

Fourier amplitude ratio による左室逆流性弁膜疾患 の評価

Quantitation of left-sided valvular regurgitation by gated cardiac blood pool scan: Evaluation of a new approach using the Fourier amplitude ratio

小野 彰史
水野 春芳
豊福 孝夫
田原 順雄
岡田 道雄
石川 恭三

Akifumi ONO
Haruyoshi MIZUNO
Takao TOYOFUKU
Yorio TAHARA
Michio OKADA
Kyozo ISHIKAWA

Summary

Utilizing the Fourier amplitude ratio (FA ratio), we evaluated a new approach for quantitating valvular regurgitation by the gated cardiac blood pool scan. The subjects consisted of 36 patients with documented left ventricular regurgitation of grade I-IV (group 1), 24 patients with myocardial infarction including severe cardiac dysfunction (group 2), and 15 normal persons (group 3).

From each pixel of the gated cardiac blood pool scan, a time-activity curve was obtained and the first-harmonic Fourier analysis was performed. Two functional images; namely, the phase and amplitude images, were generated. To generate the FA ratio, the region of interest was drawn around each ventricle in the amplitude image. The FA ratio was calculated using the following formula; FA ratio = left ventricular amplitude value / right ventricular amplitude value.

The FA ratio was 2.66 ± 1.75 (mean \pm S.D.) in group 1; 1.29 ± 0.27 in group 2; and 1.11 ± 0.19 in group 3. The FA ratio for group 1 was significantly higher than those of groups 2 and 3 ($p < 0.001$). There was no significant difference between the FA ratios of groups 2 and 3.

In patients with regurgitation, the FA ratio was 1.50 ± 0.37 in patients with grade I, 1.97 ± 0.34 in grade II, 2.73 ± 0.95 in grade III; and 6.65 ± 2.14 in grade IV. There was a good agreement between the FA ratios and quantitative angiographic estimates of regurgitation. Furthermore, the utilization of the amplitude image allowed a more simplified, accurate image of the region of interest than provided by customary methods, and avoided the problems of selecting the background and end-diastolic and end-systolic frames. With its simplicity and accuracy, we found high interobserver and intraobserver agreement.

杏林大学医学部 第二内科
三鷹市新川 6-20-2 (〒181)

The Second Department of Internal Medicine,
Kyorin University School of Medicine, Shinkawa
6-20-2, Mitaka, Tokyo 181

Received for publication February 17, 1984 (Ref. No. 27-16)

We concluded that this approach is a useful method in evaluating left-sided valvular regurgitation and that it permits a noninvasive, reliable quantitation of the regurgitation. Such information is highly reproducible and should provide means for long-term follow-ups and evaluations of results of medical and surgical interventions.

Key words

Fourier amplitude ratio (FA ratio) Left-sided valvular regurgitation Gated cardiac blood pool scan
 Fourier analysis Amplitude image

はじめに

左室逆流性弁膜疾患の重症度評価法には、心血管造影法による forward output と angiographic output との比より定量する方法¹⁾, Sellers 分類に代表される半定量的診断法²⁾などがあるが、その侵襲性のため、平易、かつ繰り返し利用することはできない。

1979年、Rigoら³⁾は左心性逆流性弁膜疾患の非侵襲的かつ定量的診断法として、心電図同期心プール・スキャンによる方法を始めて報告し、その後、いくつかの報告がなされてきているが⁴⁻⁹⁾、関心領域および background 設定の問題、心機能低下の影響などの課題が残されている^{7,9)}。

今回、我々は左心性逆流性弁膜疾患の新しい定量的診断法として、心電図同期心プール・スキャンを用い、そのフーリエ解析により作成した amplitude image より、各心室の amplitude value の比 (Fourier amplitude ratio: FA ratio) を求め、評価する方法を考案し、さらに検討を加えたので報告する。

対象と方法

対象は左室逆流性弁膜疾患 (Group 1) 36例、高度の心機能低下症例を含む心筋梗塞 (Group 2) 24例、正常対照者 (Group 3) 15例の計75例で、男性51例、女性24例である。各群における年齢および左室駆出分画 (LVEF) を Table 1 に示す。

心電図同期心プール・スキャンは、仰臥位の患者に ^{99m}Tc 人血清アルブミン 20 mCi を静注し、約10分後の平衡時相にて行った。使用機器は東

芝製ガンマ・カメラ (GCA-401)、平行型汎用コリメータ、同社製核医学データ処理システム (GMS-80B) である。撮像方向は best septal position から頭側に約10°傾けた modified LAO とし、心電図の R-R 間隔を16等分したマルチゲート法にて、64×64のマトリックス・サイズで、4000キロ・カウントのデータを収集した。

このデータより、各ピクセル毎の time-activity curve にフーリエ変換を行い、一次項の phase および amplitude image を作成した (Fig. 1)。

次いで、ジョイスティックを用いて、amplitude image の上に直接、各心室の関心領域を設定し、そこから各心室の amplitude value を求めた (Fig. 2)。以上より求めた左室の amplitude value を右室の amplitude value にて除すことにより、FA ratio を算出した。なお、関心領域の設定にさいし、amplitude image のみでは設定が困難な場合には、まず phase image 上に関心領域を設定し、次にそれを amplitude image 上に転送するという方法によって、正確な関心領域の設定

Table 1. Population, age and left ventricular ejection fraction of study groups

	No. of cases	Age* (yrs.)	LVEF* (%)
Group 1 Valvular regurgitation	36	53.5±18.7	61.3±13.4
Group 2 Myocardial infarction	24	63.6±11.8	41.0±13.3
Group 3 Normal	15	50.1±13.1	70.6±7.9
Total	75	56.1±16.4	56.7±16.8

*: mean±S.D.

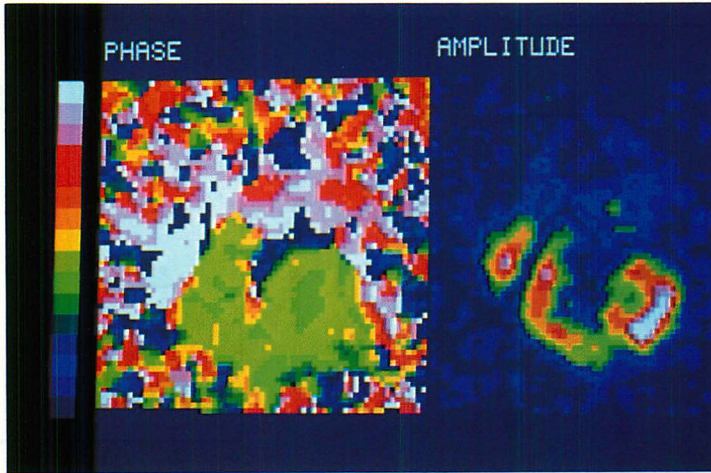


Fig. 1. The phase and amplitude images in a normal case.
Clear separation between atria and ventricles is observed.

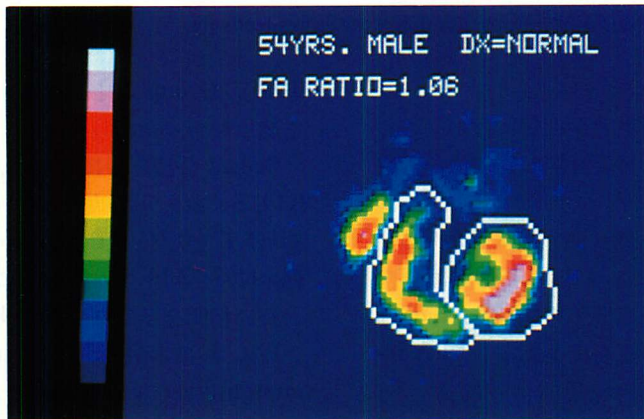


Fig. 2. Right and left ventricular regions of interest on the amplitude image in Fig. 1.

The Fourier amplitude ratio (FA ratio) is calculated by the following formula; FA ratio = left ventricular amplitude value / right ventricular amplitude value. The FA ratio of this case is 1.06.

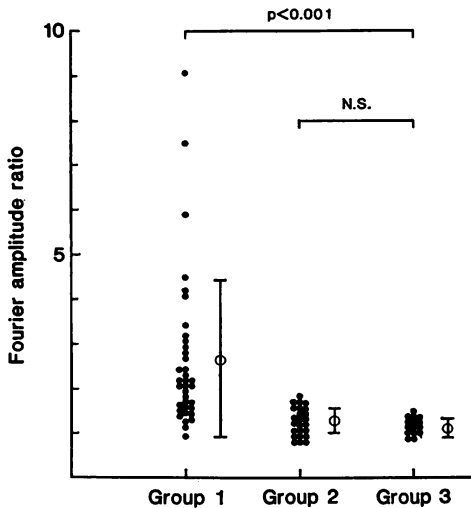


Fig. 3. The FA ratios of 75 patients, with mean value (open circle) and standard deviation (bar marker) for each group.

The FA ratio in group 1 is significantly higher than in the other two groups. There is no significant difference between the FA ratios in groups 2 and 3.

を容易にした。

以上の処理を2人の観察者が別個に行い、さらにそのうちの1人は後日再度計測し、本法の再現性を検討した。

さらに Group 1 の36例に関しては、全例心電図同期心プール・スキャンを行った1週間以内に、大動脈造影および左室造影を施行し、Sellersらの基準に従って逆流の重症度を判定し、FA ratioと比較、検討した。

また、このうちの6例に関しては、弁置換術施行後、心電図同期心プール・スキャンを再検し、手術前後のFA ratioの値を比較し、術後の経過観察における本法の有用性を検討した。

結 果

各群におけるFA ratioの値を Fig. 3 に示した。Group 1 = 2.66 ± 1.75 (mean \pm S.D.), Group 2 = 1.29 ± 0.27 , Group 3 = 1.11 ± 0.19 で、Group 1 は Group 2, 3 に比し有意に高値を示した ($p <$

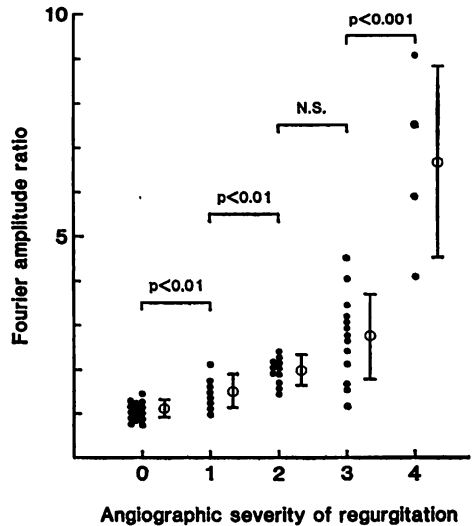


Fig. 4. Comparison of the FA ratio with the angiographic assessment of the severity of valvular regurgitation.

An open circle and a bar marker indicate mean and standard deviation for each angiographic grade, respectively.

0.001). Group 2 と Group 3 との間には有意差を認めなかった。

Sellers 分類との比較では、正常対照者 = 1.11 ± 0.19 , Sellers 分類 I 度の群 = 1.50 ± 0.37 , II 度の群 = 1.97 ± 0.34 , III 度の群 = 2.73 ± 0.95 , IV 度の群 = 6.65 ± 2.14 で、観血的に求めた逆流の重症度と良い相関を示した (Fig. 4).

Fig. 5 は本法における intraobserver および interobserver variation を示している。おのおの、 $r = 0.99$, $r = 0.98$ と極めて高い相関を認め、本法の高い再現性が示唆された。

Group 1 の中で弁置換術を施行した6例における手術前後のFA ratioの値は、Fig. 6 に示すごとく、術後において全例明らかな改善を示し (術前 = 2.87 ± 0.83 , 術後 = 1.17 ± 0.20 , $p < 0.001$), 術後のFA ratioは正常化した。

症例の呈示

症例 1: 57歳, 男性, 大動脈弁閉鎖不全症 (Sellers II 度) (Fig. 7)

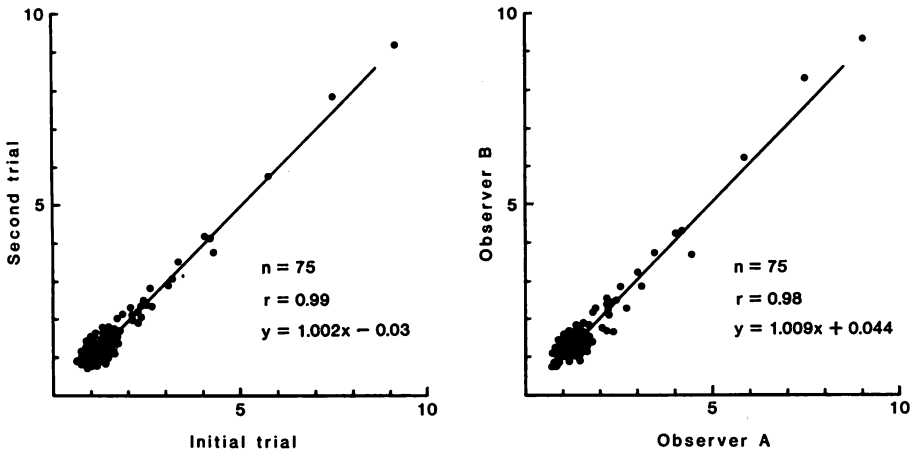


Fig. 5. Intraobserver (left) and interobserver (right) variations for this technique.

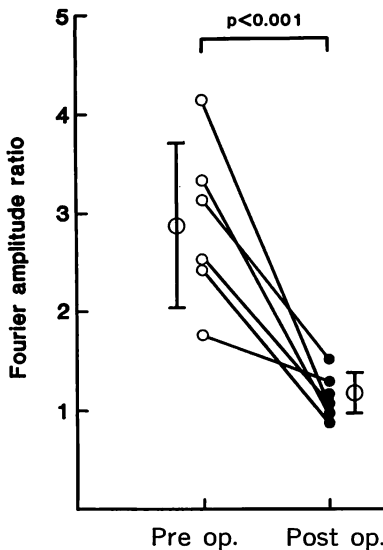


Fig. 6. The preoperative (Pre op., open circle) and postoperative (Post op., closed circle) FA ratios in six patients who underwent valve replacement.

The preoperative values decline to the normal range after surgery.

左室の amplitude value が増加しているため、先の正常対照例 (Fig. 2) に比し、右室の amplitude value が相対的に低く表示されている。FA

ratio は 1.57 と軽度増大を認めた。右の大動脈造影では大動脈弁からの逆流による jet を認め、左室が淡く造影され、Sellers II 度の大動脈弁閉鎖不全症と診断した。

症例 2: 72 歳, 男性, 大動脈弁閉鎖不全症 (Sellers IV 度) (Fig. 8)

相対的な右室 amplitude value の低下はさらに著明で、左室への逆流がさらに高度なことが示唆される。FA ratio は 5.87 と著明な増大を示した。大動脈造影では、大動脈を上まわるほどの、濃い、著明な左室の造影を認め、Sellers IV 度と診断した。

症例 3: 53 歳, 男性, 大動脈弁閉鎖不全症 (Sellers IV 度) (Fig. 9)

左の術前検査では、心拡大、右室 amplitude value の相対的低下が著明で、FA ratio は 4.13 と高値を示した。右の術後検査では、心拡大、右室 amplitude value の相対的低下とともに改善し、FA ratio も 1.05 と正常化し、術後の経過が良好なことが示唆された。

考 察

心電図同期心プール・スキャンによる左室逆流性弁膜疾患の定量的評価は、1979 年 Rigo ら³⁾の

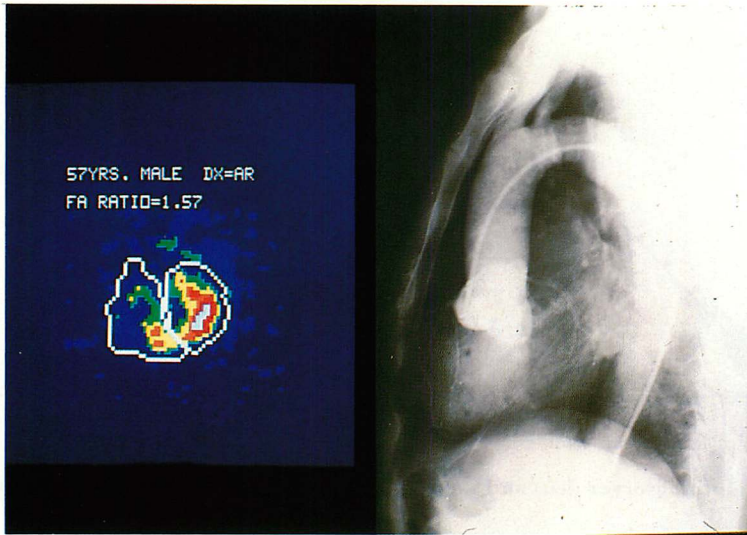


Fig. 7. The amplitude image (left) and aortogram (right) in Case 1.
The FA ratio is 1.57. The severity of aortic regurgitation (AR) is grade II.

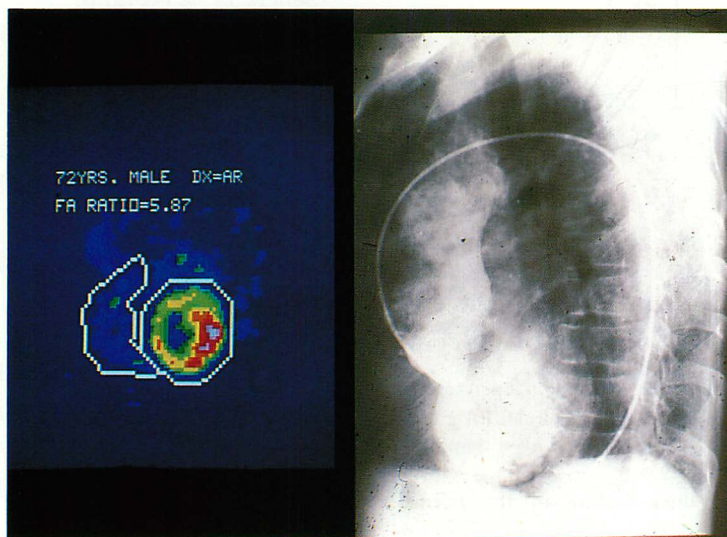


Fig. 8. The amplitude image (left) and aortogram (right) in Case 2.
The FA ratio is 5.87. The severity of AR is grade IV.

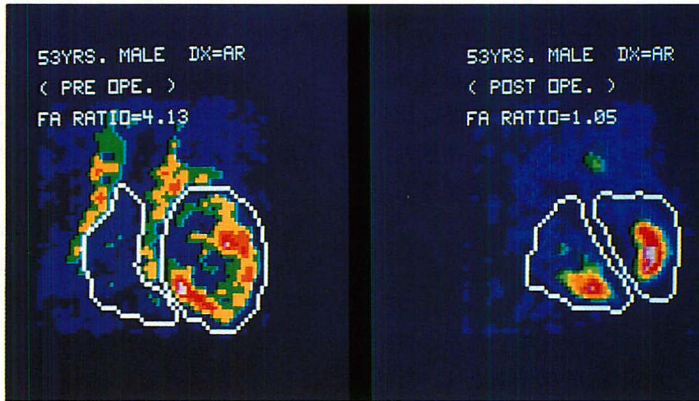


Fig. 9. The preoperative (left) and postoperative (right) amplitude images in Case 3 who underwent successful valve replacement.

The preoperative and postoperative values of the FA ratio are 4.13 and 1.05, respectively.

報告に始まり、その後諸家により種々の工夫がなされてきている⁴⁻⁹⁾。その主なものとしては、fixed ROI 法^{3,6,7)}、variable ROI 法⁵⁾、slant-hole collimator 法⁴⁾などが挙げられる。我々も独自に stroke volume image 法を考案、報告し、良好な成績を得ている⁸⁾。しかし、これまでの各心室の stroke count の比を求める方法では、関心領域および background の設定方法が常に問題となり、また高度な心機能低下症例における逆流量の過小評価が指摘されていた^{7,9)}。

一方、心電図同期心プール・スキャンのデータをフーリエ解析して得られる functional image には、phase image と amplitude image の二つがあるが¹⁰⁾、phase image が局所壁運動異常や刺激伝導系の異常の診断に広く利用され、研究されている¹¹⁻¹⁵⁾のに反し、amplitude image は単に局所 stroke volume の一指標としてながめられているにすぎなかった。

今回我々は、amplitude image では各心房、心室の境界が明瞭に分離でき、また各心室の amplitude value が原則としてその stroke volume を反映することに着目し、左右心室の amplitude value の比をとって、左室逆流性弁膜疾患の重症度を評価する方法を考案した。本法では直接、ま

たは症例によっては phase image を付加して、amplitude image 上に関心領域を設定するため、従来の方法に比し、関心領域の設定が著しく簡便に、かつ客観的となった。また、background 処理および拡張・収縮終期フレームの決定も一切不用となり、以上のことより簡便でかつ非常に客観性に富み、再現性に優れた結果が得られた。また、従来の方法では逆流量が過小評価され課題とされていた高度の心機能低下症例においても、FA ratio は正常対照群に比し低値を示さず、さらに心血管造影法にて観血的に求めた逆流の重症度とも良い相関を認めた。

一方、本法の問題点としては、dyskinesis が存在する場合に、amplitude value が stroke volume を反映するという前提条件が崩れ、実際の stroke volume より過大評価してしまう点が挙げられる。今回の検討でも、group 2 の中で、心室瘤の症例は比較的高値を示す傾向にあった。実際の臨床の場合において、左室逆流性弁膜疾患が dyskinesis を示す場合は極めてまれであるが、本法により逆流量を検討する際には注意すべき点であると思われる。

また、本法を用いても、右房、右室の overlap は不可避であり、さらに右心系に逆流性弁膜疾患

が存在する場合に, 左心系の逆流を過小評価してしまう欠点は依然として残されている. しかし, そのような点に留意すれば, 本法は左室逆流性弁膜疾患の定量的診断法として, 従来の方法に比し, 簡便かつ優れた再現性, 精度を有し, 手術前後の経過観察など臨床的に高い有用性を有するものと考えられる.

要 約

心電図同期心プール・スキヤンを用いた左心性逆流性弁膜疾患の新しい定量的診断法として, Fourier amplitude ratio (FA ratio) による方法を考案, 検討した. 対象は左室逆流性弁膜疾患 (Group 1) 36 例, 高度の心機能低下症例を含む心筋梗塞 (Group 2) 24 例, 正常対照者 (Group 3) 15 例の計 75 症例である. 心電図同期心プール・スキヤンより得られたデータにフーリエ変換を行い, 一次項の phase および amplitude image を作成し, amplitude image 上に直接, 各心室の関心領域を設定した. そこより各心室の amplitude value を求め, 両心室の amplitude value の比 (FA ratio = LV amplitude value / RV amplitude value) を求め, 検討した.

その結果, 各 group における FA ratio の値は, group 1 = 2.66 ± 1.75 (mean \pm S.D.), group 2 = 1.29 ± 0.27 , group 3 = 1.11 ± 0.19 で, group 1 は group 2, 3 に比し有意に高値を示した ($p < 0.001$). Group 2 と 3 との間には有意差を認めなかった.

心血管造影所見 (Sellers 分類) との比較では, 正常対照者 = 1.11 ± 0.19 , Sellers 分類 I 度の群 = 1.50 ± 0.37 , II 度の群 = 1.97 ± 0.34 , III 度の群 = 2.73 ± 0.95 , IV 度の群 = 6.65 ± 2.14 で, 観血的に求めた逆流の重症度と良い相関を示した.

また, amplitude image 上に直接関心領域を設定するため, 従来の方法に比し, 関心領域の設定が著しく簡便かつ正確となった. さらに, background 処理, 拡張および収縮終期フレームの決定も不用となり, このことより非常に客観性に富

み, 再現性に優れた結果が得られた.

本法は左心性逆流性弁膜疾患の定量的診断法として, 非観血的かつ優れた再現性ならびに精度を有し, 手術前後の経過観察など, 臨床的に高い有用性を有するものと思われた.

稿を終えるにあたり, 種々の御助力をいただいた当院放射線科核医学部 古屋儀郎教授以下, 大里昭司, 鮎川幸雄, 小林邦典, 永岡憲明, 里中洋一の諸氏に深謝いたします.

文 献

- 1) Sandler H, Dodge HT, May RE, Rackley CE: Quantitation of valvular insufficiency in man by angiocardiology. *Am Heart J* 65: 501-513, 1963
- 2) Sellers RD, Levy MJ, Amplatz K, Lillehei CW: Left retrograde cardioangiography in acquired cardiac disease. *Am J Cardiol* 14: 437-447, 1964
- 3) Rigo P, Alderson PO, Robertson RM, Becker LC, Wagner HN Jr: Measurement of aortic and mitral regurgitation by gated cardiac blood pool scans. *Circulation* 60: 306-311, 1979
- 4) Bough EW, Gandsman EJ, North DL, Shulman RS: Gated radionuclide angiographic evaluation of valve regurgitation. *Am J Cardiol* 46: 423-428, 1980
- 5) Sorensen SG, O'Rourke RA, Chaudhuri TH: Noninvasive quantitation of valvular regurgitation by gated equilibrium radionuclide angiography. *Circulation* 62: 1089-1098, 1980
- 6) Urquhart J, Patterson RE, Packer M, Goldsmith SJ, Horowitz SF, Litwak R, Gorlin R: Quantification of valve regurgitation by radionuclide angiography before and after valve replacement surgery. *Am J Cardiol* 47: 287-291, 1981
- 7) Lam W, Pavel D, Byrom E, Sheikh A, Best D, Rosen K: Radionuclide regurgitant index: Value and limitations. *Am J Cardiol* 47: 292-298, 1981
- 8) Ono A, Tahara Y, Ishikawa K: Measurement of left-sided valve regurgitation by gated cardiac blood pool scans using stroke volume imaging. *J Cardiology* 12: 667-673, 1982 (in Japanese)
- 9) Nicod P, Corbett JR, Firth BG, Dehmer GJ, Izquierdo C, Markham RV, Hillis LD, Willerson JT, Lewis SE: Radionuclide techniques for valvular regurgitant index: Comparison in patients with normal and depressed ventricular function. *J Nucl Med* 23: 763-769, 1982

- 10) Adam WE, Tarkowska A, Bitter F, Stauch M, Geffers H: Equilibrium (gated) radionuclide ventriculography. *Cardiovasc Radiol* 2: 161-173, 1979
- 11) Botvinick E, Dunn R, Fraiss M, O'Connell W, Shosa D, Herfkens R, Scheinman M: The phase image: Its relationship to patterns of contraction and conduction. *Circulation* 65: 551-560, 1982
- 12) Swiryn S, Pavel D, Byrom E, Witham D, Meyer-Pavel C, Wyndham CRC, Handler B, Rosen KM: Sequential regional phase mapping of radionuclide gated biventriculograms in patients with left bundle branch block. *Am Heart J* 102: 1000-1010, 1981
- 13) Swiryn S, Pavel D, Byrom E, Bauernfeind RA, Strasberg B, Palileo E, Lam W, Wyndham CRC, Rosen KM: Sequential regional phase mapping of radionuclide gated biventriculograms in patients with sustained ventricular tachycardia: Close correlation with electrophysiologic characteristics. *Am Heart J* 103: 319-332, 1982
- 14) Fraiss MA, Botvinick EH, Shosa DW, O'Connell WJ, Scheinman MM, Hattner RS, Morady F: Phase image characterization of ventricular contraction in left and right bundle branch block. *Am J Cardiol* 50: 95-105, 1982
- 15) Botvinick EH, Fraiss MA, Shosa DW, O'Connell JW, Pacheco-Alvarez JA, Scheinman M, Hattner RS, Morady F, Faulkner DB: An accurate means of detecting and characterizing abnormal patterns of ventricular activation by phase image analysis. *Am J Cardiol* 50: 289-198, 1982