量、多変量解析で調べたところ、Phase SD および Bandwidth で最もオッズ比が高かったと報告している。また、従来の解析項目である一過性左室拡大 (TID) と SSS のみで判断した場合と Phase SD および Bandwidth を加えた場合を比較すると、感度は70%から77%に、特異度も76%から88%に上昇したと報告している。多枝病変を有する症例では収縮開始時相のズレなどのびまん的な高度壁運動異常をきたすことが報告されている¹¹⁾。虚血性心疾患において左室壁

運動低下を示唆する所見と考えられる¹⁹⁾、中嶋らの検討は位相解析と心機能評価の比較であり⁷⁾ 本研究は位相解析と欠損スコアを比較しており他に同様の検討を行った報告はない。

SSS などの ECTb プログラムを用いた左室収縮協調不全の評価において Marsan らは 3D 組織ドップラー心エコーの time-to-peak systolic velocity of 12 LV segments (Ts-SD) の結果と Phase SD は $r=0.74$ 、Bandwidth は $r=0.77$ と良好な相関を示すことを報告している²⁰⁾。さらに、埋め込み型除細動器の治療効果判定に際してレスポンド群の Phase SD、Bandwidth はノンレスポンド群よりも有意に高値を示すことが報告されている⁸⁾。これらのことは Phase SD、Bandwidth が血流評価の補助指標として有用であることを示唆する。

本研究は +2 SD を境界と判断したが、この閾値は今後検討する必要がある、また SDS ≥ 4 の高度虚血を示す single vessel coronary disease に対して有意狭窄枝の部位を含めた検討も行う必要がある。

本研究の対象に不整脈の症例は含めていない。不整脈や心拍数の変化などは位相解析に重要な影響を及ぼすと考えられ²¹⁾、今後は影響を及ぼす不整脈の種類や程度も検討する必要がある²²⁾。位相解析にはこれまでに述べたように複数のプログラムが存在しており、解析アルゴリズムはそれぞれ異なるとともに指標も異なる^{4,7)}。また本研究のリミテーションとして用いたプログラム HSV 並びに HFV は現在ソフトウェアの更新により使用が困難である。今後は新たな HFV も含めプログラムごとの標準値が必要であるとともに、プログラム間の指標の意味付けの違いや結果の差異についても検討する必要がある。

5. 結 語

位相解析指標である Peak Phase、Phase SD、Bandwidth の当施設正常標準値を算出した。Phase SD および Bandwidth は、心筋血流 SPECT 画像で SSS、SRS が 3 以下であっても虚血が描出困難な病態を指摘できる可能性が示され、HFV による位相解析による設定標準値を用いて評価を行う事は虚血性心疾患の診断に有用と考えられた。

6. 謝 辞

本研究に際し，ご支援およびご協力頂いた当院放射線技師諸兄に感謝いたします。また，本研究をまとめるにあたり，ご教授，ご助言頂きました福岡県済生会二日市病院顧問，福山尚哉先生に深く感謝申し上げます。

7. 利益相反

本研究に関して利益相反に相当する事項はなし

8. 引用文献

- 1) Germano G, Kita H, Kavanagh PB, et al: Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med*, **36**: 2138-2147, 1995
- 2) Taillefer R, DePuey EG, Udelson JE, et al: Comparative Diagnostic Accuracy of Tl-201 and Tc-99m Sestamibi SPECT Imaging (Perfusion and ECG-Gated SPECT) in Detecting Coronary Artery Disease in Women. *J Am Coll Cardiol*, **29**: 69-77, 1997
- 3) Boogers MM, Serge D, Kriekinge V, et al: Quantitative Gated SPECT-Derived Phase Analysis on Gated Myocardial Perfusion SPECT Detects Left Ventricular Dyssynchrony and Predicts Response to Cardiac Resynchronization Therapy. *J Nucl Med*, **50**: 718-725, 2009
- 4) Chen J, Garcia EV, Folks RD, et al: Onset of left ventricular mechanical contraction as determined by phase analysis of ECG-gated myocardial perfusion SPECT imaging: development of a diagnostic tool for assessment of cardiac mechanical dyssynchrony. *J Nucl Cardiol*, **12**: 687-695, 2005
- 5) Nakajima K, Okuda K, Nyström K, et al: Improved quantification of small hearts for gated myocardial perfusion imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, **40**: 1163-1170, 2013
- 6) Nakae I, Hayashi H, Matsumoto T, et al: Clinical usefulness of a novel program "Heart Function View" for evaluating cardiac function from gated myocardial perfusion SPECT. *Ann Nucl Med*, **28**: 812-823, 2014
- 7) Nakajima K, Okuda K, Matsuo S, et al: Comparison of phase dyssynchrony analysis using gated myocardial perfusion imaging with four software programs: Based on the Japanese Society of Nuclear Medicine working group normal database. *Journal of Nuclear Cardiology*, **23**: 1-11, 2016
- 8) Henneman MM, Chen J, Dibbets-Schneider P, et al: Can LV dyssynchrony as assessed with phase analysis on gated myocardial perfusion SPECT predict response to CRT? *J Nucl Med*, **48**: 1104-1111, 2007
- 9) Skulstad H, Edvardsen T, Urheim H, et al: Postsystolic Shortening in Ischemic Myocardium, Active Contraction or Passive Recoil? *Circulation*, **106**: 718-724, 2002
- 10) Matsuo S: Phase analysis using gated myocardial perfusion single photon emission computed tomography imaging for evaluating cardiac dyssynchrony. *Circ J*, **76**: 1832-1833, 2012
- 11) Hida S, Chikamori T, Tanaka H, et al: Diagnostic value of left ventricular dyssynchrony after exercise and at rest in the detection of multivessel coronary artery disease on single-photon emission computed tomography. *Circ J*, **76**: 1942-1952, 2012
- 12) Nakajima K, Matsuo N, Kasai T, et al: Normal values and standardization of parameters in nuclear cardiology: Japanese Society of Nuclear Medicine working group database. *Ann Nucl Med*, **30**: 188-199, 2016
- 13) 西村恒彦，中嶋憲一，中田智明，他：心電図同期心筋 SPECT（gated SPECT）の普遍化に関するガイドライン（最終報告）平成13年度ワーキンググループ報告：日本核医学会
- 14) 松尾信郎，中嶋憲一，小野口昌久，他：心電図同期心筋血流 SPECT 正常症例における左室位相解析. *心臓核医学*, **16**: 28-33, 2014
- 15) Matsuo S, Nakajima K, Horie M, et al: Prognostic value of normal stress myocardial perfusion imaging in Japanese population: a study based on the J-ACCESS study. *Circ J*, **72**: 611-617, 2008
- 16) Matsuo S, Nakajima K, Yamasaki Y, et al: Prognostic value of normal stress myocardial perfusion imaging and ventricular function in Japanese asymptomatic patients with type 2 diabetes: a study based on the J-ACCESS-2 database. *Circ J*, **74**: 1916-1921, 2010
- 17) 長町茂樹，鬼塚久充，西井隆一，他：室位相解析指標の心機能指標～虚血指標との相関～. *臨床放射線*, **59**: 549-557, 2014
- 18) Chen CC, Shen TY, Chang MC, et al: Stress-induced myocardial ischemia is associated with early post-stress left ventricular mechanical dyssynchrony as assessed by phase analysis of ²⁰¹Tl gated SPECT myocardial perfusion imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, **39**: 1904-1909, 2012
- 19) Leoncini M, Marcucci G, Sciagra R, et al: Prediction of functional recovery in patients with chronic coronary artery disease and left ventricular dysfunction combining the evaluation of myocardial perfusion and

- of contractile reserve using nitrate-enhanced technetium-99m sestamibi gated single-photon emission computed tomography and dobutamine stress. *Am J Cardiol*, **87**: 1346-1350, 2001
- 20) Marsan NA, Henneman MM, Chen Ji, et al: Left ventricular dyssynchrony assessed by two three-dimensional imaging modalities: phase analysis of gated myocardial perfusion SPECT and tri-plane tissue Doppler imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, **35**: 166-173, 2008
- 21) 高橋康幸, 宮川正男, 西山香子, 他: 短時間収集. *心臓核医学*, **15**: 32-34, 2013
- 22) Nichols K, Yao S, Kamran M, et al: Clinical impact of arrhythmias on gated SPECT cardiac myocardial perfusion and function assessment. *J Nucl Cardiol*, **8**: 19-30, 2001