

《ノート》

多結晶型ガンマカメラ (SIM-400) による RI 心機能検査

——心動態ファントムを用いた検討——

Radionuclide Cardiac Study by Using Newly Developed Multi-Crystal Gamma Camera (SIM-400) and Cardiac Phantom

岡 尚嗣* 西村 恒彦* 汲田伸一郎* 植原 敏勇*
下永田 剛* 与小田一郎*Hisashi OKA, Tsunehiko NISHIMURA, Shinichiro KUMITA,
Toshiisa UEHARA, Tsuyoshi SHIMONAGATA and Ichiro YOKOTA

Department of Radiology, National Cardiovascular Center, Suita, Osaka

I. はじめに

現在核医学検査に汎用されているガンマカメラは、平板状のヨウ化ナトリウム (NaI(Tl)) 単一結晶を使用した単結晶型カメラ (アンガー型カメラ) である。このカメラの特長として、優れた空間分解能、広い視野と良好な視野均一性、多様なコリメータを使用できることなどがあげられる。しかし、高分解能を得るために結晶を薄くしているため、 γ 線の検出効率は良好ではない。また高計数率領域での数え落としが多いなどの問題も持っている。このため、ファーストパス法による心機能解析には必ずしも適しているとはいえない。

一方、小さな角柱状のヨウ化ナトリウム結晶を縦横にマトリックス状に並べた構造の検出器を持った多結晶型カメラ (ベンダー型カメラ) も考案され、オートフルオロスコープ (システム 77) の名称で使用されている^{1,2)}。オートフルオロスコープ

の結晶の厚さは単結晶型カメラの約 3 倍であり、きわめて優れた感度および 400 kcps の計数率特性を持ち、ファーストパス法に追従できる性能を有し、心機能解析に用いられている。

さらに、オートフルオロスコープを改良した高い計数率特性を有し、バックグラウンド補正機能や小型化されてポータブルで移動可能な SIM-400 (シンチコア社製) が開発された。本装置は、ファーストパス法を用いた心機能解析が、オートフルオロスコープに比し精度良く行えるものと考えられる。

われわれは本邦で初めて本装置を使用する機会を得たので、心動態ファントムを用いて、その基本性能の評価と心機能解析への応用について基礎的検討を行った。

II. 装 置

単結晶型カメラとの最も大きな相違点は検出器とその光学系にある。SIM-400 (Fig. 1) に使用されているヨウ化ナトリウム NaI(Tl) 結晶は、1 本が 10 mm × 10 mm、高さ 25 mm の角柱状である。

Key words: Multi-crystal gamma camera (SIM-400), Cardiac phantom, Ventricular function.

* 国立循環器病センター放射線診療部

受付: 3 年 2 月 27 日

最終稿受付: 3 年 6 月 3 日

別刷請求先: 大阪府吹田市藤白台 5-7-1 (☎ 565)

国立循環器病センター放射線診療部

西村 恒彦

この結晶は 20 行 20 列のマトリックス状に 400 本が配列されて直径 19 mm, 115 本の光電子増倍管と接続されている (Fig. 2). すなわち, 有効視野は 20×20 cm である. 光電子増倍管からの出力は波高分析回路を通過したのちイメージメモリに記録されるが, この計数値は, 不感時間の自動補正が行われることによって, 高計数率領域でのイメージングを可能とする. NaI(Tl) 結晶のマトリックスより得られる画像は 1 画素が $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ であるが, ダイナミックモードでの収集時には 1 画素を 4 分割したのちスムージングを行い, かつ線形補間処理を加えることによって, アンガーカメラとほぼ同レベルの画質を得ることができる.

カート部は, 奥行 143 cm, 幅 81 cm, 重量 260 kg で移動が可能であり, ベッドサイドや, 運動負荷時の使用も考慮されている. データ処理装置は, アップル社製 マッキントッシュ II 型パーソナルコンピュータを使用し, データ収集は, 最高毎秒 100 フレーム (10 msec/frame) まで可能である^{3,4)}.

III. 対象と方法

SIM-400, アンガー型カメラともエネルギーウィンドウを $140 \text{ keV} \pm 10\%$ に設定して以下の実験を行った.

1) 計数率特性の測定

コリメータをはずし, 有効視野の中心線上 1.5 m の位置に $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 点線源を置いた. この点線源の線量を約 1.5 MBq ($40 \mu\text{Ci}$) より漸次増加させ, これをフレームモードで撮像することによって計数率特性を求めた. また, 当施設にて使用しているアンガー型カメラについても同様の方法で特性を求めて比較検討した.

2) 総合感度の測定⁵⁾

通常的心プールシンチグラフィーに使用している低エネルギー高分解能コリメータを装着した状態で, 縦 55 cm, 横 55 cm, 深さ約 3 cm の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 溶液面線源を SIM-400 とアンガー型カメラにて密着して撮像した. 得られたカウントと撮像時の溶液の放射線量より感度の比較を行った. 計数率はいずれの収集方法にても 10 kcps 以下となるよ

うに放射能濃度を設定した.

3) 総合均一性の検討⁵⁾

縦 30 cm, 横 30 cm, 深さ 10 cm のアクリル製水槽に $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 溶液を約 3 cm の深さになるように注入し, これにコリメータを装着したカメラを密着して SIM-400 の総合均一性を測定した. カメラによって得られた生データと, これにコンピュータによって均一補正を加えた画像との比較を行った. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 溶液の濃度設定は計数率が 30 kcps 以下になるようにし, また最高カウントを示す検出器が 40 k カウントとなるように収集した. なお, コンピュータの均一補正データファイルは, われわれの施設では通常毎週 1 回の頻度で $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 面線源を撮像することによって作成している.

4) 心拍数追従性

駆出率や容積の算出精度の評価は心腔動態ファントム (安西総業社製モデル AZ031 型) を用いて行った. 本装置は, モーター駆動によって任意の心拍数および駆出分画で, 任意の容積の拍動を左心室に相当するバルーンファントムに作ることができる (Fig. 3).

SIM-400 の心拍数追従性を検討するために, ファントムの拡張期容積を 50 ml から 120 ml の間で 12 通りに変化させて, このときの拍動数を毎分 60 回と 120 回に設定したときの駆出分画の変化を検討した. データ収集は毎秒 40 フレーム (25 msec/frame) で一定として行った. 拍動数が毎分 60 回と 120 回のときの駆出分画の差を ΔEF として求めた.

5) コリメータからの距離変化と容積算出精度

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 溶液 150 ml をバルーンファントム内に入れ, ファントム-コリメータ間距離を変化させながらその容積を算出した. コリメータは, ファントム表面密着状態から 3~5 cm ずつ距離を離して, 最大距離 25 cm まで求めた. なお SIM-400 のソフトウェアパッケージによる容積算出は, Area-length 法が用いられている.

6) バックグラウンド補正機能

毎秒 40 フレームのデータ収集中, コリメータと動態ファントムの間にバックグラウンドとなる

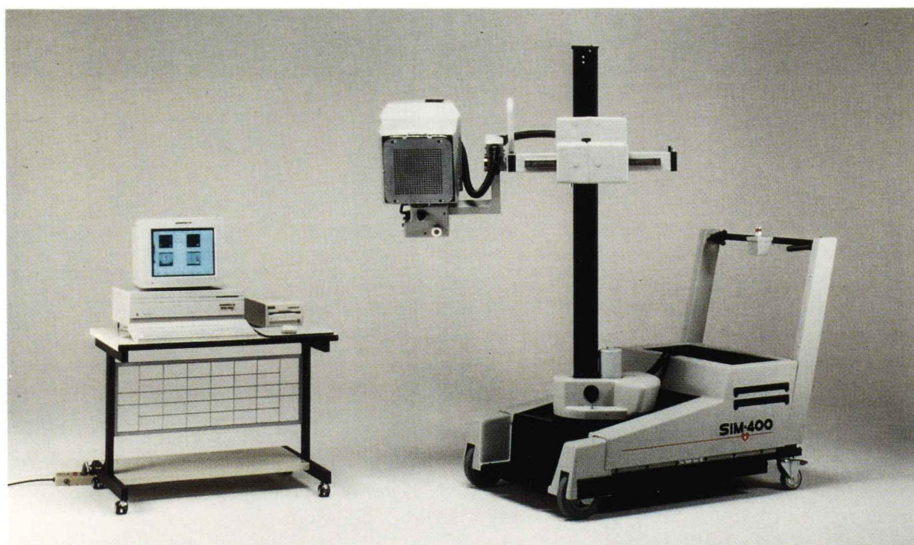


Fig. 1 Detector cart of SIM-400 and data processor.

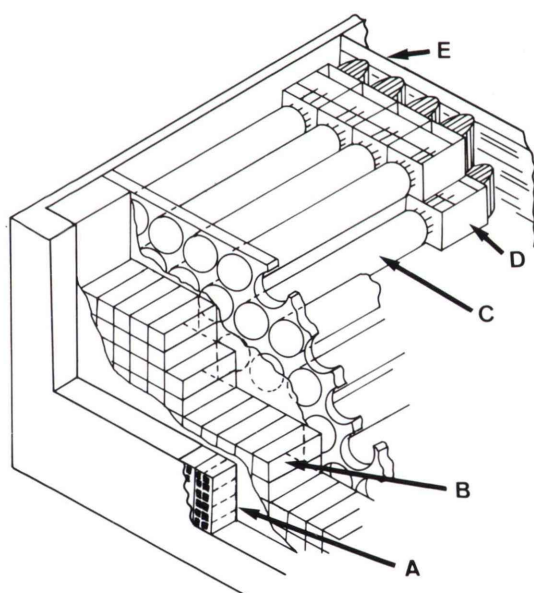


Fig. 2 Detector head (cross section).

- A: Collimator
- B: NaI(Tl) crystal
- C: Photomultiplier Tubes (PMT's)
- D: PMT Modules
- E: PMT Module Interface PC Board

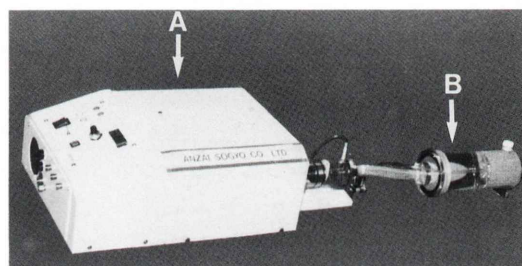


Fig. 3 The cardiac phantom.

- A: Motor pumping unit
- B: Balloon phantom unit

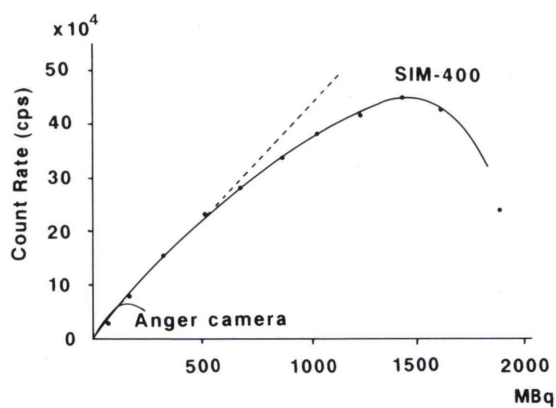


Fig. 4 Comparison of intrinsic count rate curve by SIM-400 and Anger camera.

- Observed count rate curve
- Anticipated count rate curve

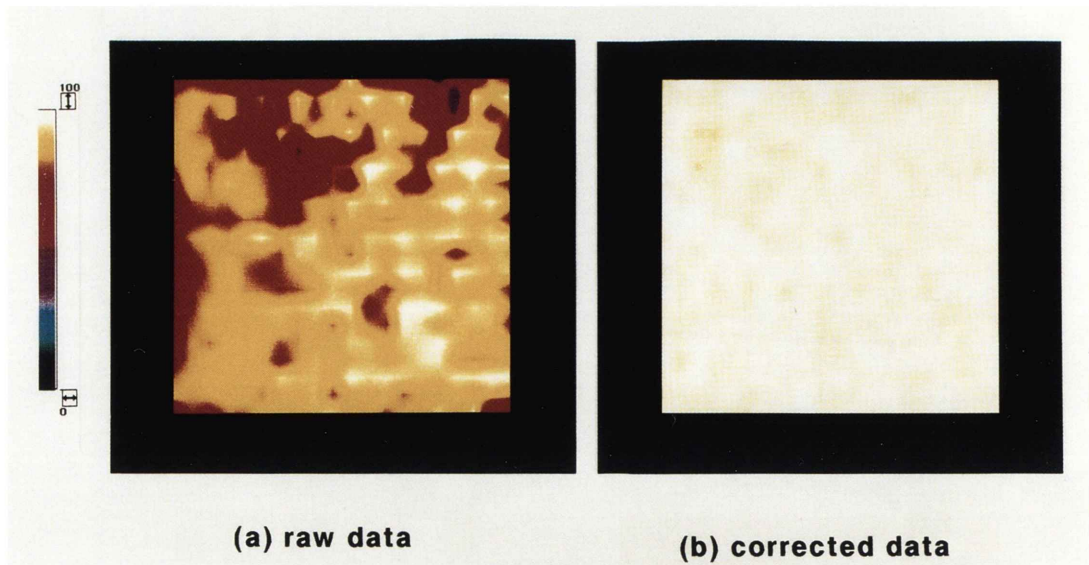


Fig. 5 Effect of uniformity correction.
 (a) System flood field uniformity (raw data).
 (b) Corrected uniformity.

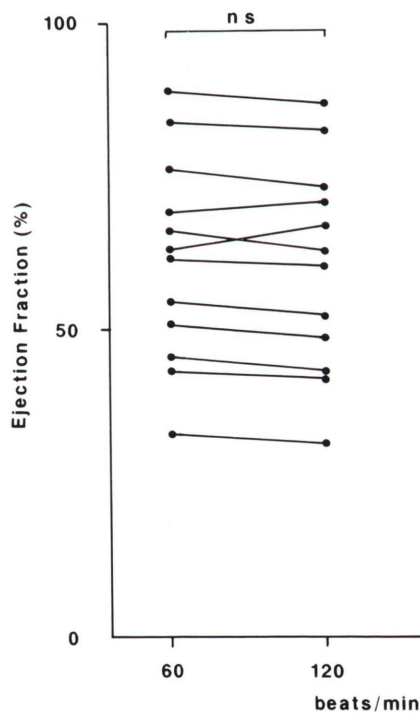


Fig. 6 Comparison of ejection fraction at 60/bpm and 120/bpm by cardiac phantom. bpm=beat per minute

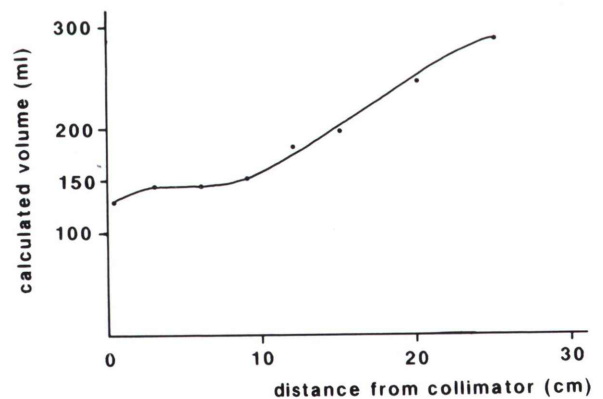


Fig. 7 Changes of calculated phantom volume according to the distance from collimator.

^{99m}Tc -面線源 (厚さ 2.5 cm) を挿入したときの駆出分画を求めた。ファントムの拡張期容積は 150 ml、拍動数は毎分 60 回で一定とし、収縮期容積を 8 通りに変化させた。溶液の比放射能は、ファントム 500 kBq/ml (約 14 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$)、バックグラウンド 70 kBq/ml (2 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$) である。

データ処理時にソフトウェア上でバックグラウンドカウントを生データより差し引いて補正を行った場合、補正せずに計算を行った場合、バックグラウンドが存在しない場合の 3 通りについて EF の変化を比較した。

IV. 結 果

1) 計数率特性

SIM-400 とアンガー型カメラの計数率特性を Fig. 4 に示す。SIM-400 は、約 1,550 MBq (42 mCi) において、最高計数率毎秒 45 万 5 千カウントを示した。一方、著者らの施設で使用している

アンガー型カメラの計数率特性は、約 150 MBq (4 mCi) のときに最高 6 万 7 千カウントであった。

2) 総合感度

低エネルギー高分解能コリメータ装着時には、SIM-400 は 88.4 kcounts/min/MBq (3.27 Mcounts/min/mCi)、アンガー型カメラは 6.1 kcounts/min/MBq (226 kcounts/min/mCi) であった。したがって、コリメータ装着時に SIM-400 は当施設のアンガー型カメラの 14.5 倍の感度を持つことが示された。

3) 総合均一性

均一補正前後の画像を Fig. 5 に示す。(a) はカメラにて収集された補正前のものであり、(b) はコンピュータの持つ均一補正データによって (a) に補正を加えたものである。積分均一性は、補正前 17.6%、補正後 3.6% であった。

4) 心拍数追従性

拍動数を毎分 60 回から 120 回に変化させたときの駆出分画の変化を Fig. 6 に示す。その差 (ΔEF) は $2.0 \pm 0.93\%$ であった。

5) コリメータからの距離変化と容積算出精度について

ファントム表面 - コリメータ間距離が 10 cm 以下であれば正しい容積が算出されるが、10 cm 以上離れた場合は過大な値として算出され、その誤差は距離の増大に従って大きくなった (Fig. 7)。

6) バックグラウンド補正

Figure 8 は、(a) データ収集時にバックグラウンドがない場合、(b) バックグラウンドが存在するが処理時にそのカウントを各フレームより減じて補正を行った場合、(c) バックグラウンドの補正を行わなかった場合の駆出分画の変化を示す。ソフトウェア上で、補正を行ったときの駆出分画の低下は $2.7 \pm 0.8\%$ 、補正を行わなかった場合は $7.8 \pm 3.2\%$ であった。

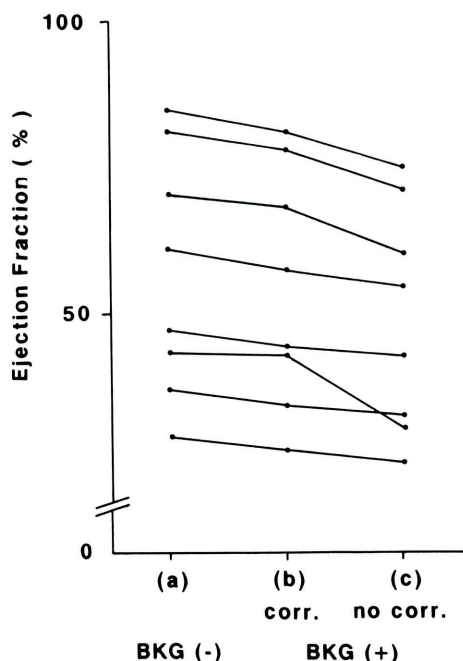


Fig. 8 Effect of background (BKG) correction using cardiac phantom.

- (a) BKG (-)
- (b) BKG (+) correction (+)
- (c) BKG (+) correction (-)

V. 考 察

従来、多結晶型ガンマカメラとしてベアードアトミック社製システム 77 が市販されていたが、良好な感度と計数率特性を有していたものの、画

像の分解能や視野の広さがアンガー型カメラに比較して劣るため、その普及は十分ではなかった。今回われわれは、システム 77 を大幅に改良した SIM-400 を使用する機会を本邦で初めて得た。心動態ファントムを用いた基礎的検討から、ファーストパス法による心機能解析に有用な装置と考えられる。

SIM-400 の最高計数率 (N_{\max}) は、われわれの施設で使用しているアンガー型カメラに比べて約 6.8 倍も優れており、また総合感度も 14.5 倍と実用上きわめて高感度かつ高計数率での撮像が可能である。したがって、少量の RI 投与、もしくは RI の反復投与によるファーストパス法による心動態イメージングを行うことができる。また、左心室の運動をシミュレートした動態ファントムによって良好な心拍数追従性が示された。今回の検討では、毎分 120 回の拍動まで測定を行ったが、1 フレーム当たりのデータ収集時間を短くすることで、これ以上の心拍数の増加に対しても十分な追従性を持つものと考えられる。また、ファントム-コリメータ間距離が 10 cm を超えると算出容積が過大な値となるが、これは距離の増大に伴って分解能が次第に低下するために生じるファントム辺縁のボケによる誤差である。本装置による撮像は通常、被検者左前胸部とコリメータの間隔が短くなる正面像、もしくは左前斜位像を用いるため、容積算出にも問題ないと思われる。

血液中に存在するバックグラウンドカウントを

データ処理時に差し引くことのできる補正機能があることによって、反復投与、例えば安静時と運動負荷時、または薬物負荷時での心機能の比較や、正面像と左前斜位像による局所壁運動等の検討も精度良く簡便に行える。

VI. ま と め

SIM-400 による心機能解析は、アンガー型カメラに比し優れた計数率特性と良好な総合感度により、信頼性の高いデータを得られることが、基本的な性能評価と動態ファントムを用いた実験から確認された。

謝辞：多結晶型ガンマカメラ SIM-400 を提供いただいた(株)日商メディ・サイエンスに深謝いたします。

文 献

- 1) 鈴木 豊：Anger カメラとオートフルオロスコープ。日本臨床 37: 80-86, 1979
- 2) 飯尾正宏, 小林 毅, 村田 啓：心臓核医学の実際, 医学書院, 東京, 1980, pp. 22-27
- 3) Heyda DW, Croteau FR, Govaert JA: A Third Generation Digital Gamma Camera. Application of Optical Instrumentation in Medicine X II 454: 478-484, 1984
- 4) 菅野 誠：放射線医学体系 36 (田坂 皓編), 放射線測定機器, 中山書店, 東京, 1985, pp. 160-164
- 5) National Electrical Manufacturers Association: "NEMA Standards Publication for Performance Measurements of Scintillation Cameras" (No. NU1-1980), PART 3, Washington, 1980, pp. 1-8