

《短 報》

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

向井 孝夫* 玉木 長良* 石井 靖* 山本 和高*
湊 小太郎* 藤田 透* 鳥塚 莞爾*

I. 結 言

心プールの心電図同期像の測定は心ポンプ機能を抽出する上に非常に有用であるが、Adamらはこれにフーリエ解析を適用して、心容量曲線の周期特性、すなわち波の振幅、および位相のずれを局所的に表現する、いわゆる位相解析 (phase analysis) を試みた^{1,2)}。その周期的特性の局所変動は刺激伝導障害の検出に有効であるという報告もある³⁾が、我々は心収縮機能の不均等分布、すなわち、局所壁運動異常を検討する上で有効であると考え、同方法により振幅、位相の分布像および、位相分布のヒストグラムを作成して定量評価の対象とした。

II. 方 法

心電図同期心プール像は汎用コリメータを装着したガンマカメラ (LFOV, Siemens 社) を LAO 45 度から照準し、ズームアップモード (拡大率約 $\sqrt{2}$ 倍) にて計算機 (PDP-11/60, DEC 社) に収集した。収集法は ^{99m}Tc-RBC の 20 mCi 投与による 1 心拍を 25 フレームに分割した 300~500 心拍の加算である。処理はまず、全フレームの画像 (64×64 画素) を平滑化し、32×32 画素に圧縮した。そして、左室の拡張末期と収縮末期の画像を加算し、その最高計数値の 20~50% 以上の計数

値を有する画素のみを以後の計算の対象とした。従って、画素の一辺は約 8 mm となる。

フレーム数 N からなる心容量曲線 $f(t)$ は周期関数であり、そのフーリエ級数は

$$f(t) = C_0/2 + \sum_{n=1}^{\infty} (C_n \cdot \cos n\omega t + S_n \cdot \sin n\omega t)$$

で表わされる。 $C_0/2$ は $f(t)$ の直流成分である。ここで $f(t)$ を基本波 ($n=1$) のみで近似すると、各々の波の振幅 C_1 , S_1 は

$$C_1 = 2/N \sum_{t=0}^N f(t) \cdot \cos(2\pi t/N)$$

$$S_1 = 2/N \sum_{t=0}^N f(t) \cdot \sin(2\pi t/N)$$

$$C_0 = 2/N \sum_{t=0}^N f(t)$$

より得られる。これより近似波の振幅 (amplitude) A , および位相 (phase) P は各々、

$$A = (C_1^2 + S_1^2)^{1/2}$$

$$P = \tan^{-1}(S_1/C_1)$$

より求められる (Fig. 1)。 A は心筋壁の動きの程度、 P は収縮の進み、遅れに相当する位相のずれであり、 $-\pi$ から π までの値をとる。以上の計算を各画素について行ない、直流成分 (平均値)、振幅および位相の各分布像を作成した。同時に位相分布像の画素値を 32 等分し、各位相に相当する画素を黒点で表示して、その伝播をシネモード表示するための 32 フレームの画像をも作成した。黒点は拡張末期と収縮末期との合成画像、あるいは、心拍同期像の上に重ねて表示した。後者の場合は $-\pi \sim \pi$ を N 等分し、1 フレームとした。各位相値を有する画素の直流成分値の総和のヒストグラムは任意の ROI (例えば左室域) について $2\pi/32$

* 京都大学医学部放射線核医学科

受付: 56年3月6日

最終稿受付: 56年4月14日

別刷請求先: 京都市左京区聖護院川原町 54 (☎ 606)

京都大学医学部放射線核医学科

向井 孝 夫

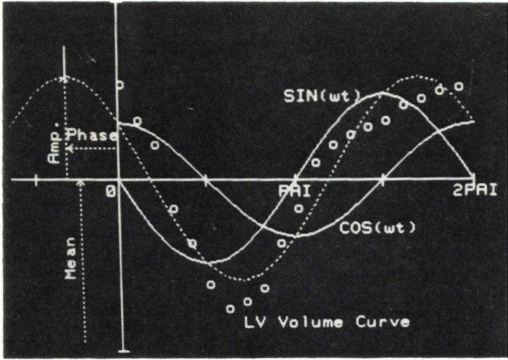


Fig. 1 Left ventricular time activity curve (circle) and the optimal fit with the first Fourier component (dotted lines).

の間隔でプリンターにプロットさせ、その重心、標準偏差および歪率を求めた。

III. 結果

Fig. 2 に健常人の振幅 (a), 位相 (b) の分布像, および左室域における位相ヒストグラム (c) を示す。振幅分布像は regional ejection fraction に相似的な分布を描き、左室の各壁の動きの良好なことが示されている。位相分布像では左室全域がほぼ同時に収縮していることが描出され、ヒストグラムではその収縮状態を定量的に表わしている。Fig. 3 は前壁梗塞例を示すが 振幅分布像 (a) では

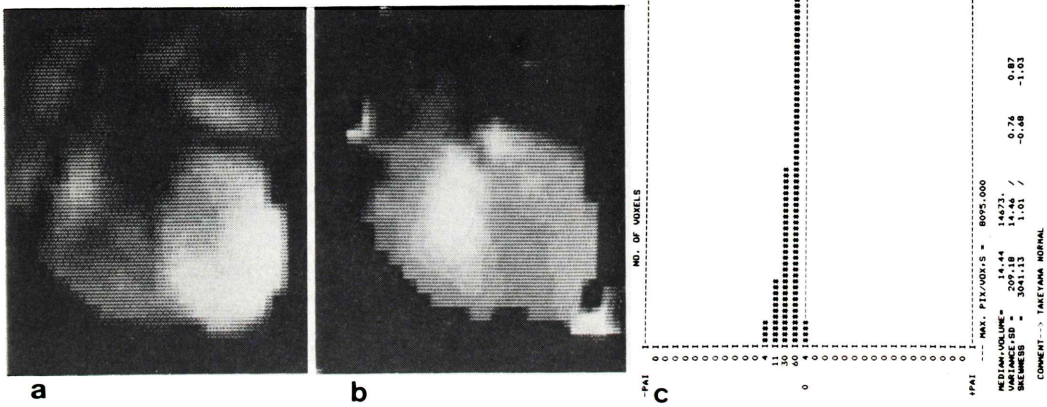


Fig. 2 Amplitude image (a), phase image (b) and phase distribution-histogram (c) of a normal case. Each gray value of the phase image represents a phase shift. The scale runs from $-\pi$ (white) to π (black).

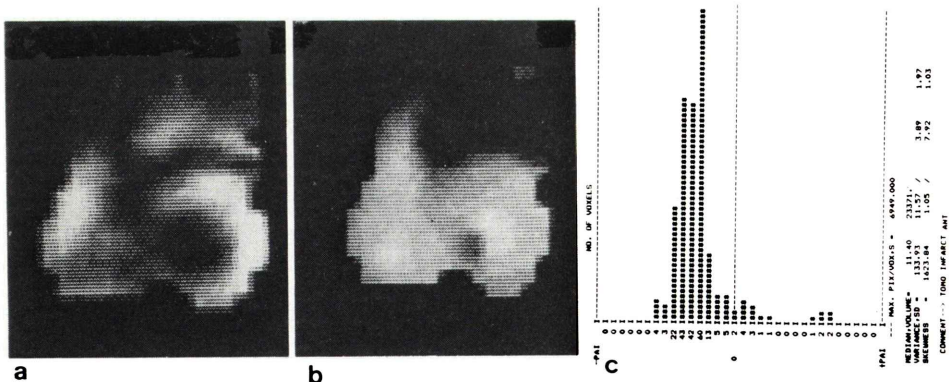


Fig. 3 Amplitude image (a), phase image (b) and the histogram (c) of a case with anterior wall myocardial infarction. Phase image shows a contraction delay in the apical region and the histogram can evaluate it quantitatively.

心筋中隔壁の一部に収縮の低下が認められ、その他の壁ではほぼ良好な収縮を示している。しかし位相分布像 (b) では左室中央 (心尖) 部に収縮の遅れの存在することが示されている。左室におけるヒストグラム (c) によっても、大部分の画素が早期に収縮しているのに対し、一部の画素 (即ち左室心尖部) での収縮が著明に遅れていることが認められる。Fig. 4 は下壁梗塞例における位相のずれを時間的に並べた32フレーム中の一部を示すが、下壁の収縮の遅れが明瞭に描出されている。これのシネモード表示により、さらに収縮の伝播の様子が時間、空間的によく把握できる。なおデータは 250~350 K カウント/フレーム であり、一連の処理時間は約50秒であった。

IV. 考 案

ECG 同期心プール像の phase analysis の計算機プログラムの作成、および臨床的検討を行なった。

計算機処理法に関しては、本法は曲線近似だけを目的とすれば不十分なものであり、Fig. 1 に示したごとく、近似精度は良くない。しかし、心容量曲線の特徴抽出には簡便な手法であり、特徴量、即ち振幅、および位相のずれが明快に得られる。これはまた 200 心拍程度の計数値の少ないデータにも適用できる。従って、2次以上の高調波を考慮した近似精度の向上は必要ないと考えられる。各分布像の画素の一辺は約 8 mm であるが、ガンマカメラの分解能や処理後の画質からみても、これで十分と思われる。但し、シネモードで位相の伝播を表示する場合は 64×64 の大きさに内挿補間し、視覚的に観察しやすいようにしている。

臨床的評価に関しては、従来、心筋壁運動の異常の検出は perimetric なものとしてのみ捕え得なかったが、本法では Fig. 3 に示したごとく、左室中央に位置するような壁運動異常も容易に描出できる。さらに壁運動異常をヒストグラムに表現し

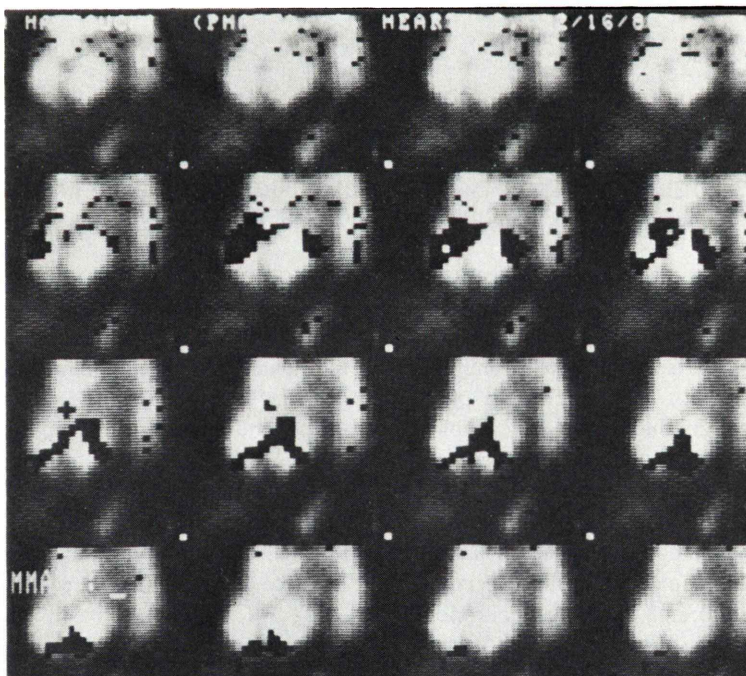


Fig. 4 Wave contraction displayed as black pixels going over end-diastolic and systolic image in a case with inferior wall myocardial infarction. Delayed contraction of the inferior wall is clearly seen.

て定量的把握の対象とすることも可能である。特に各種伝導障害への利用や運動、薬剤負荷による収縮状態の変化の観察などへの応用も示唆され、今後、本法の占める臨床的意義は大きいと思われる。ヒストグラムの重心、標準偏差、歪率等の値を用いた臨床的検討は症例を重ねた後の課題としたい。また心筋部の位相のずれの伝播の様子はあたかも心内の刺激伝導を表わしているように見えるが、本法は単なる容量変化の曲線のみをデータとしているだけに、今後、評価の検討が必要と考えられる。

V. 結 論

Phase analysis は従来の ECG 同期心プールイメージングに引き続き実行でき、処理も簡便で実用的である。即ち、局所心筋壁の動きの程度、収縮状態の局所の変動を各々1枚の画像に表示し得る。また従来の心筋壁運動異常の検出は perimetric な

異常としてしか得られなかったのに対し、中央部の異常も容易に検出でき、さらにヒストグラム解析により定量評価も可能となった。

位相のずれをシネモード表示することにより、心筋の収縮状態を時間、空間的に観察でき、異常部の検出に有用と思われた。

本法は今後、心筋断層イメージングと共に心臓核医学の主軸になると考えられる。

文 献

- 1) Adam WE, Tarkowska A, Bitter F, et al: Equilibrium (gated) radionuclide ventriculography. *Cardiovasc Radiol* 2: 161-173, 1979
- 2) Byrom E, Pavel DG: Algorithm for quantification of regional wall motion abnormalities, using the phase image of the ECG-synchronized cardiac study. *J Nucl Med* 21: p 47, 1980
- 3) Links MJ, Douglass HK, Wagner, Jr NH: Patterns of ventricular emptying by Fourier analysis of gated blood-pool studies. *J Nucl Med* 21: 978-982, 1980

Summary

Evaluation of Regional Wall Motion Using Phase Analysis of Gated Blood Pool Study

Takao MUKAI, Nagara TAMAKI, Yasushi ISHII, Kazutaka YAMAMOTO, Kotaro MINATO, Toru FUJITA and Kanji TORIZUKA

Department of Radiology and Nuclear Medicine, Kyoto University Medical School, Kyoto

By submitting an equilibrium gated blood pool study to a pixel by pixel temporal Fourier analysis, two functional images were obtained of the phase of the first Fourier component. We have applied these images to the evaluation of regional wall motion abnormalities in ischemic heart disease. In an attempt to evaluate them quantitatively, we have constructed a histogram with phase in radian versus activity-weighted pixel. In normal persons, the phase image indicated almost synchronous contraction of the left ventricle with a narrow peak in their histogram. On the contrary, in the

cases of myocardial infarction, their phase image indicated asynchronous contraction with broader peak in their histogram. Furthermore, the phase image could detect not only in the perimetric regions but also in the "en face" regions of the left ventricle. In conclusion, our study indicates that temporal Fourier analysis allows us to detect regional wall motion abnormalities as well as to estimate them quantitatively.

Key words: Temporal Fourier analysis, Gated blood pool study, Regional wall motion