



Title	同軸型Ge(Li)検出器を用いた断層スキャナ
Author(s)	三枝, 健二; 有水, 昇; 内山, 晓 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1978, 38(3), p. 230-237
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17420
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

同軸型 Ge (Li) 検出器を用いた断層スキヤナ

千葉大学医学部放射線医学教室（主任：有水昇教授）

三枝 健二 有水 昇

千葉大学医学部附属病院放射線部

内 山 瞳

理化学研究所

岡 野 真 治

（昭和52年9月9日受付）

（昭和52年10月31日最終原稿受付）

A Scanner Using a Coaxial Ge(Li) Detector and Scintitomography

By

Kenji Saegusa and Noboru Arimizu

Department of Radiology, Chiba University School of Medicine, Chiba, Japan

(Director: Prof. N. Arimizu)

Guio Uchiyama

Department of Radiology, Chiba University Hospital, Chiba, Japan

Shinji Okano

Institute of Physical and Chemical Research, Wako, Japan

Research Code No.: 705

Key Words: *Scanner, Scintitomography, Germanium detector*

The coaxial type Ge(Li) detector has characteristic output pulse shapes that depend on the radial position of photons absorbed. The rise-time of output pulses generated by photons in the central zone of the detector is generally shorter than that of the peripheral zone. This characteristics were applied on the method of a tomographic display of scintigraphic imaging in combination with a multi-focused collimator.

We studied on the performances of tomographic display with a commercialized scanner equipped with a coaxial type Ge(Li) detector, 46 mm in diameter and 33 mm long, coupled with a multifocused collimator. The radial-position resolution of the coaxial detector, dependent upon the rise-time discrimination of the output signals, were examined with a narrow beam of Tc-99m gamma-ray impinging to the surface of the detector. In setting the rise-time discrimination to several levels, a variety of ring-shaped images of different diameters were obtained after scanning without a collimator.

Three types of multi-hole collimators having three focal distances, with intervals 2, 2.5, and 3 cm respectively, were so far made, offered to the experimental imaging. The depth discrimination on images was also examined by using a Tc-99m phantom composed of three separated alphabetical plane-sources. Better depth discrimination on tomographic images was obtained by using a collimator with focal intervals of 3 cm. The use of a coaxial Ge(Li) detector is potentially prospective for producing tomographic images with a scanning equipment.

1. はじめに

半導体スキャナは NaI (TI) 検出器に比べ、すぐれたエネルギー分解能を有する。半導体イメージ装置はこの特徴を取り入れたもので、既に幾つか報告されている^{1)~5)}。半導体検出器のうち、同軸型 Ge(Li) 検出器は、さらに、入射ガンマ線が吸収される半径方向の位置により、異った出力波形を生ずる特性がある。即ち、入射面の中心 (Pコア) に近い位置に入射したガンマ線ほどパルス立上りが早く、外周 (N層) に向うにつれて遅れる。Shermann および Strauss の半導体カメラは、この特性を利用して⁴⁾いるが、われわれはこの特性を断層イメージングに応用することを試みた。これは同軸型 Ge(Li) 検出器と同心円状多焦点型コリメータを組合せ、被検体の深さ方向の情報を選別して、断層スキャン像として取出す方法である。この方法の可能性については既に報告しているが^{6)~8)}、今回は主としてコリメータの実験結果について報告する。

2. 実験装置

使用した装置は、現有的シンチスキャナ (東芝製 3インチ NaI) に、同軸型 Ge(Li) 検出器を取り付けた半導体スキャナで⁵⁾、Ge(Li) 検出器は堀場製直径 46mm $\phi \times$ 高さ 32mm (有効容積 51 cm³) の大きさのものである。

本断層スキャニングの原理は、被検体の深さ方向の情報を、同軸型 Ge(Li) 検出器入射面の半

径方向の位置に対応させ、この出力信号の立上りの変化 (時間差) を選別することにより多層断層像を得るもので、被検体の任意深さの断面と、検出器半径方向の位置の対応には多焦点型コリメータを使用している。そして、1回のスキャンで2層以上多層の断層シンチグラムを得ることを目標としている。多焦点型コリメータとしては、3焦点を有する焦点間隔の異なる3種 (2.0, 2.5, 3.0 cm) を用意した (Fig. 1)。孔径は何れも 2mm ϕ で、同心円状に配列した多孔型である (Fig. 2)。

Ge(Li) 検出器面の半径方向における入射位置を測定する回路としては、出力信号の立上り波形を分別する波形選別回路を用いた⁷⁾。Fig. 3 に、使用した測定系のブロック図を示す。

3. 実験方法

① はじめに、断層スキャンにおける検出器を含む測定回路系の性能を検討するため、同軸型 Ge(Li) 検出器と波形選別回路との組合せによる検出器入射面での位置分解能を調べた。即ち、コリメータを取除いた状態で、^{99m}Tc-ガンマ線源の細い線束 (直径 2mm ϕ) が、検出器前面に垂直に入射するよう配置し、これを種々の波形選別レベル (Fig. 3 の TAC/SCA のディスクリミネーション・レベル) でスキャンした。次に、② コリメータをつけた場合の深さ方向 (コリメータ軸方向) の位置と選別レベルの関係、深さ方向の位置分解能について調べた。深さ方向の位置と選別レ

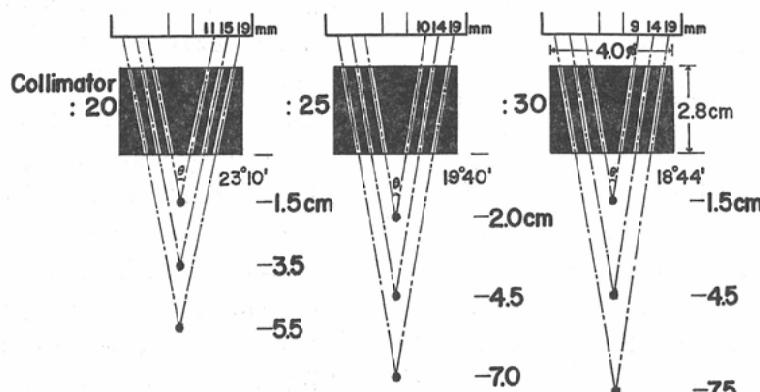


Fig. 1 Geometrical configuration in cross-sections of three kinds of multi-focused collimator.

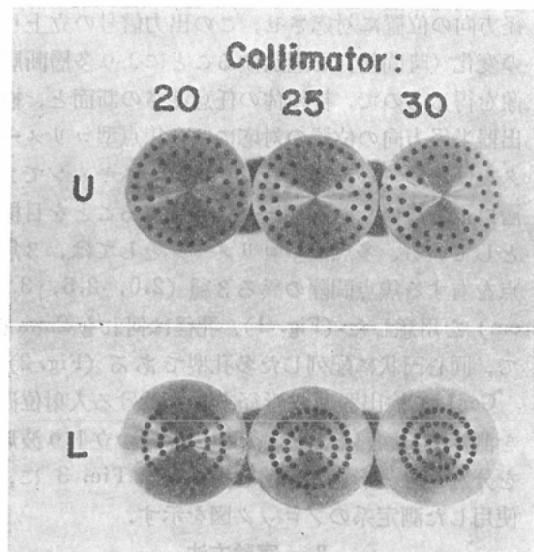


Fig. 2 The pictures showing the hole arrangements of collimators on the detector side (upper) and on the outer side (lower). Six holes are arranged on the inner ring, eighteen ones on the middle ring, and thirty ones on the outer ring.

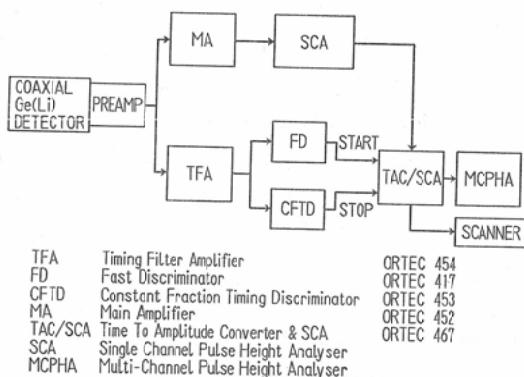


Fig. 3 Block diagram for the detection of leading-edge timing.

ベルの関係は、 ^{99m}Tc -line source（長さ 25cm, 内径 0.8mm ϕ のポリエチレン細管に 1mCi 封入）を、コリメータの焦点位置で軸と垂直になるよう配置、これを種々の選別レベルでスキャンして、各焦点における最適選別レベルを求めた。また、位置分解能は各最適選別レベルにより、空気中 45° に傾斜させた ^{99m}Tc -line source の Tsuya Tscan から求めた（装置の構造上、point source

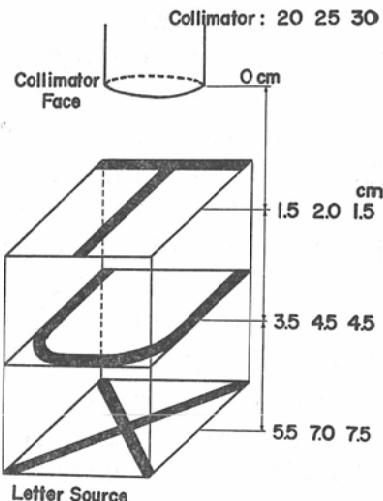


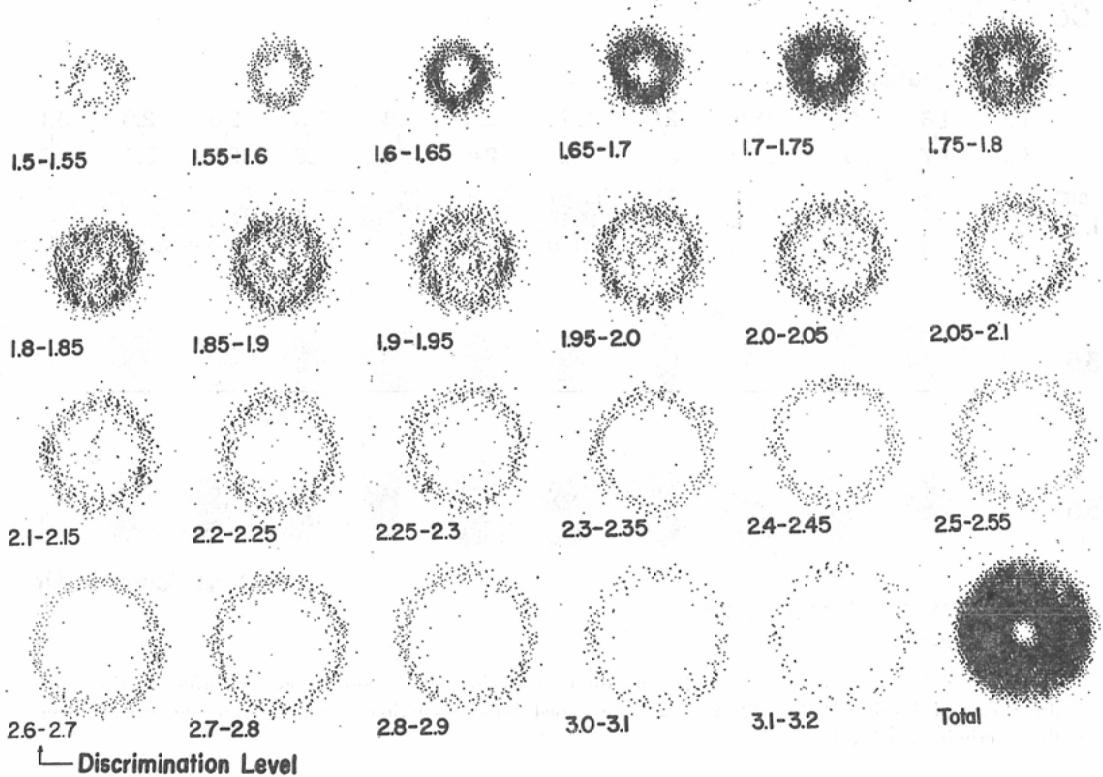
Fig. 4 Schematic illustration of the scan phantom composed of character sources. The numerals show three types of collimators (at the top) and respective source-collimator distances.

による Tsuya Tscan ができないため、line source を使用）。③ ^{99m}Tc 線源を含む濾紙ファントムを作製し、これをコリメータの各焦点面に配列して断層スキャンを行い（Fig. 4）、各コリメータについて得られたスキャン画像を比較し、本装置での断層像を評価した。

4. 実験結果

1) 検出器の位置分解能

^{99m}Tc 線源の細い線束をスキャンすることにより、各選別レベルに対する検出器面でのガンマ線入射位置の関係を求めた。Fig. 5 はそのスキャン結果で、選別レベルの低い側では半径の小さい、高い側では半径の大きいリング状のスキャンが得られている。検出器の中心から半径方向 4.5 ~ 23mm のガンマ線入射領域に対応する選別レベルは、1.5~3.0 の範囲であるが、1.8~2.0 附近で 2 重のリングが認められ、この部分の選別レベル使用は、位置分解能を低下させる。また、スキャンで描出されたリング状スキャン像の内外径の実測値をもとに、選別レベルと検出器入射位置（半径位置）の関係を描くと、Fig. 6 のようになる。このグラフから分ることは、今回の実験に使用した 46mm ϕ 程度の Ge(Li) 検出器と測定系



Discrimination Level

Fig. 5 Scans of a narrow beam of 2 mm in diameter, using a variety of rise-time discrimination levels. The collimator was not used and the beam was directed in perpendicular with detector surface. The discrimination level decided the annular patterns of scan images.

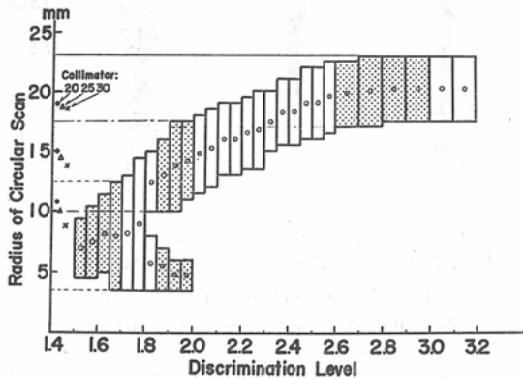


Fig. 6 Relationship among rise-time discrimination levels, radius, and width of annular images of scans.

では、選別レベルの数をあまり多くは取れないことである。即ち、選別レベルの幅を比較的小さくしても (Fig. 6 では0.05), スキャンリングの幅

は5mm程度はあり、選別レベルの数を細かくしてのスキャンは、リング状スキャン像が重複する結果となり、好ましくない。

2) コリメータの特性

上記の結果から、使用できる選別レベルの数はせいぜい3つであり、このことからコリメータは3焦点として、Fig. 1に示す焦点距離の異なる3種類を作製した。コリメータの幾何学的寸法から、検出器面でのガンマ線入射位置(半径)を計算すると、Fig. 6縦軸右の印 (●; 20, △; 25, ×; 30)に示すとおりである。各コリメータについて、焦点位置に対する最適選別レベルを決めるため、 ^{99m}Tc -line sourceを焦点面に置き、各選別レベルでスキャンを行つた。Fig. 7はコリメータ: 20を使用した場合の、各焦点位置におけるスキャン結果で、この一連のスキャンから最

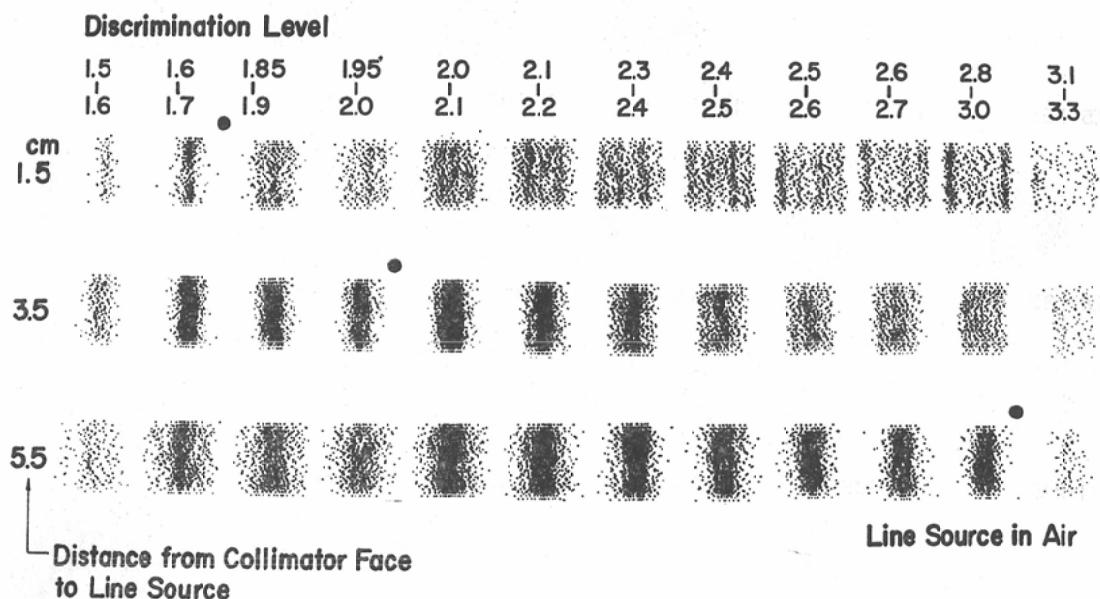
Collimator: 20

Fig. 7 Series of scans of a line source for determining resolution with a collimator. A variety of rise-time discrimination levels and the collimator #20 were used. The resolution of images were dependent upon the discrimination level.

適選別レベルとして、焦点距離1.5, 3.5, 5.5cm のそれぞれに対し、1.6—1.7, 1.95—2.0, 2.8—3.0を選んだ（スキャン右肩の●印）。他のコリメータ：25では焦点距離2.0, 4.5, 7.0cm のそれぞれに対し1.6—1.7, 1.85—1.9, 2.6—2.7, コリメータ：30では同様に焦点距離1.5, 4.5, 7.5cm のそれぞれに対し1.6—1.7, 1.85—1.9, 2.8—3.0であつた。次に、前述の実験で得た最適選別レベルを用い、^{99m}Tc-line source の TsuyaTscan を行い、各コリメータの特性を比べた。Fig. 8 はコリメータ：20の、各選別レベルによる Tsuya Tscan の結果を示す。各選別レベルに応じて、焦点位置の変化していることが分る。左端は浅い焦点、右端は深い焦点を示しているが、ほかのコリメータもこれとほぼ同じパターンである。また、各焦点位置での、TsuyaTscan の横幅の広がりを比べれば、選別レベルで合せた焦点以外での像のぼけ具合が想像できる。例えば、コリメー

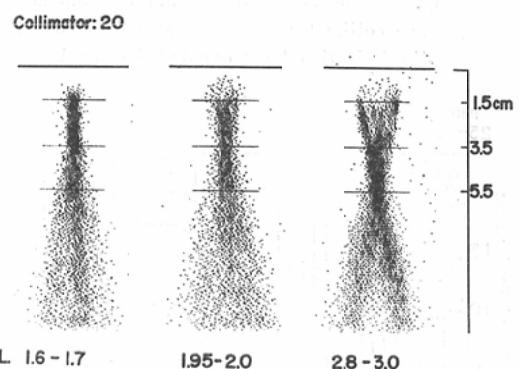


Fig. 8 TsuyaTscans and rise-time discrimination levels, using Tc-99m line source in air.

タ：20の場合、選別レベル1.6—1.7のとき、1.5cm 焦点面に対し 5.5cm 面では少しほけるが、3.5cm 面ではほとんどぼけない。逆に、選別レベル2.8—3.0のとき、5.5cm 焦点面に対し 1.5cm 面ではぼけるが、3.5cm 面では僅かぼけるに過ぎない。一般に焦点距離を大きくする程、焦点深

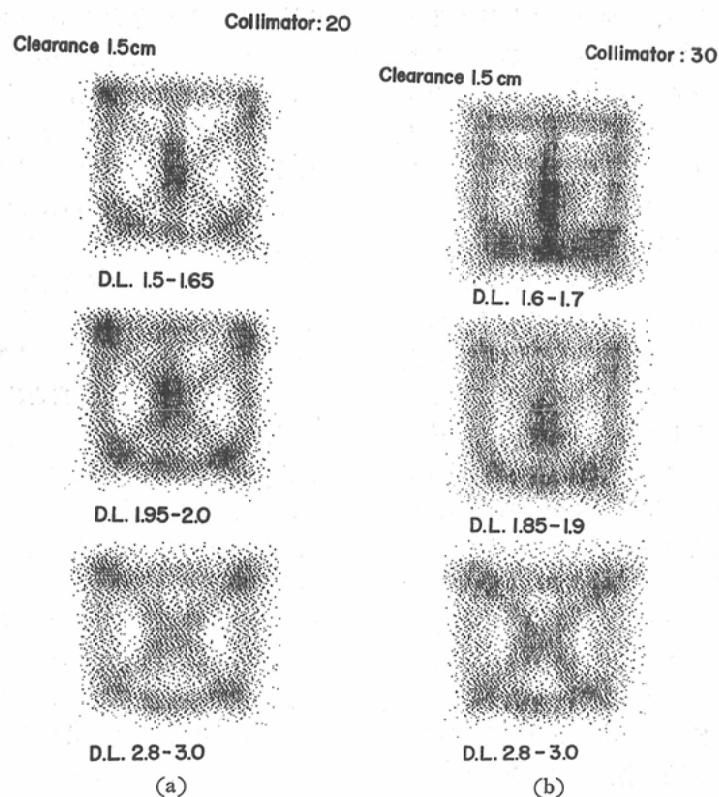


Fig. 9 Tomographic displays of radioactive alphabets placed on the corresponding focal planes illustrated on fig. 4. Collimator #20 (a. figure) and #30 (b. figure) were used.

度が深くなる傾向なので、断層効果を高めるには焦点間隔を大きくとる必要がある。

3) 灰紙ファントムの断層スキャン

^{99m}Tc 文字線源を Fig. 4 のように配列し、断層スキャンを行つた。断層スキャン像は、各コリメータとも類似パターンを示したが、断層間隔 3cm 以下では十分な断層効果は期待できなかつた。Fig. 9 にコリメータ : 20 および : 30 によるスキャン結果を示す。コリメータ : 20 についてみると、文字 T に着目した場合、1.5cm (図上) のスキャンが最も鮮鋭に、5.5cm (図下) が最もぼけ、3.5cm (図中) は少しほける程度。文字 U の場合は、3.5cm (図中) に対し、5.5cm (図下) は少しほけるが、1.5cm (図上) はあまり変わらない。文字 X の場合は、文字 T と逆の関係で同じことがいえる。コリメータ : 30 については、コリメ

ータ : 20 より一般にぼけ方が大きく、断層効果は良い。これは焦点間隔が前者 (Fig. 9, a) の 2cm に対し、後者 (Fig. 9, b) は 3cm と大きいためである。以上の結果は TsuyaTscan のデータをよく反映している。

5. 考 察

Ge (Li) 検出器を用いた断層スキャンは、被検体の任意の深さにおける断層像を得るこれまで試みられていない新しい方法である。初期の実験では、同時に多数の断層面が得られるように、4~5 焦点を有するコリメータを使用したが、これらは焦点間隔が 1.5cm および 2.4cm と比較的接近しているため、識別できる断層像を得ることはむずかしかつた。今回は 3 焦点コリメータを使用したが、現段階ではまだ十分利用できる断層像を得るまでに至つてない。この点は、検出器

一測定回路系の性能向上、コリメータ特性の改善をはかることで、ある程度は解決できるものと考える。今回使用したコリメータは、いずれも中間焦点に対応する選別レベルが、先に触れた2重リングを生ずる1.8—2.0附近くるため、断層スキャンではここを避けた方がよいが、それをコリメータの側で調整することはむづかしい。やはり測定回路系で2重リングが生じないように改める必要がある。測定系の性能を検出器面で1~2mm幅程度の位置分解能まで改善できれば、かなり良い断層スキャン像も期待できよう。ただ、検出器面での位置分解能が向上すると、入射ガンマ線を見込むリング幅がよりせまくなる結果、断層スキャンに利用されるガンマ線数が減少するため、必然的に大型口径検出器の使用ということになる。大型検出器は立体角が大きく、感度・断層効果を高める反面、ガンマ線の斜入射による位置分解能の低下をきたす憂いがある。次に、本断層スキャニングの方法では、コリメータが重要な役割を果す。コリメータの特性因子として、① 焦点数、② 焦点距離、③ 孔数（各焦点間の感度差の整合）、④ 孔形（視野と半影）などが挙げられるが、断層効果は一般に焦点距離の短かい、孔径の小さいコリメータほど有効である。しかし、臨床的にはあまり短かい焦点距離は利用できないし、孔径は検出器系の位置分解能に見合つた大きさで選ぶ必要がある。多焦点型コリメータの場合は、さらに、各焦点間の感度整合という問題がある。孔形が一定なら幾何学的計算から、コリメータの効率は孔数を増減するだけで解決する。また、焦点距離に応じ組織中のガンマ線の減弱を考慮して孔数の増減をはかれば、より合理的と考える。今回使用した3焦点コリメータは、この点を考慮していない。計算では17~36%の感度差となつていて。検出器とコリメータの組合せの点では、実験装置が既存のGe(Li)検出器のため、コリメータ面と検出器入射面との間に約1cmのクリアランスができる。これは断層効果を低下させる原因でもあるので、今後改造を要する点である。また、本実験では^{99m}Tcだけを使用したが、装置

の性能が改善できれば、ガンマ線エネルギーの異なる⁶⁷Gaなど陽性描画RIの使用も可能と考える。Ge(Li)検出器固有の問題点としては、液体窒素による常時冷却の繁雑さ、経年使用に対する感度低下が挙げられるが、購入後3年になる現在まで性能の劣化は認められていない。

以上幾つかの問題点を指摘したが、これらが断層スキャン像にどの程度寄与しているかは確認できない。しかし、断層像を悪くしていることは確かであり、できるものから改善をはかりたい。

6. まとめ

同軸型Ge(Li)検出器の特性を利用して、断層スキャニングを行う新しい方法を検討した。装置は現有のGe(Li)半導体スキャナに、同心円状多焦点型コリメータを組合せ、測定系に出力波形選別回路を使用して、スキャニングによる断層シンチグラムを得る方法である。現状では、断層間隔3cm以下の断層スキャン像は得にくく、実用化にはまだ測定回路系、コリメータなど改善すべき点が多い。今後は臨床応用できる装置にまで発展させたい。

（本論文の要旨は昭和52年5月第36回日本医学放射線学会総会において発表した）。

文献

- 1) Hoffer, P.B., Beck, R.N., Lembares, N., Charleston, D.B. and Gottschalk, A.: Use of Lithium-Drifted Germanium Detectors for Clinical Radionuclide Scanning. *J. Nucl. Med.* 12: 25—27, 1971.
- 2) Glass, H.I., Hudson, F.R., French, M.T., Lavender, J.P.: A 70-mm-Diameter Germanium Detector Medical Radioisotope Scanner. *Medical radioisotope Scintigraphy I*, pp. 79—106, 1973, IAEA, Vienna
- 3) Strauss, M.G. and Sherman, I.S.: Gamma-Ray Camera Using a Coaxial Germanium Detector. *J. Nucl. Med.* 13: 767—777, 1972.
- 4) Sherman, I.S. and Strauss, M.G.: Gamma-Ray Position-Sensitive Coaxial Ge(Li) Detector. *Nucl. Instr. Meth.* 117: 285—294, 1974.
- 5) 三枝健二, 内山 晓, 寛 弘毅: Ge(Li)半導体スキャナの試作. *Radioisotopes* 25: 226—231, 1976.
- 6) 寛 弘毅, 内山 晓, 三枝健二, 岡野真治: 同軸型Ge(Li)検出器を用いた三次元スキャナ. *核医学*, 11: 378, 1974.

- 7) Okano, S., Hamada, T., Kakehi, H., Uchiyama, G. and Saegusa, K.: Three-Dimensional Scanner Using a Coaxial Ge(Li) Detector. Recent Advances in Nucl. Med. Pro. First World Congress of Nucl. Med. pp. 1278—1280, 1974, Tokyo
-
- 8) Uchiyama, G., Saegusa, K., Arimizu, N. and Okano, S.: Three-Dimensional Scanning Using a Coaxial Ge(Li) Detector. Symposium on Medical Radionuclide Imaging I, pp. 141—147, 1977, IAEA, Vienna