

《技術報告》

半導体検出器を用いた心プールシンチグラフィ

拍動型心臓ファントムによるアンガー型カメラとの比較

趙 圭一*	汲田伸一郎*	中條 秀信*	鳥羽 正浩*
木島 鉄仁*	水村 直*	石原眞木子*	尾科 隆司*
櫻井 実*	斎藤 晴美*	隈崎 達夫*	

要旨 光電子増倍管の代わりに半導体光センサーである Si-フォトダイオードを用いることで小型軽量化が図られたモバイル型ガンマカメラ 2020tc Imager™ による心プールシンチグラフィを検証するため、拍動型心臓ファントムを用いて左室機能値を計測し、従来の Anger 型カメラ (PRISM3000) の測定値およびファントムの設定値と比較した。〔方法〕拍動条件を一定として 2020tc Imager, Anger 型カメラでそれぞれ 5, 7.5, 10 分間のマルチゲートデータを収集した。続いて、拡張末期容量 (EDV), 駆出分画 (EF) の設定値を変化させ、半導体検出器で 5 分間のマルチゲートデータ収集を行った。〔結果〕EF は、半導体 $68.5 \pm 0.6\%$, アンガー型 $70.3 \pm 1.4\%$ といずれのカメラにおいても設定値である 70% ときわめて近い測定値が得られた。EDV, EF の設定値と半導体カメラによる測定値の相関係数はそれぞれ 0.97, 0.99 ときわめて良好な相関を示した。〔結論〕モバイル型ガンマカメラ 2020tc Imager は従来のアンガー型カメラと同等の心機能値が得られ、心疾患強化治療室等における急性期の心機能把握に有用と思われた。

(核医学 39: 535-541, 2002)

I. はじめに

光電子増倍管の代わりに半導体光センサーである Si (シリコン)-フォトダイオードを搭載したモバイル型ガンマカメラ 2020tc Imager™ は、4,096 個の放射線検出素子 (3×3 mm) により放射線イベントを位置情報とともに直接計測するため、優れた空間分解能が期待される¹⁻⁴⁾。われわれは拍動型心臓ファントムを用い、この半導体カメラの基礎的性能を Anger 型カメラと比較・検証した。

II. 方法

拍動型心臓ファントム

使用した拍動型ファントムは安西メディカル社製 AZ631 で、駆動部、心室部およびバッファ部からなり、任意の心拍数、心室拡張末期容量および心室駆出率の設定が可能である (Fig. 1)。また、心電図信号として拡張末期に疑似 R 波を発生する端末を有し、心電図同期データ収集に対応している。今回は、臨床において心プールシンチグラフィで使用される放射能濃度を反映させ 1 / 当たり 148 MBq の ^{99m}Tc 水溶液で心室およびバッファ内を満たし、一心拍ごとの心室容量変化曲線は 1 次のサインカーブに設定した。

* 日本医科大学付属病院放射線科

受付: 14 年 1 月 15 日

最終稿受付: 14 年 5 月 9 日

別刷請求先: 文京区千駄木 1-1-5 (☎ 113-8603)

日本医科大学付属病院放射線科

趙 圭 一

収集時間による心室全カウントおよび心室駆出率の比較

Anger型カメラは検出効率の比較的優れた島津・マルコーニ社製PRISM3000を用いた。Anger型カメラの視野は24 cmで、64×64 matrix 収集では3.75 mm/pixelとなる。Anger型カメラ、2020tc Imagerのいずれもファントムと低エネルギー汎用型コリメータ(LEGP)を装着した検出器を5 cm離し、拍動型ファントムの拍動条件は拡張末期容量(EDV) 60 ml、心室駆出率(EF) 70%、心拍数60/分と一定とした。この条件におけるAnger型カメラ、2020tc Imagerの空間分解能は半値幅でそれぞれ7.4, 4.2 mmである。収集時間を10, 7.5, 5分とした心プールシンチグラフィでマルチゲートデータ収集を行った。また、5分間収集は4回繰り返した。収集データはエネルギーピーク140 keVの30%ウィンドウ設定で、matrixは64×64, R-R間隔は24分割である。得られたAnger型カメラ、2020tc Imagerのそれぞれのデータから同一の解析処理装置Odyssey Fx(島津・マルコーニ社製)によりフーリエ近似なしの心室駆出率(pre-Fourier EF)と1次のフーリエ近似後の心室駆出率(post-Fourier EF)を全心室カウントとともに算出した。

高感度コリメータを用いた全心室カウントおよび心室駆出率

2020tc Imagerには心プールシンチグラフィ用に低エネルギー高感度コリメータ(LEHS)も装備されている。そこで、LEGPとLEHS間で3, 1, 0.5分の短時間収集における心室全カウントとEFを比較した。拍動型ファントムの拍動条件のうちEFのみ60%とし、他は前述した拍動および収集条件と同一とした。

2020tc Imagerによる心室駆出率、心室容量算出精度

引き続き、2020tc Imagerを用いた心プールシンチグラフィの精度を検証するため、拍動型ファントムの拍動条件をEDV/EFを40 ml/75%, 50 ml/60%, 60 ml/50%, 75 ml/40%, 90 ml/30%と変化させ、データ収集を行った。なお、心拍数は

70/分、収集時間は5分間と一定とし、他は前述した収集条件と同一とした。使用コリメータはLEGPである。データ処理は、2020tc Imagerに装備された処理用コンピュータ(Windows NT)と解析ソフトウェアMirage(Segami)を用いた。Mirageでは2次微分法に基づき心室辺縁がED, ESでそれぞれに自動抽出され、心室内カウントと心室外に自動設定されるバックグラウンド内カウントからEFが、また自動抽出した左室拡張末期像よりarea-length法を用いてEDVが自動算出される。2020tc Imagerを用いて測定されたEF, EDV(measured value)と拍動型ファントムへの設定値(set-up value)とを比較した。

III. 統計処理

解析データは平均±標準偏差で表示した。両機器における解析値間の比較にはStudent's paired t-testおよび回帰直線を用い、 $p < 0.05$ をもって統計学的有意差ありとした。

IV. 結果

LEGPコリメータを装着したAnger型カメラと2020tc Imagerによる拡張末期(ED)、収縮末期(ES)の心プール像をFig. 2に示す。5分収集においても2020tc ImagerではAnger型カメラと同様に辺縁の明瞭な心プール像が得られ、装置間の心室内総収集カウントも同等であった(Fig. 3)。70%に設定されたEF(set-up EF)は、Anger型カメラではpre-Fourier EF $78.7 \pm 3.2\%$, post-Fourier EF $70.3 \pm 1.4\%$ と測定され、pre-Fourier EF値はpost-Fourier EF値と比べ有意に高値を示した。他方、2020tc Imagerでは $68.7 \pm 0.4\%$, $68.5 \pm 0.6\%$ と両者間に有意差はみられず、ほぼ設定値通りに測定された(Fig. 4)。

LEGPコリメータを装着したAnger型カメラとLEGP, LEHSコリメータをそれぞれ装着した2020tc Imagerによる拡張末期、収縮末期の短時間収集心プール像をFig. 5に示す。LEGPコリメータを用いた0.5分間収集ではAnger型カメラ、2020tc Imagerのいずれにおいても心プール像の辺

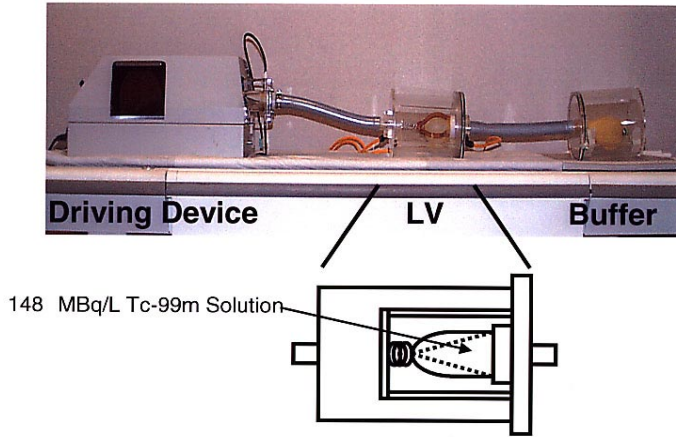


Fig. 1 Moving cardiac phantom.

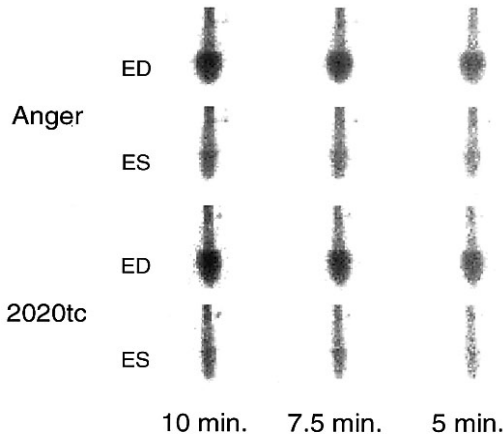


Fig. 2 ED and ES cardiac pool images with Anger-type camera and 2020tc Imager under constant contractile condition.

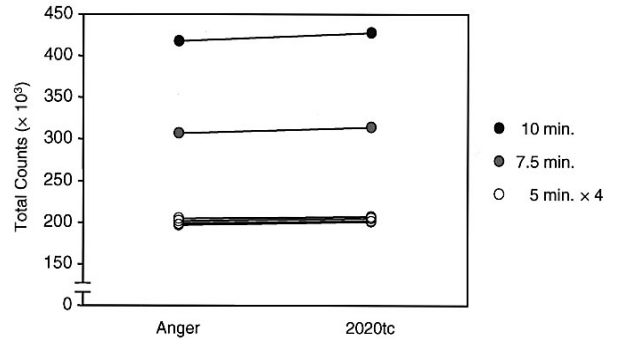


Fig. 3 Comparison of total counts between Anger-type camera and 2020tc Imager.

Table 1 Comparison of total counts and pre-Fourier EF among Anger-type camera with a LEGP collimator, 2020tc Imager with a LEGP collimator, and 2020tc Imager with a LEHS collimator

Acquisition time (min)	Anger-type camera		2020tc Imager			
	LEGP		LEGP		LEHS	
	EF (%)	kcount	EF (%)	kcount	EF (%)	kcount
3.0	60	183	60	192	59	434
1.0	60	60	58	64	59	144
0.5	52	29	71	31	61	69

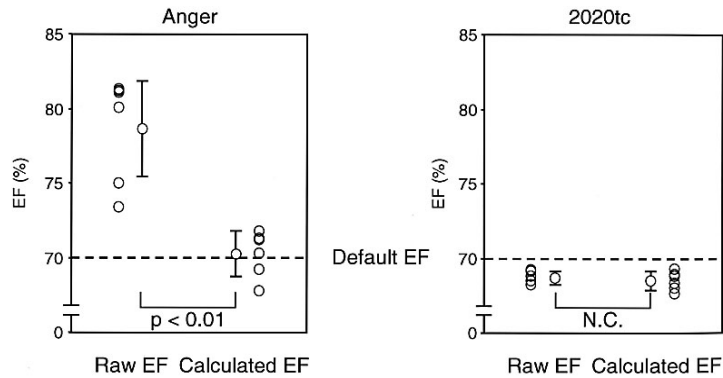


Fig. 4 Comparison of pre- and post-Fourier EF values between Anger-type camera and 2020tc Imager.

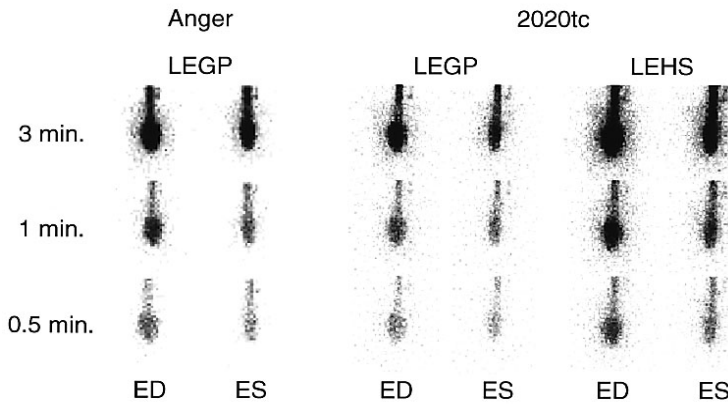


Fig. 5 ED and ES cardiac pool images with Anger-type camera and 2020tc Imager under constant contractile condition. *Left column*, Anger-type camera with a LEGP collimator; *middle column*, 2020tc Imager with a LEGP collimator; *right column*, 2020tc Imager with a LEHS collimator.

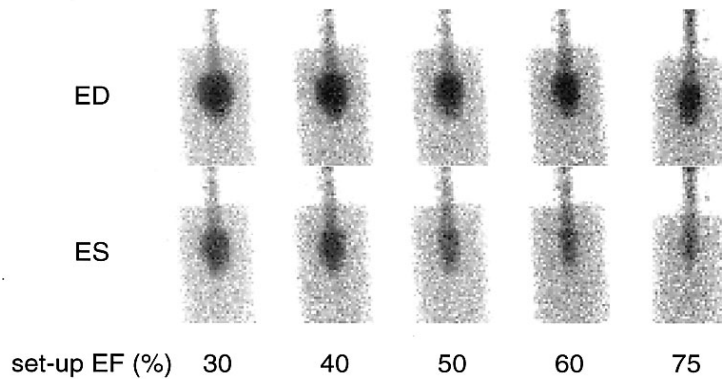


Fig. 6 ED and ES cardiac pool images with varied contractile conditions using 2020tc Imager.

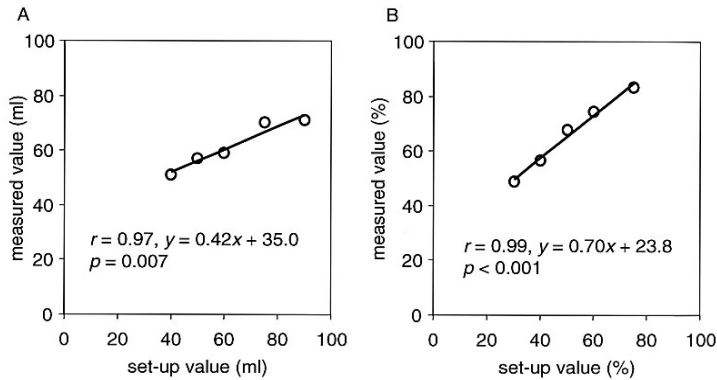


Fig. 7 Correlation of EDV (A) and EF (B) between set-up and measured values using 2020tc Imager.

縁が不明瞭となるが、LEHS コリメータ使用時の 2020tc Imager では 0.5 分収集においても明瞭な心プール像が得られた。実際、LEHS コリメータ装着の 0.5 分収集では LEGP コリメータ装着の 1 分収集と同等の心室内総収集カウントが得られ、0.5 分収集における EF も LEGP コリメータ装着では設定値である 60% から外れた測定値であったのに対し、LEHS コリメータ使用では高カウントを反映してほぼ設定通りの EF が測定された (Table 1)。

拍動型ファントムの EDV/EF 設定値を変化させ 2020tc Imager により得られた ED, ES の心プール像を Fig. 6 に示す。EDV の設定値と測定値での比較では、相関係数 $r = 0.97$ ときわめて良好な相関が得られたが、回帰直線の傾きは 0.4 と測定値は設定値と比べ過小評価となった (Fig. 7)。設定値と測定値の EF も相関係数 $r = 0.99$ ときわめて良好な相関を示し、回帰直線の傾きも 0.7 と EDV と比べ 1 に近い値を示した。

V. 考 察

2020tc Imager の検出器は、高検出効率の蛍光体である 3.25×3.25 mm の CsI (Tl) が検出素子として 4,096 個配列されており、直接各位置における放射線のイベントを計測し、半導体である Si-フォトダイオードにより直接電気信号に変換され

るため、従来の Anger 型カメラでの位置計算は必要なく、1 素子の大きさである 3.25 mm というシンチカメラとしては優れた固有空間分解能が保証される。さらに、検出器の外縁から最外層の検出素子までは 1.2 cm にとどまり、有効視野も 20.8×20.8 cm と小型化されているため、検査の対照部位に近接することでコリメータによる空間分解能の向上も期待できる⁵⁾。また、総重量 160 kg で、キャスターにより移動できるモバイル型であり、心疾患強化治療室 (CCU) や手術室での収集も可能である。CCU 入室患者には多くの点滴ライン、生命徴候モニターが装着されていることが少なくなく、核医学検査における従来の大型の Anger 型検出器の収集ポジション設定は種々の危険を孕んでいる。2020tc Imager の検出器は半導体使用により 22×22 cm とコンパクト化されており、厚さもわずか 13 cm で視野も広くとれるため容易に患者周囲の医用装置を避けて検出器のポジション設定が可能である。さらに、CCU 室内での放射性薬剤投与が可能な施設では、CCU からの移動の必要もなく、安全かつ簡便に急性期の心疾患患者の心臓核医学検査を施行できる。

今回、われわれは CCU 内での心プールシンチグラフィ施行を想定して、拍動型心臓ファントムを用いて 2020tc Imager による心機能測定の精度を検証した。今回用いた拍動型心臓ファントムで

は、収縮末期に連結されたチューブと心室が直線上になり心基部の分離が問題となるが、連結部による吸収でチューブと心室にカウント差が生じ、いずれのカメラにおいても心基部の分離は良好であった。Anger型カメラとの比較では収集時間によらず Anger型カメラと同等のカウントが検出され、1次フーリエ近似による EF もほぼ設定値に近い値が測定された。また、Anger型カメラでは近似なしの EF は設定値から大きく外れた値を示したのに対し、2020tc Imager では近似なしでも設定値からの外れ値は測定されなかった。さらに LEHS コリメータ使用時には LEGP コリメータに比べ約2倍のカウントが得られ、EF も正確に測定されることより、短時間収集、長時間の経時的収集、治療前後の効果判定等への臨床応用が考えられる。今回の EF は70%と比較的高値に設定したため収縮末期にはファントム内腔は狭小化した。また、ファントムと検出器を5cmと近接したため、コリメータによる分解能の劣化は軽度にとどまり、検出器自体の固有分解能の差が強調された心プール像となった。このため、検出器の分解能に劣る Anger型カメラにおいて狭小化した収縮末期心プール像辺縁は過小抽出され、近似なしの EF が設定より高値に算出されたと考えられる。

2020tc Imager に標準装備されている心プール解析ソフトウェア Mirage の解析処理時間は迅速で、開始後瞬時に解析結果が表示される。17例の臨床例の検討では88.2%で左室辺縁が妥当に抽出されており、臨床例においても従来の Anger型カメラから算出された EF と 2020tc Imager で測定された EF はきわめて良好な相関が得られた⁶⁾。今回のファントムを用いた検討では、EDV、EF のいずれも設定値と測定値はきわめて良好な相関を示したが、少なからぬ乖離を示した。これらの乖離の原因としては、EDV の設定値によって内腔の形状が変化するファントムと Mirage の解析 algorithm との相互作用と考えられる。すなわち、小さな設定値で内腔単軸の狭小化により内腔のカウントの定常性が十分得られず2次微分による辺縁抽出が不正確となる可能性がある。逆に大きな

設定値では長軸中央部が拡大するため弾丸様の形状が変形し、area-length法の誤差要因となる。臨床使用に際しても、左前斜位像から area-length法による EDV 測定は過小評価が予期され、Mirageによる EF および EDV の定量性の確立にはさらなる検討が必要と考えられた。

本論文では拍動型ファントムを用いた心プールシンチグラフィによるマルチゲートデータの検証に焦点を絞って検討したが、CCU内における緊急核医学検査としては他に心筋血流シンチ、急性心筋梗塞シンチ、肺血流シンチ等が挙げられる。2020tc Imager は坐位の SPECT 収集には対応しているものの、CCU内での臨床応用は非常に限られている。今後、臥位での SPECT 収集装置の開発、QGS^{TM7,8)}等の搭載による心拍同期 SPECT 解析ソフトウェアの充実により、CCU内での2020tc Imager を用いた心臓核医学検査の選択枝が拡がり、急性期心疾患の病態把握の一助になると期待される。

VI. 結 語

半導体検出器を搭載した 2020tc ImagerTM は、拍動型心臓ファントムを用いた検討では従来の Anger型カメラと同等の心機能値が得られ、CCU等における急性期の心機能把握に有用と思われる。また、高感度コリメータにより短時間収集が可能となり、負荷検査等の繰り返し収集への臨床応用が期待された。

文 献

- 1) Kipper M, Yeung D, Halpern S, Belezouli E, Paratheofanis F, LaBarbara J, et al: Quality of planar images using a solid-state gamma camera, compared with convention gamma scintillation camera. *J Nucl Med* 1998; 39: 132p. (abstract)
- 2) Hartsough N, Pi B, Gormley J, Conwell R, Ashburn W: Performance characteristics of a compact, quantized gamma camera. *J Nucl Med* 1999; 40: 277p. (abstract)
- 3) Gormly J: 2020tc ImagerTM Radiation Detector Technical Topics. Digirad Corporation, 1999.
- 4) 横山賀一: 半導体検出器の登場 米国 Digirad 社製ガンマカメラについて . 映像情報 2000; 32:

- 818–821.
- 5) 成田浩人, 川井田洋一, 大下 崇, 伊藤太之, 土田大輔, 福光延吉, 他: 半導体検出器式多結晶シンチレーションカメラ Digirad 2020tc Imager™ の性能評価. 核医学 2001; 38: 355–262.
 - 6) 汲田伸一郎, 趙 圭一, 中條秀信, 鳥羽正浩, 秋山一義, 尾科隆司, 他: 半導体検出器搭載モバイル型ガンマカメラ Digirad 2020tc Imager™ を用いた左室機能解析. 核医学 2001; 38: 249–253.
 - 7) Germano G, Kavanagh PB, Su HT, Mazzanti M, Kiat H, Hachamovitch R, et al: Automatic reorientation of three-dimensional gated single-photon emission computed tomographs. *J Nucl Med* 1995; 36: 1107–1114.
 - 8) Germano G, Kiat H, Kavanagh PB, Moriel M, Mazzanti M, Su HT, et al: Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med* 1995; 36: 2138–2147.

Summary

Cardiac Pool Scintigraphy Using the Solid-State Digirad 2020tc Imager™ —Comparison with the Conventional Anger-Type Gamma Camera Using Moving Cardiac Phantom—

Keiichi CHO, Shin-ichiro KUMITA, Hidenobu NAKAJO, Masahiro TOBA,
Tetsuji KIJIMA, Sunao MIZUMURA, Makiko ISHIHARA, Takashi OSHINA,
Minoru SAKURAI, Haruyoshi SAITOH and Tatsuo KUMAZAKI

Department of Radiology, Nippon Medical School

Movable gamma camera, 2020tc Imager™, was light miniaturized using Si photodiode as a semiconductor sensor instead of photomultiplier tubes. To validate performance of this new camera in cardiac pool scintigraphy, multigated equilibrium radionuclide ventriculography using the moving cardiac phantom was performed with 2020tc Imager and a conventional Anger-type gamma camera (PRISM 3000). **[Method]** Both measured cardiac functional values were compared with the set-up ones for the phantom. Five-, 7.5-, and 10-minute-multigated data were acquired using both cameras under constant contractile condition. Constant 5-minute-multigated data acquisitions using 2020tc Imager were also carried out with varied contractile conditions. **[Results]** Meas-

ured ejection fraction (EF) derived from 2020tc Imager and an Anger-type camera were 68.5 ± 0.6 and $70.3 \pm 1.4\%$, respectively. Both of these values were absolutely close to the set-up EF value of 70%. Both of end-diastolic volume and EF showed excellent correlation between set-up and measured values with the correlation coefficient of 0.97 and 0.99, respectively. **[Conclusion]** This new movable camera could provide comparative cardiac functional values with an Anger-type camera and it can be useful to evaluate acute cardiac function in a coronary care unit.

Key words: Solid-state gamma camera, Moving cardiac phantom, Multiple equilibrium radionuclide ventriculography, Coronary care unit.