

《短 報》

心室輪郭の動きに対するフーリエ解析の応用

—壁運動定量化の新しい試み—

中嶋 憲一* 分校 久志* 多田 明** 利波 紀久*
 滝 淳一* 南部 一郎* 久田 欣一*

I. 結 言

心室壁運動の評価は、虚血性心疾患のみならず各種の心疾患において、重要な検査の一つである。心電図同期心プールシンチグラフィを用いた左心室壁運動の評価法としては、シネモードでのプール像の観察の他に^{1,2)}、輪郭の重ね合せや、局所駆出分画³⁾、駆出分画イメージ⁴⁾、位相および振幅イメージ^{5,6)}等が報告され、従来の左心室造影との良い相関が報告されている。Functional imageによる評価は、核医学に独自の心機能評価法として利用されつつあるが、症例によっては、左心室造影の各セグメントとの対応や、*asynergy*の程度の評価が困難な症例も認められる⁷⁾。

著者らは、心室辺縁の動きに対して、すなわち心室中心から辺縁までの長さに対して、フーリエ変換を行う新しい壁運動評価法を考案した。その方法論および臨床応用について述べる。

II. 方 法

心電図同期心プールシンチグラフィは、Tc-99m 標識赤血球 740 MBq (20 mCi) を用いて行い、平衡に達した後、64×64 マトリックスのフレームモードで、核医学用コンピュータ (Ohio-Nuclear VIP 460) に収集した。シンチカメラは患者に対して左前斜位 (LAO) 35°、および、右前斜位

(RAO) または左側面像に設定して多方向像を得た。

壁運動評価のための輪郭抽出は、isocount 法により行い、拡張末期像と収縮末期像を重ねて表示した。位相解析は、従来の報告と同様に、フーリエ変換の基本波成分の位相と振幅について functional image として表示した。この方法を便宜的にカウント変化に基づく位相解析 (count-based phase analysis) と呼ぶ。一方、新しい試みである心室中心から辺縁までの長さの変化に基づく位相解析 (length-based phase analysis) の方法を以下に示した。まず、前処理として空間および時間軸スムージングをかける。次いで、目的とする心室以外の血液プール像を除外するため、拡張末期および収縮末期の画像を参考にして、マスクイメージを作製し、周囲の値を 0 に設定した。このようにして得られた心室のみの画像に対して、中心を設定するが、まずカウント重心をもとめ、この点が不適切な場合は、心室内の最高カウントとなる

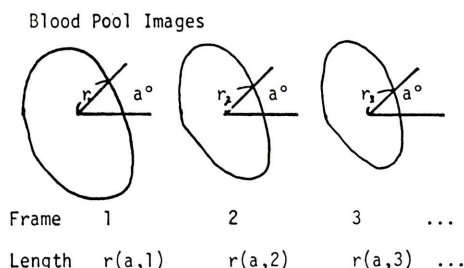


Fig. 1 Schematic representation of the length-based Fourier analysis. A series of $r(a, i)$, length from a center to ventricular edge at angle a , in i -th frame, is calculated by Fourier transform.

* 金沢大学医学部核医学科

** 国立金沢病院放射線科

受付：59年2月14日

最終稿受付：59年3月29日

別刷請求先：金沢市宝町13-1 (☎920)

金沢大学医学部核医学科

中嶋 憲 一

点を中心とした。さらにこの点も不適当と判断されるときは、ライトペンで設定できるようにした。続いて、Fig. 1 に示したように、心室の中心から辺縁までの長さを求め、この数値 $r(a, i)$ についてフーリエ変換を行った。ここに a は角度で、右外側を 0° として反時計回りに表わし、 i は第 i 番

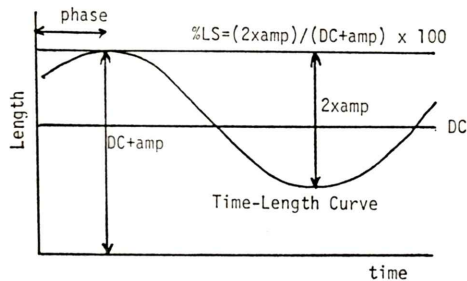


Fig. 2 Phase and amplitude of the fundamental frequency of Fourier transform are computed. Percent-length-shortening (%LS) is calculated in each angle by the equation in the figure.

目のフレームを表わす。なお辺縁は、中心のカウントの 65% の点と仮定した。フーリエ変換の基本波成分の位相 (phase) および振幅 (amp) を計算し、振幅は、次のように短縮率 (percent length shortening, %LS) に換算した。

$$\%LS = (2 \times \text{amp}) / (\text{DC} + \text{amp}) \times 100$$

ここで、DC は直流成分の値であり、%LS は Fig. 2 に示すごとく、短縮率を示すことになる。なお %LS が 5% 以下の場合、位相値の信頼性が低いため計算結果を 0 と表示した。このようにして 0° から 22.5° ごとに計算し、結果は極座標表示で、角度は現画像とそのまま対応できるようにした。位相および %LS の値は線分の長さで示し、値が増加するにつれて、青色系から赤色系 (フィルム上は、白色から黒色) に変化するようにした。同心円で表わされたスケールは、一つの円が位相は 90° 、%LS は 25% とした。

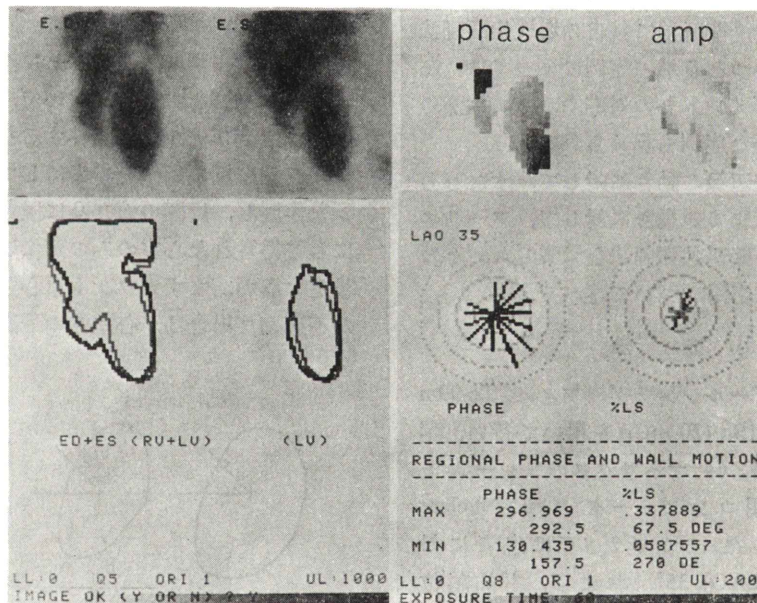


Fig. 3 A patient with old myocardial infarction with ventricular aneurysm. Upper left, end-diastolic and end-systolic blood pool images. Lower left, superimposition of ventricular perimeters. Apical region shows paradox systolic expansion. Upper right, count-based phase and amplitude images. Delayed phase is noted in apical segment, indicating dyskinesia. The %LS is lower than 25%, indicating diffuse hypokinesia. The maximum phase is 297° and the minimum %LS is 5.9% in the apical segment.

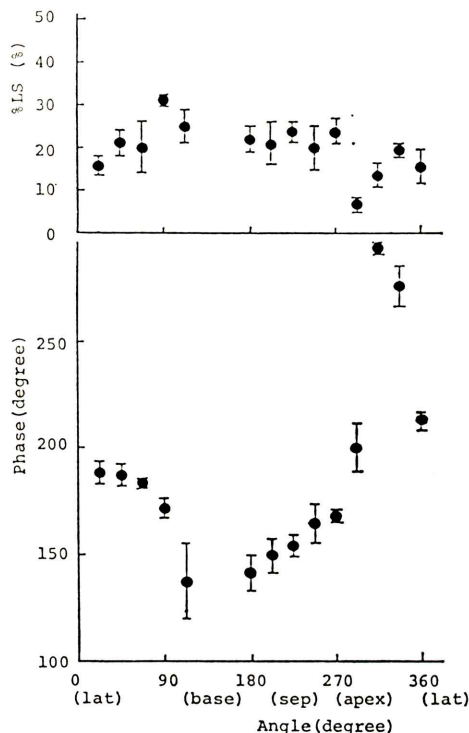


Fig. 4 Reproducibility of phase and %LS in the same patients as Fig. 3. Mean and S.D. are shown in the figure.

III. 結 果

前壁から心尖部に dyskinesia を有する症例に本法を、適用した結果を、Fig. 3 に示した。25%以上の %LS を示すセグメントは、normokinesia と判定される。また 25% 以下に表示されている領域は hypokinesia、表示されていない領域は %LS が 5% 以下であり akinesia と判定できる。さらに位相の明らかな遅延を示す領域が、dyskinesia とわかる。Fig. 3 の症例では、拡張末期と収縮末期の辺縁重ね合せ表示で、心尖部の paradox movement が認められ、カウント法に基づく位相振幅イメージでは、心尖部領域の位相遅延と振幅低下の所見である。一方、長さの変化に基づく解析では、%LS は 25% 以下で広範囲の hypokinesia があることがわかり、さらに心尖部(表示の 292.5° と 315°) で位相の遅延が明らかなで dyski-

nesia と判定できる。

本症例で 5 人の異なる設定者が解析を行ったときの変動を検討した。Fig. 4 は各セグメントでの %LS および位相の平均値と標準偏差 (S.D.) を示している。心基部から弁口部に相当する 90° ~ 157.5° を除外すると、%LS の S.D. は 1.2~6.4% (%LS 値)、位相の S.D. は 1.0~13.7° と良好な再現性を示した。最大の位相は心尖部で $295.2 \pm 1.0^\circ$ 、最大および最小の %LS は、それぞれ $31.8 \pm 1.2\%$ 、 $7.0 \pm 1.9\%$ であった。

IV. 考 案

核医学領域における心室壁運動の評価法としては、functional image による診断法がある⁴⁻⁸⁾。この方法は、3 次元的な情報を含むという利点はあるものの、左心室造影で用いられる各セグメントと対応をさせるときには、困難を感じる症例もしばしば認められる。また、asynchrony の程度を一枚の functional image から判定することも容易でない症例がある。一方、輪郭表示による心室壁運動の解析は、視覚的なシネモードでの壁運動観察と比較して評価しやすい利点がある。平衡時法による画像の場合は、血液プールの重なりを完全に避けることはできないが、一般に用いられる右前斜位の他に、左前斜位や左側面、左後斜位などの多方向像を用いることにより、心基部を除けばほぼ全体像が観察できる。そこで、従来から用いられている壁運動の評価法に、位相の情報を加えた解析を行うことを試みた。

心室中心から辺縁までの長さの変化に基づく位相解析の特徴として以下の点が挙げられる。輪郭の重ね合せによる解析は、輪郭抽出の方法や画像のノイズに影響されやすいが、本法は時間一長さ曲線全体の近似から計算されるため、各フレームの輪郭には影響されにくい。したがって、短時間でのデータ収集の際にも有用性が期待される。また、短縮率に加えて、位相の考え方をいれたため、dyskinesia の評価が、容易となった。本法の再現性は、マスクイメージの設定に影響されるが、重心の位置の変化は少なく、その他の処理はまった

く自動であるため、良好である。また、バックグラウンドの設定も不必要である。今回の検討では、*asynergy* の程度の評価を、結果の項で示したように、%LS が 5%、25% の点および位相値を用いて行ったが、方向ごとあるいは角度ごとの正常値が必要になることも考えられ、この点に関してはさらに臨床例での検討が必要である。

本法の欠点としては、長さの変化が数画素から多くても 20 画素程度であることで、従来のカウント変化に基づく位相解析より明らかに少ない。さらに多いマトリクスでの収集または拡大処理により、精度の改善が期待できるだろう。また、*akinesis* のとき、まったく同じ $r(a,i)$ の数列となる可能性があり、この場合には位相値の計算が困難となるため、%LS が 5% 以下の時は計算しないようにした。

長さの変化に基づく位相解析の応用として、心プール断層像における輪郭の収縮の順序の解析もできる可能性がある。WPW 症候群において、位相解析により副刺激伝導路の位置推定が検討されてきたが⁸⁻⁹⁾、本法により、断層の辺縁のどこが最初に収縮するかを検出できれば、副刺激伝導路の位置推定に役に立つ可能性がある¹⁰⁾。この点については、さらに詳細な検討が必要となろう。

V. 結 論

心室中心からその辺縁までの長さの変化にフーリエ解析を応用し、心室輪郭の短縮率と位相を表示する方法を考案した。本法の再現性は、良好であり、*asynergy* の程度の定量化の他、壁の収縮の

順序も解析できる可能性があり、臨床症例での有用性が期待できる。

文 献

- 1) Strauss HW, Zaret BL, Hurley PJ, et al: A scintiphotographic method for measuring left ventricular ejection fraction in man without cardiac catheterization. *Am J Cardiol* **28**: 575, 1971
- 2) Bachrach SL, Green MV, Borer JS, et al: A real time system for multi-image gated cardiac studies. *J Nucl Med* **18**: 79-84, 1979
- 3) Maddox DE, Wynne J, Uren R, et al: Regional ejection fraction: a quantitative radionuclide index of regional left ventricular performance. *Circulation* **59**: 1001-1009, 1979
- 4) Maddox DE, Holman BL, Wynne J, et al: Ejection fraction image: a noninvasive index of regional left ventricular wall motion. *Am J Cardiol* **41**: 1230-1237, 1987
- 5) Adam WE, Tarcowska A, Bitter F, et al: Equilibrium (gated) radionuclide ventriculography. *Cardiovasc Radiol* **2**: 161-173, 1979
- 6) Links JM, Douglass KH, Wagner HN Jr, et al: Patterns of ventricular emptying by Fourier analysis of gated blood pool studies. *J Nucl Med* **21**: 978-982, 1980
- 7) Nakajima K, Tonami N, Bunko H, et al: Assessment of cardiac wall motion with the ejection fraction image: a comparison with contrast left ventriculography. *Clin Nucl Med* **6**: 481-484, 1981
- 8) Nakajima K, Bunko H, Tada A, et al: Phase analysis in the Wolff-Parkinson-White syndrome with surgically proven accessory conduction pathways. *J Nucl Med* **25**: 7-13, 1984
- 9) 中嶋憲一, 分校久志, 多田 明, 他: 心プール断層法における位相解析——副刺激伝導路の検出への応用——. *核医学* **21**: 2, 133-139, 1984
- 10) 中嶋憲一, 利波紀久, 久田欣一: WPW 症候群の核医学的診断. *画像診断* **4**: 368-372, 1984

Summary

Application of Fourier Analysis to the Movement of Ventricular Edge: A New Method for Quantification of Segmental Wall Motion

**Kenichi NAKAJIMA, Hisashi BUNKO, Akira TADA, Norihisa TONAMI,
Junichi TAKI, Ichiro NANBU and Kinichi HISADA**

Department of Nuclear Medicine, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa

A method of length-based Fourier analysis is introduced to quantify the segmental wall motion in gated blood pool studies. Fourier analysis is applied to a time-length curve, a series of the length from a center to ventricular edge. Two parameters, phase and percent-length-shortening (%LS) are calculated in each angle using a fundamental frequency of the Fourier transform. The results are displayed in polar coordinate. %LS

less than 25% is interpreted as hypokinesis, %LS less than 5% as akinesis, and delayed phase as dyskinesis in each segment. This program can be applied for the quantification of segmental wall motion, and for the analysis of the sequence of ventricular contraction.

Key words: Gated blood pool study, Phase analysis, Length-based method, Segmental wall motion.