

《原 著》

Frame Count Normalization 法による心プールシンチの 心房細動例の検討

茜部 寛* 大島 統男* 佐久間貞行*

要旨 心電図同期心プールシンチグラフィ (以下, 心プールシンチ) において, 心房細動例は RR 間隔が不規則なため, 駆出率などの心室機能指標の信頼性は確立されていない。そこで筆者らは, 心房細動例の左室機能評価のため, 心プールシンチのデータ処理において, 収縮初期容積を一定にするためにフレームモード法を用い, 先行する RR 間隔の一定範囲内のみ収集し, また後半フレームにおいて減少した収集時間を補正するため frame count normalization (FCN) 法を応用し, 解析した。

対象は心房細動例 12 例で, 全症例につき弁膜疾患の術前後に心プールシンチを施行した。心プールシンチはフレームモードで収集し, 平均心拍 $\pm 10\%$ を超える次の 1 心拍はスキップした。1 心拍を 32 フレームに分割し, 各フレームごとにトータルカウント値を求めた。次に後 1/3 の各フレームのピクセルごとのカウント値を積算し, 前 2/3 フレームのトータルカウント値の平均と等しくなるように FCN 処理した。FCN 処理にて後半フレームの収集時間の減少によるカウント低下を補正でき, また X 線左室造影ともよく一致し ($r=0.76$), 心機能の評価できた。左室容積曲線の 3 次項フーリエ近似はよくフィットした。本法により容易に心房細動例の心機能の評価できた。

I. 緒 言

心房細動は, 一定の RR 間隔を持たずに収縮するために, 拡張末期容積や収縮時間および拡張時間がまちまちとなり, そのため心プールシンチにおいて駆出率などの心室機能指標の信頼性は確立されていない¹⁻³⁾。リストモードによる心プールシンチは, 一定の RR 間隔のみデータとしているが, この方法では収集した収縮の前収縮に注目していないため収縮初期 (拡張末期) 容積が不定となる³⁾。一方, フレームモード法にて収集したデータは, 各心拍の長さが不整であるため, 後半フレームの収集時間が減少し, カウント低下をきたすなどの欠点がある。

筆者らは心房細動症例の左室機能評価のため,

心プールシンチのデータ処理において, 収縮初期容積を一定にする目的にてフレームモード法を用い, 先行する RR 間隔の一定範囲以内のみ収集した。また減少した収集時間を補正するためトータルフレームカウントを一定にする frame count normalization (FCN) 法を応用し, 解析したので報告する。

II. 対 象

対象は, 昭和 58 年 4 月から 61 年 12 月までの間に当院で手術を施行した後天性弁膜疾患患者のうち, 術前後に心プールシンチを施行した心房細動患者 12 人 (24 例) とした。内訳は男性 8 人 (16 例), 女性 4 人 (8 例) で, 年齢は 34 歳から 63 歳であった (Table 1)。

III. 方 法

1) 心プール法

心プール法はピロリン酸を用いた in vivo 標識法による technetium-99m 標識赤血球 20 mCi を

* 名古屋大学医学部放射線科

受付: 62 年 9 月 21 日

最終稿受付: 63 年 3 月 17 日

別刷請求先: 名古屋市昭和区鶴舞町 65 (☎ 466)

名古屋大学医学部放射線科

茜 部 寛

Table 1 Patient characteristics

No.	Name	Age	Sex	Diagnosis
1	S.T.	47	M	ASR, MSr
2	T.Y.	56	F	ASR, MSr
3	T.S.	50	M	MR, TR
4	S.O.	54	M	MR
5	M.Y.	34	F	MR, TR
6	M.S.	42	M	MSR, ASR
7	A.K.	52	M	MS, ASR
8	M.S.	45	M	MR
9	R.S.	47	F	MSR, TR
10	Y.N.	54	M	MS, Ar
11	T.O.	63	M	MSR, ASR, TR
12	K.O.	46	F	MSR, TR

ASR, ASr=aortic stenosis and regurgitation; AS=aortic stenosis; MSR, MSr=mitral stenosis and regurgitation; MS=mitral stenosis; MR=mitral regurgitation; TR=tricuspid regurgitation

用いて、平衡時データを収集した。1心拍32分割のフレームモードで、頭側10°、左前斜位40°のmodified LAOにてslant hole collimatorを装着したガンマカメラ(東芝製GCA-70A 特型)、および核医学データ処理装置(東芝製GMS55A)にて収集した。先行する30心拍ごとの平均±10%を超える心拍については、次の1心拍をスキップする心プール法にて15分間データ収集を行った。

2) カウント修正

一定のRR間隔に32等分したフレームに分割した場合、不整RR間隔により、後半フレームの収集時間が前半フレームに比し減少している。長い拡張期の心拍は基準RR間隔より長い分を除外し、また短い心拍のデータでは32フレームに満たない結果となる。基準RR間隔より短い心拍では後半フレームにおいて、各ピクセルのカウントに(平均トータルカウント)/(そのフレームのトータルカウント)を乗ずれば収集カウントの減少を補正できる。このように後半フレームのカウント低下を補正するためFCN処理を行った。つまり32フレームそれぞれについて全カウントを算出し、前2/3の各フレーム(第1~21フレーム)の全カウントの平均値を求め、後1/3各フレーム(第22~32フレーム)について全カウントがこの

平均値に等しくなるように積算した。ただし平均カウントの2分の1に満たないフレームはカットした。このようにして得られたデータは前心拍が一定のRR間隔であり、収縮初期容積が一定となる。

FCN処理の後半フレームの持ち上げ効果をみるため、左室容積曲線において、FCN処理の有無に分け第1フレームに対する最終フレームの左室の相対カウント比を求め比較検討した。

リストモードと比較検討するため、5例においてフレームモード収集直後にリストモードで収集した。この場合、各フレームの収集時間を一定にするため時間補正処理を実施し、30心拍ごとの平均±10%内の心拍をデータとして入力した。

3) 容積曲線

FCN処理しスムージングしたデータを左室および右室のそれぞれにおいて、心室輪郭およびbackgroundの関心領域を設定し、容積曲線を求めた。左室・右室の関心領域は、拡張末期像においてフリーハンドでROIを求め、次にcut off levelを70%に設定して求めた。backgroundの関心領域は拡張末期像において馬蹄形ROIが自動的に設定され、その平均カウントを全フレームにわたって各心室の各ピクセルから減算する方法をとった。

次に容積曲線より駆出カウント比 stroke count ratio (SCR)^{4,5)}を求め、左室逆流定量評価した。

$$SCR = \frac{\text{左室の駆出カウント}}{\text{右室の駆出カウント}}$$

また、左室の容積曲線を3次項近似のフーリエ解析を行い、左室機能指標すなわち、駆出率・収縮期前1/3時の駆出率(1/3 EF)・拡張期前1/3時の充満率(1/3 FF)を算出し、術前後について比較検討した。

4) 左室造影

術前術後を含む7人において心プール法施行2週以内に計11回X線左室造影検査を施行し、平均的心収縮周期を選び左室駆出率を求めた。

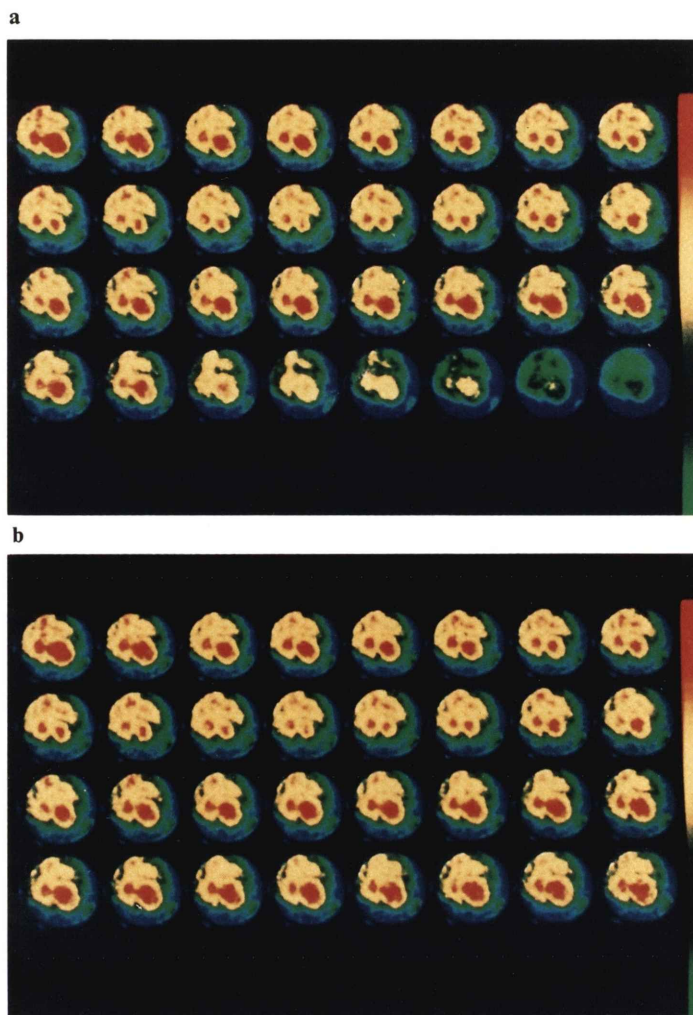


Fig. 1 Case 3. The original data of 32 frames calculated without (a) and with (b) FCN method. The left ventricular counts were improved by FCN method.

IV. 結 果

1. FCN 処理の有用性

FCN 処理の有無に分けて左室容積曲線における第 1 フレームに対する最終フレームの相対カウント比を Table 2 に示した。FCN 処理非施行例では相対カウント比が 75% 以上を呈した症例は 16.7% にすぎないが、FCN 処理施行例では 83.3% に達し、FCN 法にて後半フレームの収集時間の減少によるカウント低下を補正できた。

Table 1 における症例 3 の FCN 処理前および処理後の 32 フレームを Fig. 1 に表示した。上図の未処理では後半フレームは収集時間の低下のためカウント低下をきたしたが、下図の処理後では FCN 処理により、後半フレームのカウントが持ち上げられ、全フレームにわたりカウント低下を認めなかった。同症例の全領域の時間放射能曲線、左室容積曲線および 3 次項近似フーリエ曲線を示す (Fig. 2)。全領域の時間放射能曲線において第 24 フレームから下降し最終フレーム (第 32 フレ

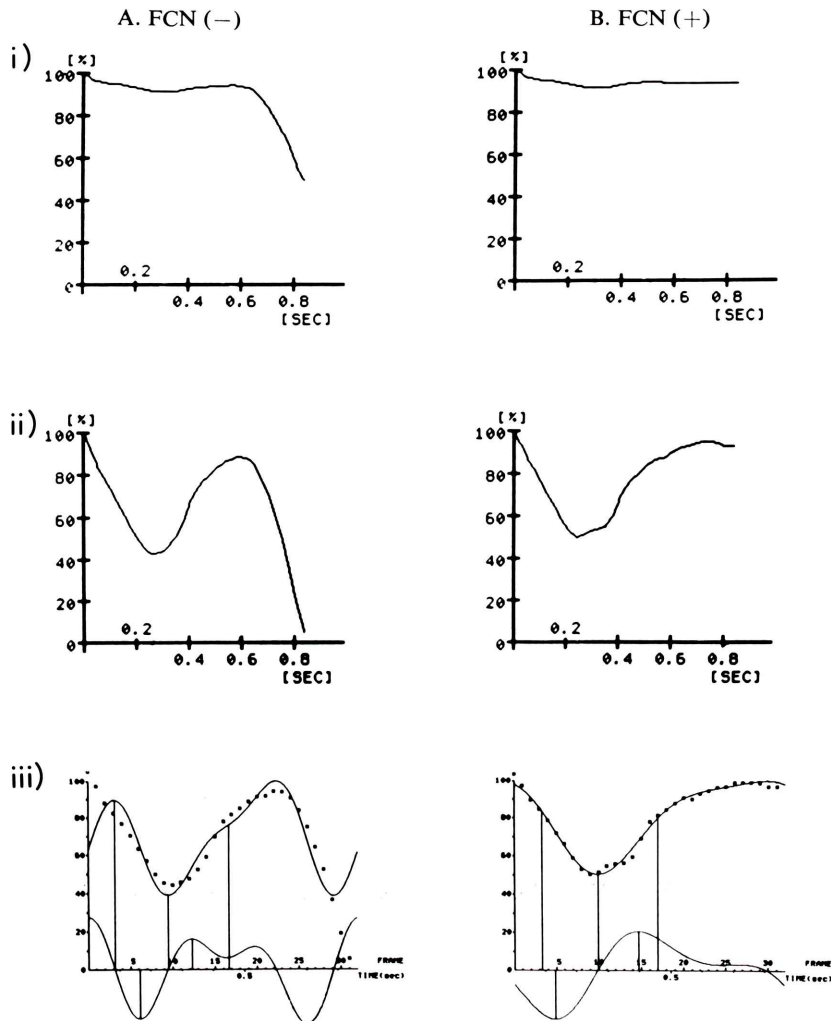


Fig. 2 Case 3. Left panel shows data calculated without FCN method and right shows with FCN method. 1) FCN method corrected the count rate in 24 frame to 32 frame. 2) FCN method corrected left ventricular volume curve. 3) After FCN the 3rd harmonics approximation curve by Fourier analysis fitted with left ventricular volume curve.

ーム)では第1フレームに対して50%に低下したが、FCN処理にて後半フレームのカウン低下を補正した (Fig. 2-i)。左室容積曲線においても同様に後1/4のフレームのカウンの持ち上げができた (Fig. 2-ii)。3次項近似のフーリエ解析においてFCN未処理では後半カウン低値のためフィットできないが、FCN処理にてよくフィットした (Fig. 2-iii)。

2. 左室造影との比較

心プール法で求めた左室駆出率と左室造影による左室駆出率との比較した (Fig. 3)。心プール法で求めた左室駆出率は $r=0.76$ と左室造影と一致した。

3. 駆出カウン比

Figure 4にFCN処理後の術前・術後の駆出カウン比 (SCR) を表示した。症例3, 4, 6, 8では

Table 2 Difference of end LV count rate of the data calculated with and without FCN method

	FCN (-)	FCN (+)
1	9%	80%
	4	87
2	0	80
	7	76
3	5	93
	49	89
4	0	82
	0	82
5	36	91
	94	91
6	93	96
	82	84
7	0	89
	0	89
8	84	82
	69	71
9	44	87
	0	74
10	0	82
	0	76
11	41	81
	0	72
12	35	74
	0	76

end LV count rate=(LV counts in the last frame)/
(LV counts in the first frame)

著明に減少し、手術により左室の逆流が改善したことを示している。X線造影でも同様の所見であった。左室逆流を呈さない症例7と9は、手術によりSCRの低下をきたさなかった。

4. 3次項近似フーリエ解析

3次項近似フーリエ解析より算出した心機能指標をFig. 5に示す。左室逆流を伴う疾患では手術後左室駆出率の改善しない例を認めるが、非逆流群では明らかに左室駆出率の上昇を認めた。

5. リストモードとの比較

フレームモードとリストモードにて同時期に収集した5例において、位相解析、駆出率等を比較検討したところ、位相値はほぼ同値を示したが、駆出率はフレームモードはリストモードに比し左室は5から10%、右室は2から9%の高値を示した。代表例をFig. 6に示した。

V. 考 察

筆者らの施設では、心房細動例の心プールシンチはリストモードにてデータを収集し、一定内のRR間隔のデータを処理し駆出率等の心機能指標を算出していたが、再現性に乏しく信頼性が低かった。

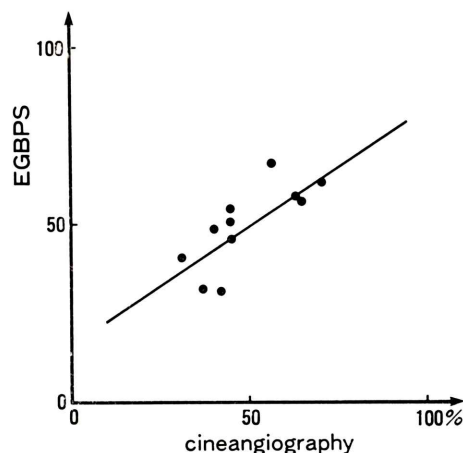


Fig. 3 Correlation between left ventricular ejection fraction calculated from ECG gated blood pool scintigraphy (EGBPS) and that from contrast cineangiography. There was a good correlation ($r=0.76$, $Y=0.68X+16.2$).

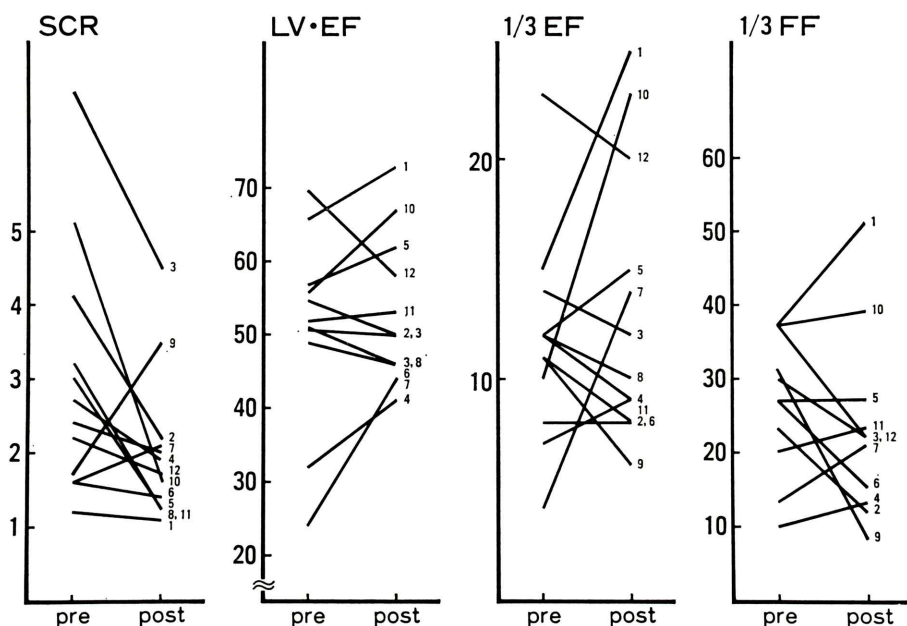


Fig. 4

Fig. 5

Fig. 4 Stroke count rate (SCR) before and after the operation. SCR of patients with regurgitation decreased after the operation.

Fig. 5 Left ventricular index calculated from the 3rd harmonics approximation curve by Fourier analysis. Left ventricular ejection fraction (LV-EF) of patients with aortic regurgitation (AR) increased from 0.461 ± 0.155 before operation to 0.54 ± 0.10 after operation.

心房細動において不整な心拍ごとに心行動態が変動する要因として、前負荷、後負荷、心収縮性などが個々に変化して心機能に影響するためとされる⁶⁻¹³⁾。心房細動では拡張期の長さは様々に変化し、拡張期が短いと左室へ流入する血液量(前負荷)が必然的に減少し、続く収縮での駆出量低下を招く。これに反し長い収縮期のあとでは駆出量は増加する^{9,10)}。このように心収縮のばらつきが心房細動の心機能を規定する最大の要因といわれている。したがって、RR 間隔の長い心拍の拡張末期容積は増大し、短い心拍の容積は減少している⁶⁾。データ収集を平均心拍 $\pm 10\%$ 以内の心拍の次の心拍に限定してフレームモードで収集すれば一定の収縮初期容積の心拍のみとなる。収縮初期容積は一定になっており、心収縮性等の影響が小さいため、収集された心拍群は同じように収

縮し拡張する。しかし現 RR 間隔に条件を与えていないので、数百心拍のうち一部は短い拡張期であったり、一部は長い拡張期となる。しかし、FCN 処理法にて簡易に拡張期のふぞろいを一定にすることができる。前収縮の一定の RR 間隔のみ収集するフレームモード法および FCN 処理にて、心房細動例においても心プールのシンチが可能となる。

現在一般に用いられているリストモード法は、現 RR 間隔について考慮していないため、収縮初期容積が前 RR 間隔が長いほど大きく短いほど小さくなる。また収縮初期容積が小さいものは収縮期間が短く、大きいものは長くなる。ゆえに拡張時間がばらばらになる。このように、リストモードによる収縮末期容積は実際以上になり駆出率は低値となる。フレームモードとリストモードにて

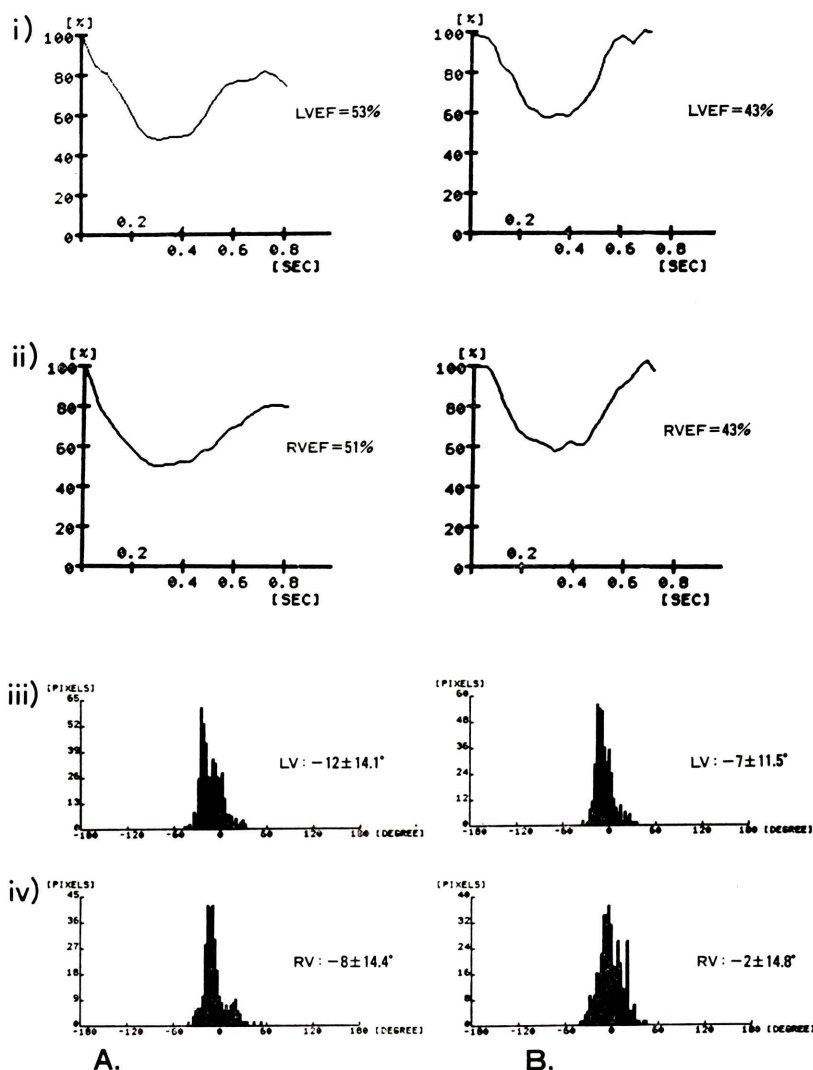


Fig. 6 Phase analysis and volume curve by frame mode (A) and list mode (B). i) the volume curve (VC) of the left ventricle (LV), ii) VC of the right ventricle (RV), iii) the histogram of phase analysis (HPA) of LV and iv) HPA of RV. Ejection fraction of LV by FCN was 0.53 and it dropped to 0.43 by list mode.

同時期に収集したわれわれの症例の全例において、駆出率は左室右室ともにリストモードで低くなり、左室造影とも一致したことより、本法が一般に用いられているリストモード法よりすぐれていることが裏づけられた。

また拡張期データを向上させるため、2音併用法¹⁾やR波逆行法¹⁴⁾が用いられている。2音併用

法は、拡張末期・収縮末期の2点のカウントを求めるため、収縮拡張期の途中状態がわからず、またすべての収縮を加算するため、心房細動例ではRR間隔がふぞろいで応用できない。R波逆行法は、心房細動例では一定の心房収縮がなく、拡張状態は次のR波とは関与しないため適合しない。

このように、フレームモードで収集しFCN法

を心房細動例に応用したところ, Fig. 3 に示すごとく後半フレームの持ち上げが十分になされた. 左室容積曲線の 3 次フーリエ近似も収縮期によくフィットし, また左室逆流を呈さない症例では左室駆出率が, 逆流群では, 小須田らの述べるごとく⁴⁾ 駆出カウント比の改善がみられ, 術前後の評価なども簡便であった. さらに本法と X 線左室造影において左室駆出率を比較したところ $r=0.76$ とよく相関した. 以上により, 本法は心房細動例でも簡便に心機能指標が得られ, 臨床上役立つことが示された.

文 献

- 1) 立石 修, 渡辺久之, 窪内洋一, 他: 心音 II 音, 心電図 R 波同期装置の試作とファントムによる基礎的研究. 核医学 22: 1029-1035, 1985
- 2) 稲垣末次, 足立晴彦, 望月 茂, 他: 平衡時心プールシンチグラフィーによる心房細動例の心機能評価. 核医学 22: 1765-1773, 1985
- 3) 竹内義広, 齊藤圭治, 田中国義, 他: RI アンギオグラフィーによる後天性弁膜疾患の術前術後の右室機能の評価. 日胸外会誌 32: 870-878, 1984
- 4) 小須田茂, 佐藤仁政, 与那原良夫, 他: 振幅値比を用いた左室逆流性弁膜疾患の逆流の定量的評価——駆出カウント比との比較——. 核医学 22: 459-466, 1985
- 5) 大嶽 達, 西川潤一, 町田喜久雄, 他: Single Photon Emission CT を用いた心拍同期心プールのシキによる左室逆流性弁膜疾患の逆流率の測定. 核医学 22: 885-893, 1985
- 6) Karliner JS, Gault JH, Bouchard RJ, et al: Factors influencing the ejection fraction and the mean rate of circumferential fibre shortening during atrial fibrillation in man. Cardiovascular Res 8: 18-25, 1974
- 7) Einthoven W, Korteweg AJ: On the variability of the size of the pulse in case of auricular fibrillation. Heart 6: 107-120, 1915
- 8) Koch-Weser J, Blinks JR: The influence of the interval between beats on myocardial contractility. Pharmacol Rev 15: 601-652, 1963
- 9) 藤井淳一, 渡辺 潤, 渡辺 坦, 他: UCG による左室機能曲線について. 心臓 6: 1543-1552, 1974
- 10) Bacharach SL, Green MV, Bonnow RO, et al: Measurement of ventricular function by ECG gating during atrial fibrillation. J Nucl Med 22: 226-231, 1981
- 11) Nakamura Y, Konishi T, Nonogi H, et al: Myocardial Relation in Atrial Fibrillation. J Am Coll Cardiol 7: 68-73, 1986
- 12) Schneider J, Berger HJ, Snds MJ, et al: Beat-to-Beat Left Ventricular Performance in Atrial Fibrillation: Radionuclide Assessment With The Computerized Nuclear Probe. Am J Cardiol 51: 1189-1195, 1983
- 13) Benjelloun H, Itti R, Philippe L, et al: Beat-to-Beat Assessment of Left Ventricular Ejection in Atrial Fibrillation. Eur J Nucl Med 8: 206-210, 1983
- 14) 玉木長良, 児玉秋生, 米倉義晴, 他: R 波前後方向同期心プールのイメージングによる虚血性心疾患の検討. 核医学 22: 147-155, 1985

Summary

Evaluation of Left Ventricular Function in Patients with Atrial Fibrillation by ECG Gated Blood Pool Scintigraphy —Using Frame Count Normalization Method—

Hiroshi AKANABE, Motoo OSHIMA and Sadayuki SAKUMA

Department of Radiology, School of Medicine, Nagoya University

The assumption necessary to perform ECG gated blood pool scintigraphy (EGBPS) are seemingly not valid for patients with atrial fibrillation (af), since they have wide variability in cardiac cycle length. The data were acquired in frame mode within the limits of mean heart rate to fix the first diastolic volume, and were calculated by frame count normalization (FCN) method to correct total counts in each frame.

EGBPS were performed twelve patients with af, who were operated against valvular disease. The data acquired within mean heart rate $\pm 10\%$ in frame mode were divided to 32 frames, and calculated total frame counts. With FCN method total

frame counts from at 22nd to 32nd frame were multiplied to be equal to the average of total frame counts.

FCN method could correct total frame counts at the latter frames. And there was good correlation between left ventricular ejection fraction calculated from scintigraphy and that from contrast cine-angiography. Thus EGBPS with FCN method may be allow estimation of cardiac function even in subjects with af.

Key words: Atrial fibrillation, ECG gated blood pool scintigraphy, Frame count normalization method.