

《技術報告》

連続反転収集のファントムによる基礎的検討

高橋 康幸* 松木 弘量** 望月 輝一***

要旨 Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) の収集法である連続反転収集において、その適正な回転数をファントム実験と臨床例により比較検討した。一般的な SPECT 検査時間を 15 分と考え、その時間内で回転数を 1, 3, 6, 9, 12 に変化させた。円柱ファントムによる格子の描出性や収集方向ごとのデータのばらつき、心筋ファントムによる均一性、欠損部の描出性はいずれも回転数が少ないほど良好であった。回転数と収集方向ごとのデータのばらつきは回帰式 $y = 0.0243x^2 - 0.7843x + 98.136$ $r^2 = 0.9802$ を示し、また従来の収集法であるステップモードを 1.00 の基準とした総カウントは、回帰式 $y = -0.0034x^2 + 0.0157 + 1.2394$ $r^2 = 0.9943$ の相関であった。なお ^{99m}Tc -1,2-bis[bis(2-ethoxyethyl)phosphino]ethane (Tetrofosmin) 心筋シンチグラフィによる正常例の評価でも回転数が少ないほど良質の画像が得られた。連続反転収集では体動の影響による誤因データを削除し補正することを考慮すれば、回転数は 3~6 程度の複数反転が望ましいと考えられた。

(核医学 33: 1363-1369, 1996)

I. はじめに

$^{201}\text{TlCl}$ により心筋虚血の検出や viability の評価がなされてきたが、近年 ^{99m}Tc 標識心筋血流製剤においても同様の評価が可能であると報告¹⁻³⁾されている。さらに、 ^{99m}Tc -1,2-bis[bis(2-ethoxyethyl)phosphino]ethane (Tetrofosmin) はバイアルタイプで緊急時にも標識可能であることから、急性心筋梗塞の Intervention 施行前後の評価に応用⁴⁾されている。しかし、Intervention 施行直後の Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) 像は、再疎通するまでに時間がかかるとカウントが低下し画質が劣化する場合がある。

このように限られた検査時間内で、よりカウン

トを増加させ良好な RI 画像を得るためには、高速連続反転収集法 (以下、連続反転モード) が有用とされているが、そのパラメータはいまだ十分解明されていない。今回、同一収集時間で回転数を変化させ、カウントや画質等について、ファントム実験および臨床例より比較検討したので報告する。

II. 原 理

連続反転モード (Fig. 1 左) は常時検出器が一定の速度で回転しながらカウントを収集し、投影データは検出器の回転方向が異なる奇数回転目と偶数回転目を同じ角度で加算しながら 1 方向分として作成 (Fig. 1 右) する。このモードは短時間で数往復繰り返し収集するので減衰 (RI 濃度変化) が補正できる。

III. 使用機器

SPECT 装置 (東芝) は 3 検出器 SPECT 専用装置 GCA-9300A で、低エネルギー高分解能パラレルホールコリメータを使用した。データ処理装置

* 愛媛県立中央病院放射線部

** 同 放射線科

*** 愛媛県立今治病院放射線科

受付: 8 年 5 月 13 日

最終稿受付: 8 年 10 月 28 日

印刷請求先: 愛媛県松山市春日町 83 (☎ 790)

愛媛県立中央病院放射線部

高 橋 康 幸

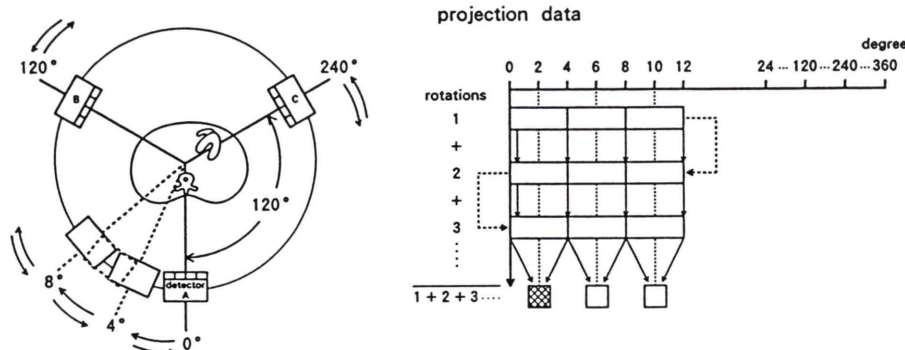


Fig. 1 In the continuous reverse rotation mode, the detector collects the count while rotating at a constant rate. Projected data are those per rotation while counts during rotation at odd and even numbers that differ in direction are added at the same angle.

Table 1 Condition of SPECT data acquisition

continuous
90 frames by 4° continuous
120° collection/detector
① 900 sec×1 rotation
② 300 sec×3 rotations
③ 150 sec×6 rotations
④ 100 sec×9 rotations
⑤ 75 sec×12 rotations
step
60 frames by 6° shifts
120° collection/detector
⑥ 60 sec/step

Table 2 Basis evaluation criteria of a phantom score

Rank	Appearance of the lattice
1	The lattice is columnar and evenly distinguishable
2	The lattice is relatively even but the columnar form is disturbed
3	The lattice is uneven and difficult to distinguish
4	The lattice is indistinguishable (artifacts are produced)

は同社 GMS-550U で行った。また心筋ファントム (京都科学) は RH-2 型, 円柱ファントム (安西総業) は AZ-660 (JIS ファントム) を使用した。

IV. 方 法

1. ファントムによる基礎的検討

連続反転モードの回転数の変化 (1, 3, 6, 9, 12 回転, Table 1) に伴うそれぞれの画質を評価する目的で, まず円柱ファントムの hot spot の描出性について Table 2 に示した基準を用い視覚的に評価しスコア化した。また Fig. 2 左下シェーマに示すラインに profile curve を設定し定量的評価を行った。さらに projection profile [縦軸を情報量 (最大値を 100% に標準化), 横軸を投影角度] により収集方向ごとのデータのばらつきや総カウントにつ

いても検討した。

次に, 心筋ファントム像の短軸断層像 (心基部, 中央部, 心尖部) と極座標表示より, 心筋像全般の均一性と前壁に設定した欠損部 (10 mmφ) の描出性について Table 3 に示した基準で視覚的に評価し, また Bull's eye profile (Bull's eye map を profile curve 化した) を加え検討した。

なお, 円柱ファントムと心筋ファントム内には $^{99m}\text{TcO}_4^-$ をそれぞれ 555 MBq と 18.5 MBq 注入した。評価は医師 6 人, 技師 8 人の計 14 人で行い, 評価基準は Table 2, 3 とともに 1 を正常, 2-4 を異常と判定した。なお撮像条件は Table 1 に示すように, 実際の撮像時間を全検討を通して 15 分間と同一にした。データ収集は 5 回行いそれぞれ時間減衰の補正を行った。また, 各データ解析の対象としてステップモード (以下従来法) 収集を行った。収集マトリックスサイズは 128×128, SPECT

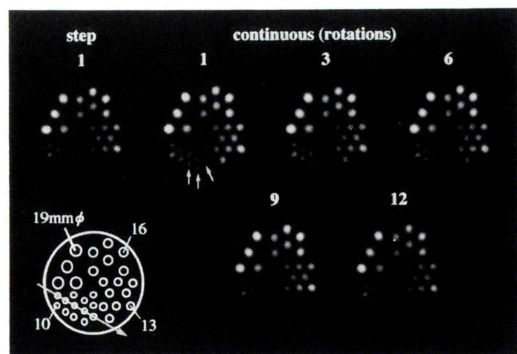


Fig. 2 Lattice images of the columnar phantom according to the rotation rate in the continuous reverse rotation mode. The left lower figure shows a scheme.

Table 3 Assessment of myocardial perfusion

Rank	Evaluation criteria score
1	normal (100–85%)
2	mild hypoperfusion (85–65%)
3	severe hypoperfusion (65–45%)
4	perfusion defect ($\leq 45\%$)

rotations rank	1	3	6	9	12
1	12	10	3	1	0
2	2	4	8	7	4
3	0	0	3	6	9
4	0	0	0	0	1

Fig. 3 The lattice images of the columnar phantom in Fig. 2 were visually evaluated using the scoring system show in Table 2.

ファントムの画像再構成には、前処理フィルタに 5×5 normal, 再構成フィルタに ramp を用い、臨床ファントムでは前処理フィルタに 15×15 Butterworth order 8, カットオフ周波数 0.56 (cycles/cm), 再構成フィルタは Shepp and Logan を使用した。

2. ^{99m}Tc -Tetrofosmin 心筋血流シンチグラフィ

^{99m}Tc -Tetrofosmin 安静心筋シンチグラフィは

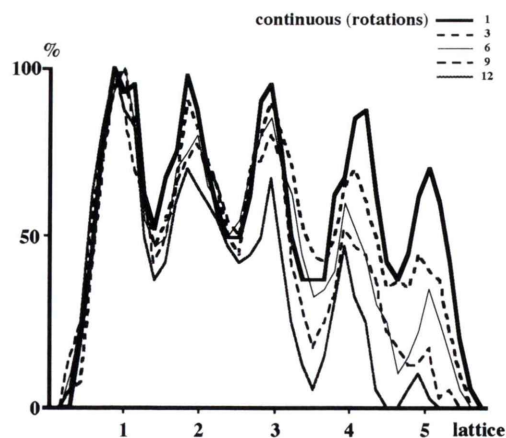


Fig. 4 On the line shown in the left lower scheme in Fig. 2, a profile curve according to the collection rotation rate was produced.

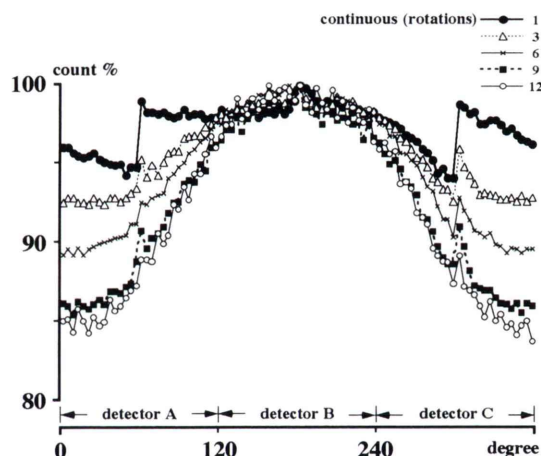


Fig. 5 Projection profiles according to the collection rotation rate. The y-intercept indicates count%, and the x-intercept, the projection angle.

555 MBq 静注 90 分後に Table 1 の 3 回転と 9 回転について施行した。なお、視覚的評価のためにウィンドウレベルを上限 100%, 下限 25% で表示した厚さ 3.2 mm ピクセルの短軸断層のうち心基部, 中央部, 心尖部の代表的な 3 スライスを用いた。また、極座標表示や circumferential profile curve で定量的に評価した。

V. 結 果

円柱ファントム像

回転数の違いによる hot spot ファントム像を Fig. 2 に示す. 視覚的評価では回転が少ないほど, 識別性 (矢印) が優れており (Fig. 3), シェーマに設けたラインの profile curve (Fig. 4) においても検出性が良好であった. Fig. 5 の projection profile では, 回転数の増加に伴い寝台部の収集位

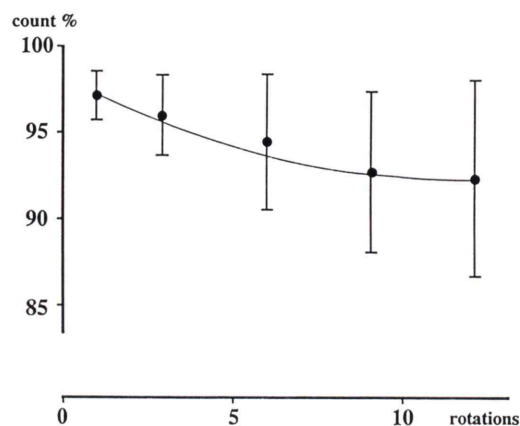


Fig. 6 The graph shows counts versus rotation rate count% on the y-intercept and the rotation rate on the x-intercept. The correlation was $y = 0.0243x^2 - 0.7843x + 98.136$ $r^2 = 0.9802$.

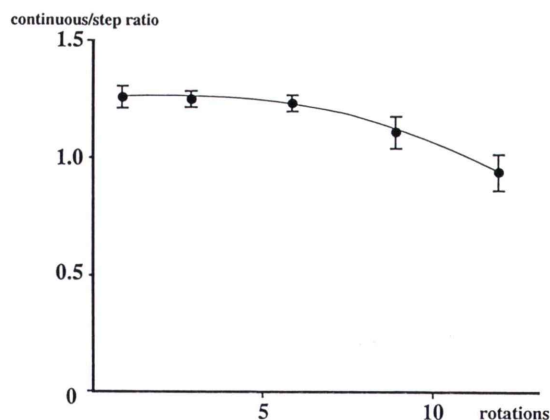


Fig. 7 The total count according to the rotation rate when the total count by the conventional step mode was regarded as 1.00. The correlation was $y = -0.0034x^2 + 0.0157 + 1.2394$ $r^2 = 0.9943$.

置付近 (0° – 60° , 300° – 360°) に著しいカウントの低下が認められるが, 各回転別の平均値±標準偏差, CV (Fig. 6) は, 1, 3, 6, 9, 12 回転で各々 97.3 ± 1.4 CV: 1.4, 95.8 ± 2.5 CV: 2.6, 94.7 ± 3.8 CV: 4.0, 92.7 ± 4.8 CV: 5.2, 92.4 ± 5.5 CV: 6.0% であった. その関係は回帰式 $y = 0.0243x - 0.7843x^2 + 98.136$ $r^2 = 0.9802$ を示し, 収集方向ごとのばらつきは回転数が少ないほど安定していた. なお, 従来法では 91.3 ± 6.0 CV: 6.6% であった. 各方向の総カウントをそれぞれ 5 回計測し, 投影データ比 (従来法の値を 1.00 とする) に変換した平均値は, 1, 3, 6, 9, 12 回転別で 1.23, 1.22, 1.21, 1.14, 0.96 倍であった. 相関は回帰式 $y = -0.0034x^2 + 0.0157 + 1.2394$ $r^2 = 0.9943$ で, 回転数が少ないほど増加していた (Fig. 7).

心筋ファントム像

Fig. 8 は心筋ファントムの前壁に欠損部を作成した短軸断層像および Bull's eye map で, Fig. 9 は Bull's eye profile である. 断層像における均一性の評価では 1 回転より 3 回転が安定 (Fig. 9 円印) し, また回転数の増加に伴いランク 2 のやや血流低下部がより観察され (Fig. 8, 9 矢印), また欠損部付近にはランク 3 の血流低下部の増加が認められた.

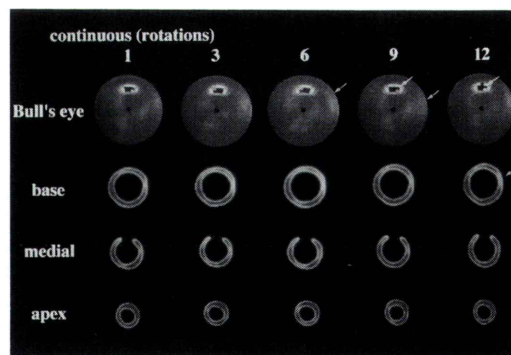


Fig. 8 A short axis image and a Bull's eye map after producing a defective area in the anterior wall of the phantom. The defective area was produced using acryl (10 mmφ).

continuous (rotations)

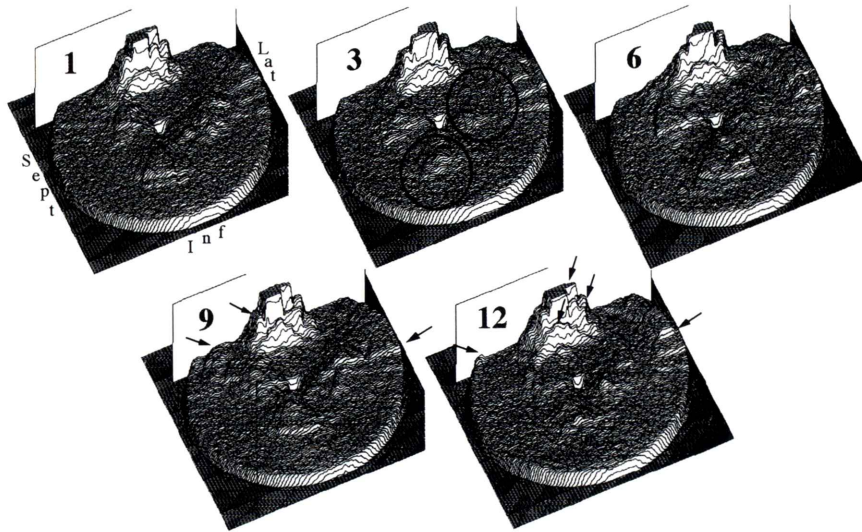


Fig. 9 The polar coordinate display converted to a profile curve.

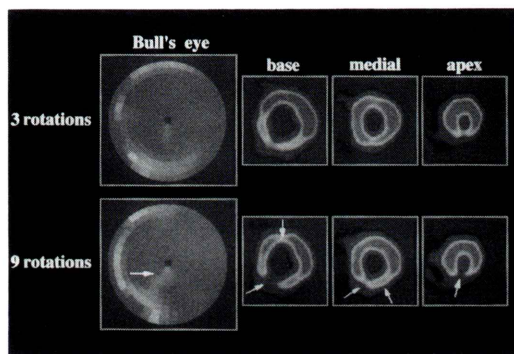
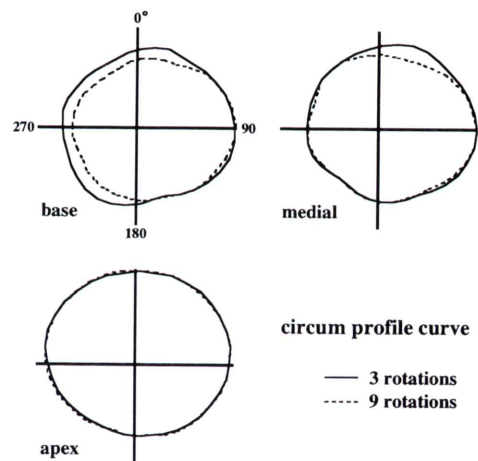
Fig. 10 Myocardial scintigram at rest 30 minutes after intravenous ^{99m}Tc -Tetrofosmin 555 MBq injection in a 33-year-old normal male.

Fig. 11 Circumferential profile display of the base, medial, and apex regions of the heart shown in Fig. 10.

症例呈示

健常例

Fig. 10 は正常ボランティアの 1 例で、3 回転と 9 回転を比較した。3 回転像が 9 回転像に比べ下壁、心室中隔部の描出が優れ(矢印)、また心基部の均一性も良好であった。それらは Bull's eye map (矢印) や circumferential profile curve (Fig. 11) でより明らかに確認できた。

VI. 考 察

心筋血流シンチグラフィにおける反転収集は、従来 (step) 法でも用いられている⁵⁾ のをはじめ、連続収集はクリアランスが早い核種 ^{99m}Tc -SQ30127 で有用性が報告^{6,7)} されており、著者らも RI 濃度があまり変化しない場合において、

ファントム実験と ^{123}I -MIBG 心筋シンチグラフィにより検討⁹⁾した。また、この連続反転収集は心筋以外にも肺換気⁹⁾など数多くのシンチグラフィに応用され、さらに収集角度範囲は異なるが、 180° オーバーラップ法¹⁰⁾へも導入されている。ただ、連続反転の増加に伴う回転数が SPECT 像に及ぼす影響についてはこれまで報告されていない。

従来法や 1 回転のみの連続収集では 3 検出器 SPECT 専用装置独特の 6 方向へ放射状のアーチファクト⁶⁾が発生する。原因としてそれぞれの検出器感度の相違や収集開始と終了時の時間減衰の補正が不十分な点などあげられるが、これらは本法によりかなり抑えることができる。つまり、連続反転収集により各投影方向の RI 濃度変化が平均化されることや円柱ファントムを用いた基礎実験で示した総カウントの増加などが、統計変動の減少となり S/N 比が向上し、SPECT 像の均一性や格子の描出性が良好となる。

また回転の複数化は、その原理から RI 濃度変化がより安定するため、当然ファントム実験では格子や欠損部の描出性が向上すると考えた。しかし結果は回転数の増加に伴い総カウントが低下するので、9 回転では SPECT 像の均一性に必要とされる 50–60 counts/pixel 以上¹¹⁾を得られず、均一性が低下し分解能や定量性は劣化した。カウント低下の原因として、ハード面では回転の高速化に伴うコリメート率の低下が考えられ、コリメータの構成¹²⁾のホール径やホール角度がガンマカメラの移動収集に対応できておらず収集効率に影響を及ぼす。さらにソフト面では、多回転はより多くのデータを 1 投影方向として加算 (Fig. 1 右) するため、構成位置にずれが生じると考えられる。

なお、複数回転の有用性は患者が動いてしまった後のデータが削除でき、体動の影響を低減できることもあげられる。誤差要因データの削除を従来法や 1 回転のみの連続モードで行った場合は、15 分の検査時間で撮像開始 10 分頃動いてしまい後半 5 分間 (検査時間の後半 1/3 に相当する) のフレームを削除すると、240 度分のみの欠落した

データにより画像構成を行うのでアーチファクトを含んだ SPECT 像になってしまう。一方、複数回転では 3 回転の場合、情報量は低下するが最後の 1 回転 (前項と同様に検査時間後半 1/3 に相当する) のデータを削除しても 360 度分すべての方向に投影データが存在し、アーチファクトの少ない SPECT 像が構成できる。

VII. 結 語

高速連続反転収集の回転数についてファントム実験および $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Tetrofosmin 心筋血流シンチグラフィより検討した。総カウントやデータのばらつき、心筋像の均一性、体動補正などの点より 3–6 回転の複数反復が望ましいと考えられる。

謝辞：稿を終えるにあたり、本研究にご指導、ご校閲をいただいた愛媛県立中央病院内科・阿部充伯先生、放射線部・柚山芳久氏、新島弘之氏、同県立今治病院放射線部・増原晃氏、東芝メディカル株式会社・佐古英樹氏に深く感謝を申し上げます。

文 献

- 1) Brian H, Francis WS, Terry S, Howard GG, Prabir DG, Dragouten VG, et al: Technetium-99m 1,2-bis[bis(2-Ethoxyethyl)Phosphino]Ethane: Human Biodistribution, Dosimetry and Safety of a New Myocardial Perfusion Imaging Agent. *J Nucl Med* **34**: 30–38, 1993
- 2) Braast SH, Leclercq B, Itti RI, Lahiri A, Sidehara B, Rigo P: Myocardial Imaging with Technetium-99m-Tetrofosmin; Comparison of One-day and Two-day Protocols. *J Nucl Med* **35**: 1581–1585, 1994
- 3) 西村恒彦, 延吉正清: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Tetrofosmin を用いた心筋 SPECT の臨床応用——全国多施設による共同研究——. *核医学* **32**: 1007–1021, 1995
- 4) 西田佳雄, 渡辺佐知郎, 松尾仁司, 琴尾泰典, 小田 寛, 松原徹夫, 他: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 標識 PPN-1011 による虚血性心疾患急性期再灌流療法の効果判定. *核医学* **30**: 79–83, 1993
- 5) Bok BD, Bice AN, Clausen M: Artifacts in camera based single photon emission tomography due to time activity variation. *Eur J Nucl Med* **14**: 439–442, 1987
- 6) Nakajima K, Taki J, Bunko H, et al: Dynamic Acquisition with a Three-Head SPECT System: Application to Technetium 99m-SQ30217 Myocardial Imaging. *J Nucl Med* **32**: 1273–1277, 1991

- 7) Nakajima K, Shuke N, Taki J, et al: A Simulation of Dynamic SPECT Using Radiopharmaceuticals with Rapid Clearance. *J Nucl Med* **33**: 1200–1206, 1992
- 8) 高橋康幸, 柚山芳久, 川又 功: ^{123}I -MIBG 心筋シンチグラフィにおける continuous mode SPECT の有用性. *日放技学誌* **52**: 341–345, 1996
- 9) 菅 一能, 西垣内一哉, 久米典彦, 高野勝之, 小池晋司, 松本常男, 他: 連続回転機能を有する 3 検出器型 SPECT 装置を使用した Dynamic SPECT 像による肺局所 ^{133}Xe ガス洗い出し像の検討. *核医学* **32**: 51–61, 1995
- 10) Jerold WW: Increased sensitivity through use of overlapping 180° orbits in clinical myocardial perfusion imaging. *Eur J Nucl Med* **22**: 543–547, 1995
- 11) 中田 茂, 渡部真二, 川上壽昭: 3 検出器 SPECT 装置による ^{201}Tl 心筋 SPECT の検討. *日放技学中・四国部会誌* **2**: 85, 1991
- 12) 市原 隆: SPECT のかかえる諸問題と利点. *日放技学誌* **50**: 1639–1650, 1994

Summary

Basic Study of Continuous Repetitive Data Acquisition Using a Phantom

Yasuyuki TAKAHASHI*, Hirokazu MATSUKI* and Terukazu MOCHIZUKI**

*Department of Radiology, Ehime Prefectural Central Hospital

**Department of Radiology, Ehime Prefectural Imabari Hospital

We evaluated the appropriate rotation rate in the continuous reverse collection mode of single photon emission computed tomography (SPECT), in phantoms and in volunteers. Since a SPECT examination generally takes 15 minutes, the rotation rate was changed from 1, to 3, 6, 9 and 12/15 minutes. A lower rotation rate resulted in clearer visualization of the lattice and less variance of data in each collection direction in a columnar phantom, and higher image homogeneity and clearer visualization of the defective area in a myocardial phantom. There was a correlation represented by regression equation $y = 0.0243x^2 - 0.7843x + 98.136$ $r^2 = 0.9802$ between the rotation

rate and variance of data in each collection direction. There was also a correlation represented by the regression equation $y = -0.0034x^2 + 0.0157 + 1.2394$ $r^2 = 0.9943$ between the rotation rate and the total count corrected with that obtained in the step mode (conventional collection). Better $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -1,2-bis[bis(2-ethoxyethyl)phosphino]ethane (Tetrofosmin) myocardial scintigraphy images were obtained at a lower rotation rate in a normal volunteer. In conclusion, a rotation rate of 3–6/15 minutes may be appropriate in continuous reverse collection.

Key words: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Tetrofosmin, Continuous repetitive data acquisition, Rotation times.