

《原 著》

ガンマカメラ回転型SPECTによるI-123画像の改良

—適正コリメータとカメラ回転半径についての検討—

村田 啓* 外山比南子** 黒崎 敦子* 児島 陽一*

関 要次郎*** 相羽 正***

要旨 N-isopropyl-I-iodoamphetamine (IMP) は脳局所血流分布を知る指標として利用されつつある。しかし、IMPの脳への分布が少ないうえに、ガンマカメラ回転型SPECTでは脳と検出器間距離が長いために十分なカウントが得られないこともあって、必ずしも満足のいく画像が得られないのが現状である。

本研究では、2種のガンマカメラと既存の5種のコリメータを用いて、NaI-123を用いたファントム実験とIMPによる臨床評価を行って、I-123によるSPECT画像を改良するための検討をした。

その結果、スラントホール型コリメータあるいは400 AC/Tカメラを使用して、より小さな回転半径データ収集をすることにより分解能が向上することがわかった。また、コリメータは低エネルギー高分解能型が適していた。

I. 目 的

回転型ガンマカメラの普及によりシングルフォトン・エミッションCT(SPECT)の臨床応用は増大しつつある。なかでもI-123標識医薬品によるSPECTは、将来ポジトロンによる生化学イメージングなどに代わりうる可能性のあるものとして期待されている。すでに実用化されているものにN-isopropyl-I-123-iodoamphetamine (IMP)があるが^{1,2)}、本剤によるSPECTは脳局所血流分布を知る指標^{3,4)}として利用されつつある。しかし、ガンマカメラ回転型SPECTでは必ずしも満足のいく画像が得られていないのが現状である。ガンマカメラの分解能はコリメータの穴の大きさ、厚さ、数によって決まり、表面から遠くなるほど劣化する。したがって、カメラの回転半径はでき

るだけ小さい方がよい。また、I-123のエネルギーは160 KeVで、最も多く使用されているTc-99mのエネルギーよりやや高く、Ga-67、I-131などよりは低いことから、従来のコリメータは必ずしもI-123には適さない。

本研究では、2種類のガンマカメラと5種類のコリメータを用いて、NaI-123を用いたファントム実験と、IMPの臨床応用を行って、より良い画像を得るための検討を加えた。

II. 方 法

1) 装 置

ガンマカメラ・コンピュータ・システムは、ZLC-7500型カメラ(Siemens)・シンチパック2400(島津)とマキシカメラ400 AC/T・マキシスター(GE-横河メディカル)を用いた。ZLC-7500には30°の傾斜角をもつ低エネルギー・スラントホール型コリメータ(SL)(Nu Tech製)、低エネルギー準高分解能平行孔型コリメータ(NHR)(Nu Tech製)および中エネルギー平行孔型コリメータ(ME)(Siemens製)を装置し、また400 AC/Tには低エネルギー汎用平行孔型コリメータ(GP)および低エネルギー高分解能平行孔型コリ

* 虎の門病院放射線科

** 筑波大学臨床医学系

*** 虎の門病院脳神経外科

受付: 61年1月27日

最終稿受付: 61年4月18日

別刷請求先: 港区虎ノ門2-2-2 (郵105)

虎の門病院放射線科

村 田 啓

Table 1 Specification of each collimator used in the present study

| | Nu Tech | | Siemens | General Elec. | |
|-----------------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | Slant (SL) | High reso. (NHR) | Midd. energy (ME) | General p. (GP) | High reso. (GHR) |
| Diam. of holes (mm) | 1.78 | 1.58 | 3.54 | 2.50 | 1.80 |
| Shape of holes | Hexagon | Hexagon | Square | Hexagon | Hexagon |
| No. of holes | 27,500 | 34,100 | 5,200 | 18,000 | 32,000 |
| Collimator thick (cm) | 3.1 | 2.5 | 5.0 | 4.1 | 4.0 |
| Thick of septum (mm) | 0.25 | 0.25 | 1.32 | 0.30 | 0.30 |
| Energy (keV) | 190 | 170 | 300 | 190 | 190 |
| FWHM (mm) | 0 cm 5 10 | 2.2 — 7.7 | 2.1 — 8.6 | 4.4 — 11.6 | — 5.9 8.9 |
| | | | | | 5.3 7.1 |

SL: low energy, slant hole collimator.

NHR: low energy, high resolution collimator.

ME: middle energy collimator.

GP: low energy, general purpose collimator.

CHR: low energy, high resolution collimator.

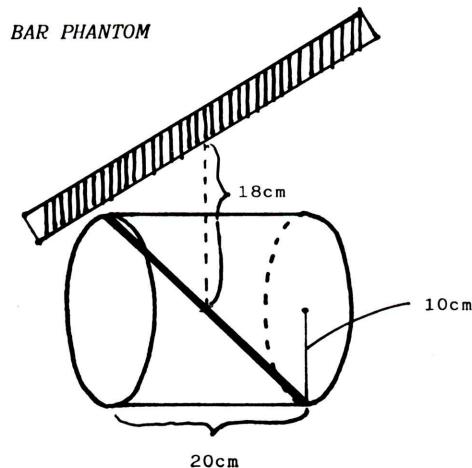


Fig. 1 Line source phantom. A straight tube filled with 500 μCi of NaI-123 solution was kept in a cylindrical phantom and the cylinder was filled with background activity. Slant hole collimator was located as shown in the figure.

メータ (GHR) (いずれも GE 製) を装着してデータ収集をした。5種類のコリメータの仕様を Table 1 に示す。

2) ファントム実験

線線源を用いて、前記 5種類のコリメータについて分解能を測定した。直径 20 cm, 深さ 20 cm

の円筒ファントムの中に NaI-123 水溶液 (500 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$) を満たした内径 2 mm の管を斜めに入れ、まわりには 0.3 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ のバックグラウンドを入れた (Fig. 1)。スラントホール型コリメータは Fig. 1 に示すごとく 30° 傾斜させて孔が断面と平行になるようにし、コリメータ中心とファントム中心 (線線源の中心) との距離を 18 cm とした。したがって、回転半径は図の左側でより小さく右側でより大きくなつた。その他のコリメータは、表面からファントム中心までの距離を 24 cm とした。400 AC/T ではさらに近づけることができるため 14 cm の距離でも測定した。これらのファントム実験は全て 360°, 64 方向, 30 秒/角度でデータ収集をした。分解能は各コリメータによる線線源の半値幅として求めた。

3) 臨床評価

脳血管障害、脳腫瘍を中心とした約 60 症例に IMP による頭部 SPECT を行った。IMP 約 3 mCi 静注 20 分後より、前記装置を用いて 360°, 64 方向, 40 秒/角度でデータ収集をし、断層像を作製した。これらの症例のうち複数のコリメータや、異なる回転半径で SPECT を行った 12 症例について画像を比較した。

III. 結 果

1) ファントム実験

5種類のコリメータによる線線源の半値幅(FWHM)をFig. 2に示した。各コリメータで深部ほど大きなFWHMを示した。これらの中で、SLとGHRのFWHMが最も小さかった。Fig. 3は回転半径24 cmと14 cmでのGPとGHRコリメータのFWHMである。高分解能型の方が小さなFWHMを示したが、汎用型でも回転半径を小さくすることにより高分解能型に近いFWHMとなった。回転半径14 cmのGPとGHR、およびSL(ファントム中心部での回転半

径18 cm)のFWHMを比較すると、SLとGHRでやや小さな値を示した(Fig. 4)。

2) 臨床評価

同一症例で複数回のIMP-SPECTを行った症例を提示する。

(1) SLとMEによる比較

49歳、男性、脳梗塞。発症6日目のSPECT横断像(Fig. 5)で、左がSL、右がMEによるものである。本例のX-CTは脳室拡大と左側脳室後角に接した小梗塞を示した。2つのSPECT像でともに拡大した側脳室と梗塞巣に一致した低血流域が認められるが、被核や視床の描出にはSLの方が優れていた。SLは、下段のプロフィール曲線

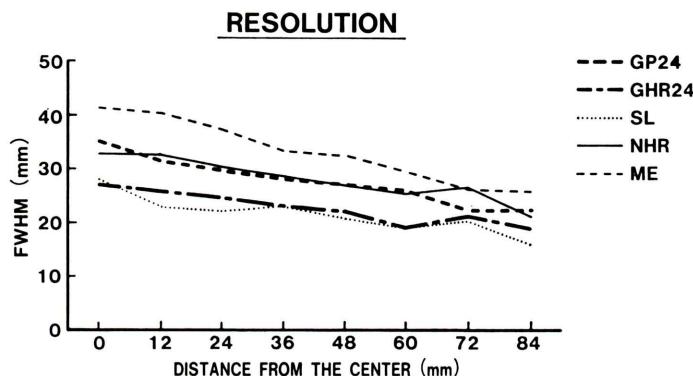


Fig. 2 Spatial resolution (FWHM) in five various collimators VS distance from the center of phantom.

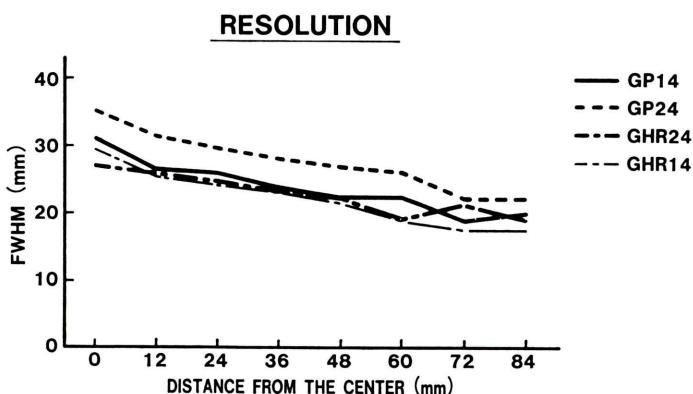


Fig. 3 FWHMs of the two collimators obtained at different phantom-to-collimator distance.

RESOLUTION

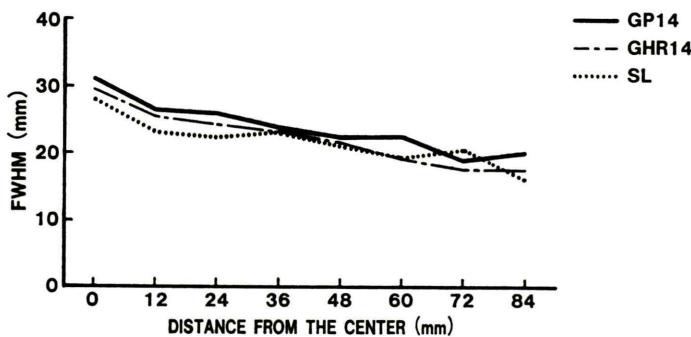


Fig. 4 FWHMs calculated at shorter phantom-to-collimator distance in three collimators.

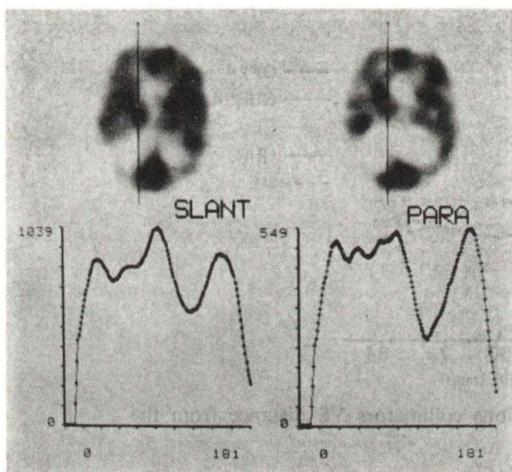


Fig. 5 IMP-SPECT images and activity-profile curves obtained with slant hole collimator (left) and middle energy collimator (right). Gray matter and basal ganglia were more clearly visualized by slant hole collimator.

でも基底核の部位で急峻なピークを作り、深部の観察に優れていることが示された。

同様な比較をした他の4例でも同じような傾向がみられた。

(2) 異なる回転半径の GP 画像の比較

48歳、女性、脳梗塞。Fig. 6は発症5か月後に回転半径12cm(上段)と24cm(下段)で作製し

た横断像である。本例のX-CTは右前頭葉に2×3cmの梗塞巣を示したが、SPECT像では当該部が低血流域として検出された。しかし、近距離での画像の方が灰白質や基底核がより明瞭に描出され、良好な画像であった。

同様な比較をした他の2例でも同じ傾向がみられた。

(3) GHR と GP の比較

76歳、女性、乏突起膠腫。回転半径14cmにおけるGHRとGPによる横断像と矢状断像である(Fig. 7)。右側頭葉の腫瘍はいずれの画像でも低集積域として検出されたが、GHRの像(上段)の方が基底核などの検出においてやや優れていた。

同様な比較をした他の3例でも同じような傾向がみられた。

IV. 考 察

IMPを用いた頭部SPECTはかなりの施設で試みられているが、その多くはガンマカメラ回転型SPECTによるものである。ところで、現在わが国でおもに用いられているI-123には少量ではあるがI-124などの不純物が含まれているが、この点を考慮して設計された専用のコリメータは普及していない。また、IMPの脳への分布は投与量の8%以下⁵⁾と少ないので、そこでより良い画像を

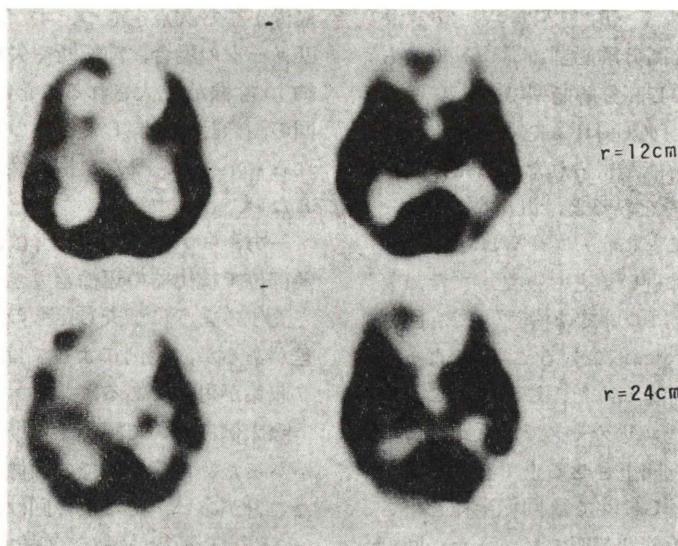


Fig. 6 IMP-SPECT images obtained by a low energy, general purpose collimator, gray matter and basal ganglia were more clearly visualized in the image obtained at shorter radius.



Fig. 7 Transaxial and sagittal images obtained with a high resolution (upper panel) and general purpose collimator (lower panel). Basal ganglia was more clearly visualized in the upper images.

得るために回転半径を小さくする工夫^{6~8)} やコリメータの開発⁹⁾ が試みられている。

既存の機器を用いて、より良い画像を得るために、臨床検査として許容される時間内に必要なカウントが得られ、かつより良い解像力を示すコリメータを用いて、できるだけ小さな回転半径でデータ収集を行うことが最も手軽な方法と思われる。そこで今回の検討は、ZLC-7500 カメラでは

スラントホールコリメータで回転半径を小さくした場合と通常回転半径の平行孔型コリメータのデータの比較、および 400 AC/T カメラでは小回転半径と通常半径での平行孔型コリメータのデータの比較、汎用型と高分解能型コリメータの比較を中心に行った。

ファントム実験において、5 種類のコリメータによる計 7 回の SPECT から算出した FWHM を

比較すると、低エネルギー用(190 KeV)のスラントホール型(SL)と高分解能型(GHR)で最も小さな値を示した。同じ高分解能型でも170 KeVに設計されたコリメータ(NHR)や中エネルギー型(ME)では良い分解能が得られなかった。異なる回転半径による影響をみると、汎用型(GP)では半径を小さくすることによってFWHMは小さくなりSLやGHRに近い値となった。また、著者らが別に行ったSLについての検討¹⁰⁾でも回転半径を25 cmから18 cmにすることによってFWHMは有意に小さくなかった。これらのこととは、汎用型や準高分解能型コリメータでは近距離でのデータ収集が分解能を向上させる上で有用なことを示している。一方、GHRでは回転半径を小さくしてもFWHMの改善は著明でなかった。回転半径を小さくした時のFWHMの改善の仕方がSLとGHRとで異なったが、この原因としてはGHRの方がより高分解能用に設計されているためと考えられる(Table 1)。以上のことから、I-123のSPECT画像の分解能向上のためには回転半径をできるだけ小さくすることが望ましいが、これは高感度に設計されたコリメータほど有効である。また、回転半径を十分に小さくできない場合には高分解能コリメータの使用が望ましいといえよう。

今回のファントム実験は全て同一時間条件で行ったが、そこから求めた各コリメータの相対感度比はSLを1とするとGP:1.6, GHR:1.2, NHR:0.6, ME:0.4となる。ここでSLとGHRは感度、分解能ともほぼ等しい。GPは回転半径が小さい場合GHRとほぼ同じ分解能を示すが、半径が大きくなるとGHRよりも統計精度が良いにもかかわらず分解能が劣化する。すなわち統計誤差を考慮に入れても今回得られた結果は変わらないものと考えられる。

頭部SPECTの場合、平行孔型コリメータでは通常の回転半径は23-24 cmであるのに比べてスラントホール型ではコリメータ中心で14-15 cmでデータ収集ができると便利であるが、得られる断

層像が歪む欠点をもつ。すなわち傾斜角30度のコリメータの場合、前額断や矢状断では体軸方向に約15%像が拡大されることになる。しかし、今回の画像評価に際してはこのことはとくに障害にならなかった。また、横断像では像の歪みは発生しない。

一方、400 AC/Tカメラは、被検者の肩にあたる部位で検出器の辺縁をカットして回転半径を小さくするように工夫したものである。体型により差があるが、症例によっては13-14 cmでのデータ収集が可能である。

臨床例について評価する場合、形態や病態に差があるために症例間での画像の厳密な比較は困難なことが多い。そこで今回は、同一時期に複数回のSPECTを行い得た症例についてその画像を比較する方法をとった。その結果、小回転半径でのSLとGPの画像、およびGHR画像が優れていた。これらることはファントム実験の結果とほぼ一致するものである。そのうえ、同じ小回転半径でGPとGHRを比較した症例では、GHR画像の方がやや優れていた。

今回用いたNaI-123は検定日時で約3%のI-124を含有し、また、IMPは5%以下のI-124を含むとされている。I-123(160 KeV, T 1/2: 13 h)とI-124(603 KeV, T 1/2: 4.2 d)では半減期に差があるために時間経過とともにエネルギーの高いI-124の含有率が高くなることになる。検定時3%の場合のI-124の含有率理論値は1時間後で3.1%, 2時間後3.2%, 3時間後3.5%と少量ではあるが徐々に増加する¹⁰⁾。高分解能型コリメータのIMP画像の方がやや優れていた理由の1つと考えられる。

V. 結論

ガンマカメラ回転型SPECTによるI-123画像の改良について検討し、下記の結論を得た。

- 1) I-123用には190 KeVに設計されたコリメータが適していた。
- 2) スラントホール型コリメータあるいは400 AC/Tカメラを使用して、小回転半径でデータ収

集をすることにより分解能が向上した。この効果は高感度のコリメータほど著明であった。

- 3) 小回転半径の画像でも汎用型より高分解能型の方がやや優れていた。
- 4) IMP-SPECT 画像を改良する上で、低エネルギー高分解能型コリメータを用い回転半径ができるだけ小さくする方法は簡便で有用なものと思われた。

本研究の一部は厚生省がん研究助成(No. 58-42)によった。また、要旨は第25回日本核医学会総会(徳島)で報告した。

IMP を提供いただいた日本メジフィジックス株式会社および Nu Tech 社製コリメータを提供いただいた兼松エレクトロニクス株式会社に深謝する。

文 献

- 1) Winchell HS, Baldwin RM, Lin TH: Development of I-123-labeled amines for brain studies: Localization of I-123-iodophenylalkyl amines in rat brain. *J Nucl Med* **21**: 940-946, 1980
- 2) Winchell HS, Horst WD, Braun L, et al: N-isopropyl-I-123-iodoamphetamine: single pass brain uptake and washout: Binding to brain to brain synaptosomes and localization in dog and monkey brain. *J Nucl Med* **21**: 947-952, 1980
- 3) Hill TC, Holman BL, Lovett R, et al: Initial experience with SPECT of the brain using N-isopropyl I-123-iodoamphetamine: Concise communication. *J Nucl Med* **23**: 191-195, 1982
- 4) Kuhl DE, Barrio JR, Huang SC, et al: Quantifying local cerebral blood flow by N-isopropyl-p-I-123 iodoamphetamine (IMP) tomography. *J Nucl Med*, **23**: 196-203, 1982
- 5) Holman BL, Zimmerman RE, Schapiro JR, et al: Biodistribution and dosimetry of N-isopropyl-p-I-123 iodoamphetamine in the primate. *J Nucl Med* **24**: 922-931, 1983
- 6) Palak JF, Holman BL, Moretti J, et al: I-123-HIPDM brain imaging with a rotating gamma camera & slant-hole collimator. *J Nucl Med* **25**: 495-498, 1984
- 7) Esser PD, Alderson PO, Mitnick RJ, et al: Angled-collimator SPECT: An improved approach to cranial single photon emission tomography. *J Nucl Med* **25**: 805-809, 1984
- 8) Larsson SA, Bergstrand G, Bergstedt et al: A special cut-off camera for high-resolution SPECT of the head. *J Nucl Med* **25**: 1023-1030, 1984
- 9) 小山田日吉丸, 福喜多博義, 芝原徳幸, 他: I-123-IMP による脳の SPECT 専用コリメータの開発について. 昭和 58, 59 年度厚生省がん研究助成「高性能シングルフォトン ECT 装置の開発に関する研究」報告書, 1985, pp. 21-32
- 10) 村田 啓, 外山比南子: シングルフォトン ECT による I-123 画質向上に関する検討. 昭和 58, 59 年度厚生省がん研究助成「高性能シングルフォトン ECT 装置の開発に関する研究」報告書, 1985, pp. 103-112

Summary

Improvement of Rotating Gamma Camera SPECT Image with I-123 —A Study for Adequate Collimator and Rotation Radius—

Hajime MURATA*, Hinako TOYAMA**, Atsuko KUROSAKI*, Yoichi KOJIMA*,
Yojiro SEKI*** and Tadashi AIBA***

*Division of Nuclear Medicine, Toranomon Hospital, Tokyo

**Institute of Clinical Medicine, University of Tsukuba, Tsukuba

***Division of Neurosurgery, Toranomon Hospital, Tokyo

N-isopropyl-I-123-iodoamphetamine (IMP) can be used to evaluate regional cerebral perfusion. However, high quality image of IMP using conventional single photon ECT (SPECT) is not necessarily obtained because gamma camera rotating SPECT has larger head-to-detector distance. Furthermore, brain uptake of IMP is less than 8% of the injected dose.

In the present investigation NaI-123 line phantom study and clinical study with IMP were performed to improve the resolution of I-123 SPECT image. A slant hole collimator attached to a conventional gamma camera and a cut-off camera, both of which have been developed to gain

shorter object-to-detector distance, were evaluated. Three low energy, parallel hole collimators and a middle energy parallel hole collimator were also evaluated to select adequate collimator for I-123 imaging.

In conclusion, low energy, high resolution, slant hole collimator or cut-off camera with low energy, high resolution, parallel hole collimator was useful for improvement of rotating gamma camera SPECT image with I-123.

Key words: I-123, IMP, Rotating gamma camera SPECT, Slant hole collimator, Cut-off gamma camera.