

## 《原 著》

## 左心室駆出率測定の簡易化、自動化のための一考察

稻垣 末次\* 足立 晴彦\* 杉原 洋樹\* 勝目 紘\*  
 伊地知浜夫\* 岡本 邦雄\*\* 細羽 実\*\*\*

**要旨** 平衡時心電図同期心プール法による左心室駆出率 (LVEF) 算出において、関心領域 (ROI) を必要としない新しいバックグランド (BKG) 処理方法を考案し (Fixed BKG ratio 法)、心疾患患者および正常者計30名を対象に、観血的左心室造影法 (LVG) で求めた EF を基準として、精度、再現性について、BKG-ROI を用いる従来の方法と比較検討した。BKG を左心室拡張終期 カウント数の 64%とした時、LVG と最も良く相関 ( $r=0.936$ ) するとともに近似値をとり (LVG-EF  $61.2 \pm 21.4\%$ 、Fixed BKG ratio EF  $61.1 \pm 20.1\%$  ( $\text{Mean} \pm \text{SD}$ ))、他法より EF 過小評価傾向が是正され、再現性も良好であった。Fixed BKG ratio 法は難解とされる BKG 処理の一方法として有用であり、EF 算出処理が簡略化されるため、自動処理への応用や ROI 設定の困難なシングルプロープシステムへの応用が期待できる。

## I. はじめに

平衡時心電図同期心プール法により左心室駆出率 (LVEF) を求める場合、バックグランド (BKG) の処理方法は、多種多様で理想的な方法がなく、未解決な問題とされている。従来より多用されている方法は、BKG を左心室像の近辺に関心領域 (ROI) を設定して求めるものであるが、手動で行う場合、主観が入りやすく、自動的に行う場合にも肺血管、大動脈、脾臓などの諸臓器内の放射能に影響されるなど、LVEF 算出時に関与する不定要因である。

著者らは、これらの煩雑で不定要因の多い BKG-ROI の設定を行わず、LVEF を算出する新しい方法を考案し、観血的左心室造影法 (LVG) で得られた LVEF を基準として、その妥当性について従来法と対比検討した。

## II. 対象および方法

対象とした患者は、陳旧性心筋梗塞症 7 例、狭心症 6 例、肥大型心筋症 4 例、拡張型心筋症 2 例、心房中隔欠損症 2 例、心室中隔欠損症 1 例、大動脈弁閉鎖不全症 1 例、僧帽弁狭窄症 2 例、および正常 5 例の計30症例で、これら全例は、心プール法検査の 3 週間以内に LVG を施行し得た症例であった。

心プール法は 20 mCi, Tc-99m HSA を静注後、平衡に達したのち、平行孔・多用途型コリメーターを装着したガンマカメラ (Searl 社, pho/gamma LFOV) を各心房、心室が最も明瞭に区別できる左前斜位 (modified LAO) に設定し、心電図同期マルチゲート法で 480 秒間のデータ収集を島津製作所製シンチパック 1200 を使用して行った。

LVEF を算出する方法として、以下の 5 種類のプロトコールを設定した。プロトコール I~IV は BKG-ROI を設定する従来の方法であり、プロトコール V は、著者らが考案した BKG-ROI を設定せず左心室拡張終期カウント数 (EDC) の閾値とみなす方法 (Fixed BKG ratio 法) である (Table 1)。

(1) プロトコール I; 左心室には Fixed ROI 法

\* 京都府立医科大学第二内科

\*\* 同 RI 室

\*\*\* 島津製作所

受付: 59年6月14日

最終稿受付: 59年8月6日

別刷請求先: 守口市日向町14 松下社宅21号 (5570)

稻垣 末次

を適用し、BKG-ROI を左心室拡張終期(ED)像と収縮終期(ES)像の間に設定し(Inside BKG)，その Time activity curve (TAC) の収縮終期での値を用いて補正した。

(2) プロトコール II; 同上の BKG 处理であるが，左心室には Variable ROI 法を適用した。

(3) プロトコール III; ED 像の外側下方に，2~3 画素離して約90度の弓状 BKG-ROI を設定し(Outside BKG)，BKG-TAC の平均値を用いて補正し，左心室には，Fixed ROI 法を適用した。

(4) プロトコール IV; 同上の BKG 处理であるが，Variable ROI 法を適用した。

(5) プロトコール V; BKG のための ROI を設定せず，BKG をEDC の関数とみなして求める方法で，

$$\text{BKG} = \beta \times \text{EDC} \quad (1)$$

$$(0 < \beta < 1)$$

の式が与えられ，一方 EF は

$$\text{EF} = \text{SC}/(\text{EDC} - \text{BKG}) \quad (2)$$

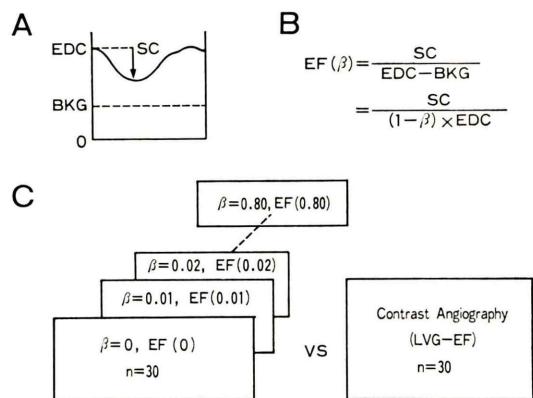
で求められるので，これらから

$$\text{EF}(\beta) = \text{SC}/(1 - \beta) \times \text{EDC} \quad (3)$$

が得られる。 $\beta$  の至適な値を求めるため，病態，機能の異なる対象30例において， $\beta$  を0から0.80

**Table 1** Four standard methods (protocol I-IV) requiring background region-of-interest assignment and our new simplified background processing (protocol V) were assessed

Protocol	LV-ROI	Background
I	Fixed	
II	Variable	
III	Fixed	
IV	Variable	
V	Fixed	$\text{BKG} = \beta \times \text{EDC}$ $(0 < \beta < 0.80)$ Fixed BKG Ratio Method



**Fig. 1** LVEF measurement by fixed BKG ratio method.

A: EDC=end-diastolic count rates, SC=stroke count rates, BKG=background

B: Formula of LVEF calculation

C: The search for the optimal  $\beta$ -value in comparison with LVEF obtained by contrast angiography

まで連続的に変化させた場合の EF を求め，LVG で求めた EF と直線回帰させ，最も近似性の強い値を検索した(Fig. 1)。

LVG は，76%ウログラフィン 40~60 ml を約3秒間で注入し，毎秒60フレームの biplane 法で撮影し，Dodge の方法<sup>1)</sup>より左心室容積を求め，EF を算出した。

### III. 結 果

#### (1) 従来法の検討

BKG-ROI を設定する従来の方法による EF を，LVG による EF と対比すると (Fig. 2, Table 2)，回帰直線の傾きは Fixed ROI 法で，0.76 (Inside BKG; プロトコール I), 0.87 (Outside BKG; プロトコール III)，また Variable ROI 法で，0.78 (プロトコール II), 0.89 (プロトコール IV) であり，LV-ROI にかかわらず，Inside BKG で EF を過小評価する傾向がみられた。一方，相関係数は，いずれも 1%以下の危険率で，Fixed ROI 法では，0.936 (Inside BKG; プロトコール I), 0.822 (Outside BKG; プロトコール III)，また Variable ROI 法で，それぞれ 0.942 (プロトコール II), 0.927 (プロ

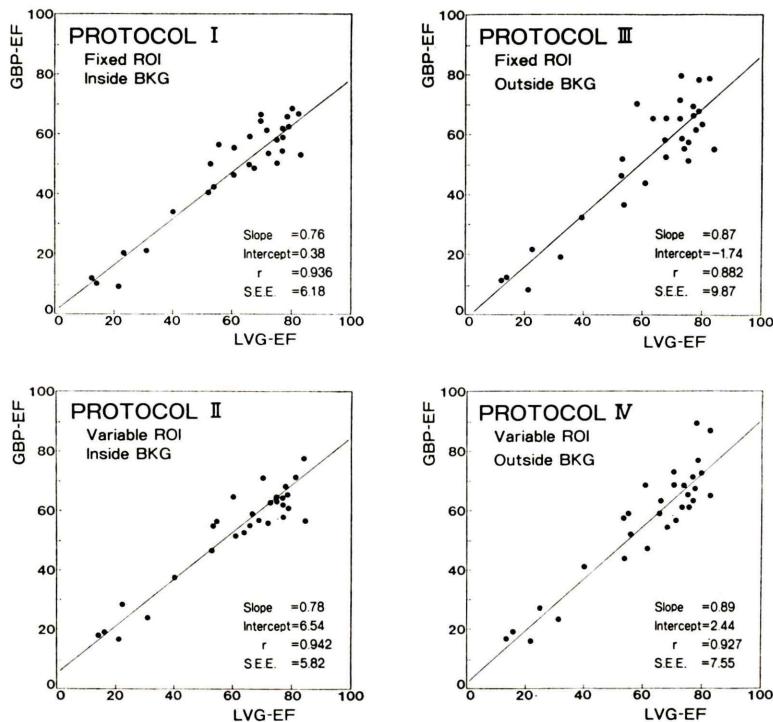


Fig. 2 Relationship of ejection fraction between gated blood pool (GBP-EF) and contrast levography (LVG-EF).

プロトコール IV) となり、推定標準誤差 (SEE) は、Fixed ROI 法で、それぞれ 6.18, 9.87 また Variable ROI 法で、5.82, 7.55 となり、LV-ROI にかかわらず、Outside BKG では相関が悪くなる傾向がみられた。

## (2) Fixed BKG ratio 法の検討

### (a) 至適値の検討

Fixed BKG ratio 法 (プロトコール V)において、変数とみなした  $\beta$  と、回帰直線の切片、傾き、推定標準誤差 (SEE)、相関係数、また対象 30 例の EF の平均値とその標準偏差 (SD) との関係では、切片、傾き、SEE は  $\beta$  とともに増加したが (Fig. 3 A, B, C), 相関係数 (Fig. 3 D) は、 $\beta$  が 0.64 で極大値  $r=0.936$  ( $p<0.001$ ) を示した。また、EF の平均値、SD は同様に  $\beta$  の増加に応じて増加したが、 $\beta=0.66$  の場合 LVG による結果  $61.2 \pm 21.4\%$  (Mean  $\pm$  SD) と一致した (Fig. 3 E, F)。こ

れらの結果より、LVG の EF と最も相関・近似性の高くなる  $\beta=0.64$  を至適値として採用した。この至適値による回帰式は、 $y = 0.92x + 4.74$  ( $y$ : Fixed BKG ratio 法 EF,  $x$ : LVG-EF),  $r=0.936$ , SEE=7.33 と良好な結果が得られた (Fig. 5, Table 2)。

### (b) 普遍性の検討

BKG が EDC の関数であり、 $\beta=0.64$  を採用した場合、この普遍性を検討するため、左心室の大きさ、体格、さらに疾患別での比較をおこなった。LVG から求めた拡張終期容積 (EDV) を 150 ml を境に 2 群に分別し、回帰直線との関係をみると、両群とも大きな偏位は認められなかった (Fig. 4 A, B)。

体表面積  $1.62 \text{ m}^2$  を境として、体格の大小の 2 群に分けた場合にも、同様の傾向が認められた (Fig. 4 C, D)。

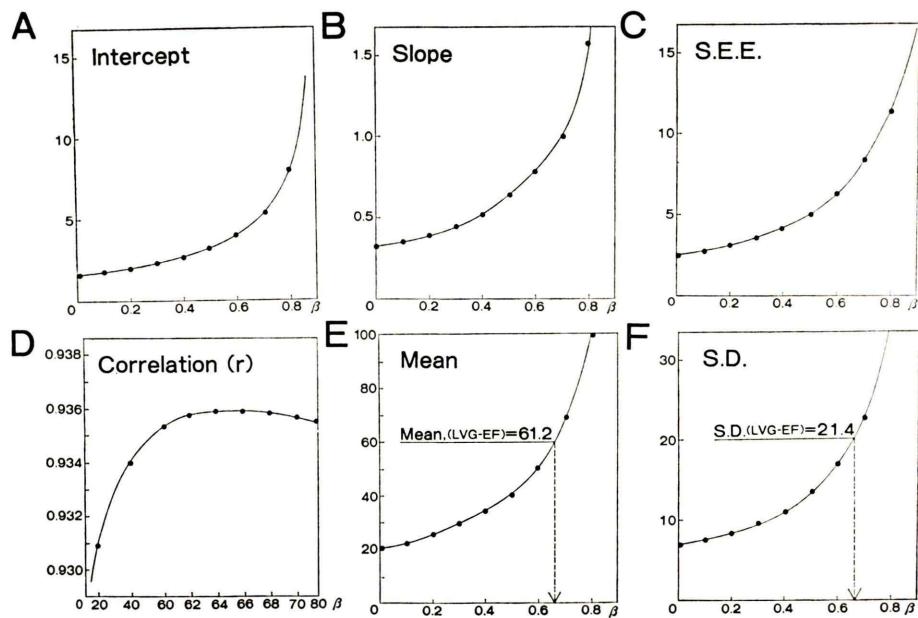


Fig. 3 Influence of varying ratio ( $\beta$ ) of BKG/EDC on intercept, slope, standard error of estimate (S.E.E.), correlation coefficient (r), mean and standard deviation (S.D.). Note the best correlation obtained with a ratio of 0.64, and most approximated with a ratio of 0.66.

Table 2 Comparison of ejection fraction results

Contrast levography	Inside BKG ROI		Outside BKG ROI		Fixed BKG ratio method
	Fixed	Variable	Fixed	Variable	
Mean	61.2	48.2	51.7	56.7	61.1
Standard deviation ( $\pm 1$ S.D.)	21.4	17.0	20.2	19.5	20.1
Intercept	0.38	6.54	-1.74	2.44	4.74
Slope	0.76	0.78	0.87	0.89	0.92
Standard error of estimate	6.18	5.82	9.87	7.55	7.33
Correlation coefficient	0.936	0.942	0.882	0.927	0.936

疾患別の比較でも、特別に過大もしくは過小評価した疾患群は認めなかった (Fig. 5).

### (3) 再現性の検討

LV-ROI 設定条件を固定し、BKG-ROI 設定操作の有無、および方法による影響を比較するため、Fixed ROI 法における Inside BKG (プロトコール I), Outside BKG (プロトコール III) と、Fixed BKG ratio 法 (プロトコール V) について、これらによる再現性を検討した (Table 3). 対象30例の

うち無作為に抽出した10例のデータを、4名の専門医が2回ずつ処理して求めた EF の検者内変動は Fixed BKG ratio 法で最も少なく ( $1.7 \pm 1.4\%$ ; EF 变动平均值  $\pm$  SD), Inside BKG ( $3.9 \pm 2.6\%$ ) と Outside BKG ( $3.6 \pm 3.1\%$ ) では差がなかった。一方、検者間変動は、Fixed BKG ratio 法 ( $3.5 \pm 2.9\%$ ) と Outside BKG ( $3.9 \pm 3.2\%$ ) では差がなかったが、Inside BKG ( $7.5 \pm 4.6\%$ ) で高値を示した。

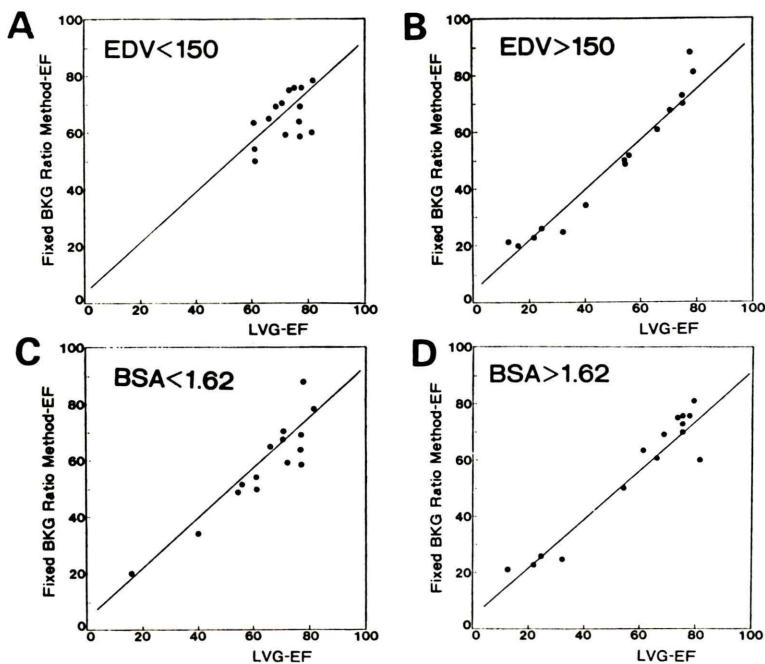


Fig. 4 The availability of the fixed ratio of 0.64 is shown independent of cardiac performance and body size.

- A: Subjects with end-diastolic volume (EDV) smaller than 150 ml
- B: Subjects with EDV larger than 150 ml
- C: Subjects with body surface area (BSA) less than 1.62 m<sup>2</sup>
- D: Subjects with BSA more than 1.62 m<sup>2</sup>

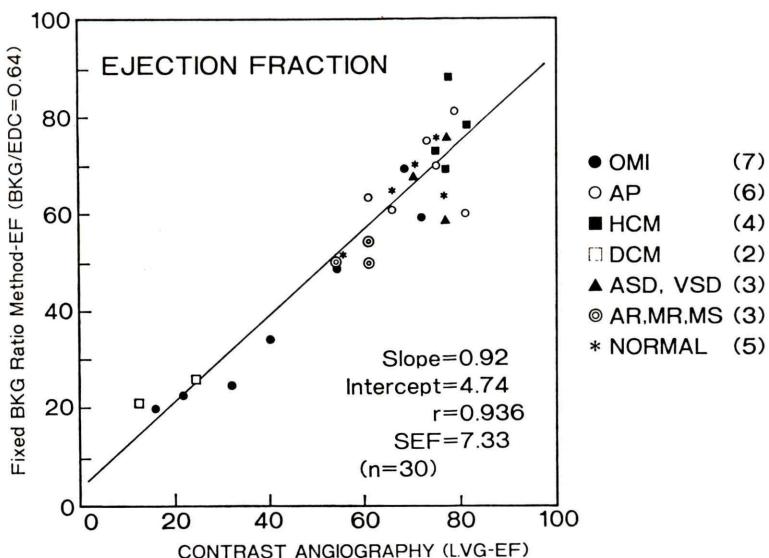


Fig. 5 Relationship between fixed BKG ratio method EF and LVG-EF. The fixed ratio of 0.64 is available to various heart diseases.

**Table 3** Results of reproducibility assessment with different BKG corrections and "Fixed" LV-ROI. Each values are given in ejection fraction units ( $\pm 1$  S.D.)

	Inside BKG	Outside BKG	Fixed BKG ratio
Intra-observer	3.9 $\pm$ 2.6	3.6 $\pm$ 3.1	1.7 $\pm$ 1.4
Inter-observer	7.5 $\pm$ 4.6	3.9 $\pm$ 3.2	3.5 $\pm$ 2.9

#### IV. 考 察

平衡時心電図同期心ピール法<sup>2)</sup>による心機能評価法が近年通用されつつあるが、LVEFの算出に關し必ずしも一定の方法論上の見解は得られていない。左心室ROI設定に関しては、FixedおよびVariable ROI法の優劣が、精度、再現性、処理に要する時間などの点で論じられ<sup>3~5)</sup>、またBKG処理に関してもGorisらの補間法<sup>6)</sup>や、左心室像の近辺に、各種形状のBKG-ROIを設定する方法<sup>7~9)</sup>などが採用されている。しかし、ED像またはES像で描出された左心室辺縁、肺血管、大動脈、脾臓などの位置関係の考慮が必要で、これをすべて自動処理<sup>10,11)</sup>に任せることは困難である。また手動でROIを設定する際にも検者の主觀が入りやすくLVEF算出法におけるBKGの処理には未解決の問題が残されている。

そこで著者らは、EDCの一定割合をBKGとして用いることで、BKG-ROI設定操作を省略する方法を考案し、本法によるEFとLVGによるEFと比較し、精度および再現性を検討した。

一般的に心ピール法で求めたEFはLVGと比較して低値をとることが多く、特にFixed ROI法はVariable ROI法に比べその傾向が強いとされている。この点は本検討でも同様の傾向が認められたが、さらにBKG-ROIの設定方法の差違にも影響されることが、FixedまたはVariable ROI法にかかわらず、Inside BKGではOutside BKGより回帰式の傾き、EFの平均値ともに低く、EFを過小評価する傾向が認められたことより明らかとなった。しかし、InsideおよびOutside BKGの優劣は相関係数、SEEでみるとInside BKGがOutside BKGより優れている結果となった。

これら従来のBKG測定法に対し、Fixed BKG ratio法では係数 $\beta$ を変動させて相関係数が極大値となる $\beta$ を選んだ場合、得られたEFの平均値はLVGとほぼ一致し、回帰式の傾きは他法よりも優れ、EFの過小評価傾向が是正された。本法はBKGを左心室カウント数の関数として固定させるので、その普遍性が問題となるが、LVGでのEFが低値(25%以下)で、しかもEDVがきわめて大きい陳旧性心筋梗塞症2例および拡張型心筋症2例の症例のみ、EFを過大に評価する傾向を示したが、心機能と関連するEDVの大小や体表面積の大小、さらに疾患とはほぼ関係なく成立すると思われた。

再現性については、Fixed BKG ratio法は、検者内変動は最も小さく、検者間ではInside BKGよりは優れ、Outside BKGとは同等であったが、これはBKG-ROI設定操作が省略されたため、検者内、検者間とも変動が小さくなったと考えられる。しかし、本法ではLV-ROI設定の検者間変動がそのままBKG値にも反映するため、LV-ROI設定操作に一層の再現性向上を計る必要があろう。

Fixed BKG ratio法は、難解とされるBKG処理の一方法として有用であり、LV-ROI設定のみで精度、再現性とも良好なEF算出が可能で、大幅に処理が簡略化されるため、自動処理への応用やROI設定が困難なシングルプローブシステムへの応用が期待できる。

#### V. 結 語

平衡時心電図同期心ピール法による左心室駆出率(LVEF)測定時のバックグラウンド(BKG)処理の新しい方法(Fixed BKG ratio法)を考案し、観血的左心室造影法で求めたLVEFを基準として、その精度、再現性につき、従来の方法と比較検討した。その結果、拡張終期左心室カウント数の64%をBKGとして差し引きLVEFを算出する本法は、精度、再現性において他方と遜色なく、種々の病態、心機能状態においても使用できることを見出した。本法はLVEF測定上、簡易化さら

に自動化の面で有用と考えられる。

本論文の要旨は第23回日本核医学会総会において発表した。

## 文 献

- 1) Dodge HT, Sandler H, Baxley WA, et al: The use of biplane angiography for the measurement of left ventricular volume in man. Am Heart J **60**: 762-776, 1960
- 2) Straus HW, Zaret BL, Hurley PL, et al: A scintigraphic method for measuring left ventricular ejection fraction in man without cardiac catheterization. Am J Cardiol **28**: 575-580, 1971
- 3) Burow RD, Strauss WH, Singleton R, et al: Analysis of left ventricular function from multiple gated acquisition cardiac blood pool imaging. Circulation **56**: 1024-1028, 1977
- 4) Wackers FJ, Johnstone DE, Reduto LA, et al: Multiple gated cardiac blood pool imaging for left ventricular ejection fraction: Validation of the technique and assessment of variability. Am J Cardiol **43**: 1159-1166, 1979
- 5) Sorensen SG, Caldwell J, Ritchie J, et al: "Abnormal" responses of ejection fraction to exercise, in healthy subjects, caused by region-of-interest selection. J Nucl Med **22**: 1-7, 1981
- 6) Goris ML, Daspit SG, et al: Interpolative background subtraction. J Nucl Med **18**: 781, 1976
- 7) Sorensen SG, Hamilton GW, William DL, et al: R-Wave synchronized blood pool imaging. Radiol **131**: 473-478, 1979
- 8) Slutsky R, Pflisterer M, Verba J, et al: Influence of different background and left ventricular assignments on the ejection fraction in equilibrium radionuclide angiography. Radiol **135**: 725-730, 1980
- 9) Tayler DN, Garvie NW, Harris D, et al: The effect of various background protocols on the measurement of left ventricular ejection fraction in equilibrium radionuclide angiography. Br J Radiol **53**: 205-209, 1980
- 10) Goris ML, McKillop JH, Briandet PA: A fully automated determination of the left ventricular region of interest in nuclear angiography. Cardiovasc Intervent Radiol **4**: 117-123, 1981
- 11) Hutton BF, Cormack J, Fulton RR: A soft ware package for the analysis of gated cardiac blood pool studies. Aust Phys Eng Sci in Med **5**: 128-134, 1982

## Summary

### **A New Approach for Simplified and Automated Measurement of Left Ventricular Ejection Fraction by ECG Gated Blood Pool Scintigraphy**

Suetsugu INAGAKI\*, Haruhiko ADACHI\*, Hiroki SUGIHARA\*, Hiroshi KATSUME\*,  
Hamao IJICHI\*, Kunio OKAMOTO\* and Minoru HOSOBA\*\*

*\*Second Department of Internal Medicine, Kyoto Prefectural University of Medicine*

*\*\*Medical Systems Division, Shimadzu Corporation, Kyoto*

**Background** (BKG) correction is important but debatable in the measurement of Left ventricular ejection fraction (LVEF) with ECG gated blood pool scintigraphy. We devised a new simplified BKG processing (fixed BKG method) without BKG region-of-interest (ROI) assignment, and the accuracy and reproducibility were assessed in 25 patients with various heart diseases and 5 normal subjects by comparison with LVEF obtained by contrast levoglucosan (LVG-EF). Four additional protocols for LVEF measurement with BKG-ROI assignment were also assessed for reference.

LVEF calculated using the fixed BKG ratio of 0.64 (BKG count rates were 64%) of end-diastolic count rates of LV) with “Fixed” LV-ROI was best correlated with LVG-EF ( $r=0.936$ ,  $p<0.001$ )

and most approximated (Fixed BKG ratio method EF:  $61.1\pm20.1$ , LVG-EF:  $61.2\pm20.4\%$  (mean  $\pm$  SD)) among other protocols. The wide availability of the fixed value of 0.64 was tested in various diseases, body size and end-diastolic volume by LVG, and the results were to be little influenced by them. Furthermore, fixed BKG method produced lower inter-and intra- observer variability than other protocols requiring BKG-ROI assignment, probably due to its simplified processing.

In conclusion, fixed BKG ratio method simplifies the measurement of LVEF, and is feasible for automated processing and single probe system.

**Key words:** ECG gated blood pool scintigraphy, Left ventricular ejection fraction, Background, Radionuclide.