

## 《技術報告》

## ガンマカメラによる血中放射能測定の見討

藤岡 弘良\* 村瀬 研也\*\*\* 井上 武\*\* 石丸 良広\*\*  
赤宗 明久\*\* 棚田 修二\*\*\* 池添 潤平\*\*\*

**要旨** 血中放射能等の放射性同位元素 (RI) の試料測定をガンマカメラを用いて可能かどうか検討した。放射能濃度が 10.3 MBq/ml の  $^{125}\text{I}$  水溶液を内径 22.5 mm の採血瓶に 1 ml 入れ、その放射能の減衰を経過時間により計算して種々の放射能濃度を作成した。作成した試料をガンマカメラで 5 分間 static 収集し、その画像のカウント値を求めて放射能濃度との直線性について検討した。コリメータをはずして 64×64 マトリックスで static 収集し、収集した画像上に 7×7 pixel (21 mm×21 mm) の矩形の関心領域を設定してカウント値を求めた場合、放射能濃度が 0.032 kBq/ml から 279 kBq/ml の範囲において、良好な直線性が認められた。本検討によりガンマカメラは、ウェル型シンチレーションカウンタの代用として血中放射能等の RI 試料測定に使用可能であると考えられた。

(核医学 35: 321-326, 1998)

## I. はじめに

放射性同位元素 (RI) を用いた脳血流測定等の核医学検査において、血中放射能測定等に主としてウェル型シンチレーションカウンタ (略してウェルカウンタ) が使用されている<sup>1)</sup>。しかし、一般病院ではウェルカウンタを所有していないため脳血流測定<sup>2-7)</sup>などの定量測定が困難な施設が多い。そこで、われわれはウェルカウンタの代用として SPECT と同じ測定系であるガンマカメラを用いて、血中放射能等の RI 試料測定が可能かどうか検討した。

## II. 方法

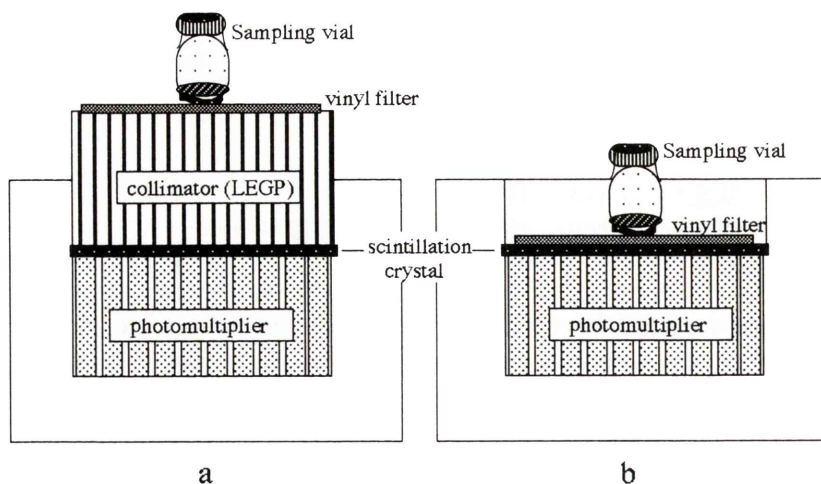
使用機器はウェルカウンタ TGC-1H1 (産業科学社製)、キュリーメータ IGC-30 (アロカ社製)、およびガンマカメラ STARCAM 4000 XR/T (GE 社製) (FWHM: 18.0 mm) である。ガンマカメラで測定する場合の試料測定用容器として採血瓶 SB-41 (SYSMEX 社製) (内径 22.5 mm, 外径 23.5 mm) を使用した。ガンマカメラでの測定は 64×64 マトリックス, 2.67 倍拡大で 5 分間 static 収集して行った。エネルギーピークは 159 keV, ウィンドウ幅は 20% に設定した。なお、今回の検討において、事前にキュリーメータおよびウェルカウンタによる放射能の測定値間の直線性が良好であることを確認した。

測定に用いた種々の放射能濃度の作成はピペット操作等の手技的な誤差を除くため、放射能濃度が 10.3 MBq/ml (キュリーメータによる測定値) の  $^{125}\text{I}$  水溶液を採血瓶に 1 ml 入れ、その放射能の減衰を経過時間により計算して (半減期を 13.2 時間とした) 種々の放射能濃度を作成した。

放射能濃度とガンマカメラによる測定値の間の

\* 松山市民病院放射線室  
\*\* 同 放射線科  
\*\*\* 愛媛大学医学部放射線科  
受付: 9 年 10 月 8 日  
最終稿受付: 10 年 3 月 30 日  
別刷請求先: 松山市大手町 2-6-5 (☎ 790-0067)  
松山市民病院放射線室

藤岡 弘良



**Fig. 1** Illustration of radioactivity measurement using a gamma camera. (a) is the case when using a gamma camera with collimator, while (b) is the case when using a gamma camera without collimator.

直線性について以下の項目を測定して検討した。

### 1. 採血瓶を用いた場合の直線性の検討

$^{123}\text{I}$  水溶液を 1 ml 入れた採血瓶のガンマカメラによる放射能測定は、コリメータ (低エネルギー汎用型, LEGP) を装着した場合 5 kBq/ml から 10.3 MBq/ml までの放射能濃度について、またコリメータ非装着の場合には 0.008 kBq/ml から 867 kBq/ml までの放射能濃度について行った。Fig. 1a に示すようにガンマカメラのコリメータを装着した場合、コリメータの上にもろ紙を敷き、採血瓶を SPECT 収集と同一視野内に置いた。また、コリメータ非装着の場合 (Fig. 1b)、コリメータ装着時と同様にガンマカメラの上にもろ紙を敷き、採血瓶を SPECT 収集と同一視野内のあらかじめ決めておいた光電子増倍管 (photomultiplier) の上に置いた。それぞれの放射能濃度について  $64 \times 64$  のマトリックスで 5 分間の測定 (static 収集) を行った。放射能濃度と収集した画像の全カウントとの間の直線性、および  $15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$  から  $42 \text{ mm} \times 42 \text{ mm}$  の矩形の関心領域 (ROI) 内のカウントとの間の直線性を検討した。また、収集画像の全カウントを用いる場合のバックグラウンドの測定は、試料なしの状態と先程と同じ条件で画像を取

集して行った。ROI を用いる場合のバックグラウンドの測定は、収集画像上で試料以外のところに ROI を設定して行った。

### 2. ガンマカメラを用いた CCF (cross calibration factor) の測定<sup>9)</sup>

脳ファントム CCP-II (京都科学社製) を用いて CCF 測定を行った。測定に使用したファントムは成人の頭部を想定して頭蓋骨領域、脳室領域、脳とほぼ等しい容積 ( $1163.2 \text{ cm}^3$ ) を有する灰白質と白質領域の三つの領域から構成され、直径が 20 cm、高さが 12 cm の円筒形で 0.4 cm 厚の亚克力で作られている。このファントムを用いて SPECT 収集して得た SPECT の値とファントム内の  $^{123}\text{I}$  水溶液 1 ml の放射能をウェルカウンタおよびガンマカメラを用いて測定した値との間の直線性を検討した。SPECT の収集は  $64 \times 64$  マトリックス、360 度で 1 方向 12 秒、32 step の連続反復回転収集で行った。画像再構成は Butterworth filter (order=8, cut-off frequency=0.36 cycles/cm) および Ramp filter を用いたフィルタ逆投影法を行い、吸収補正は Sorenson の方法の ( $\mu=0.067 \text{ cm}^{-1}$ ) を用いた。なお、ガンマカメラを用いた測定では  $64 \times 64$  のマトリックスで 5 分間の static 収集して

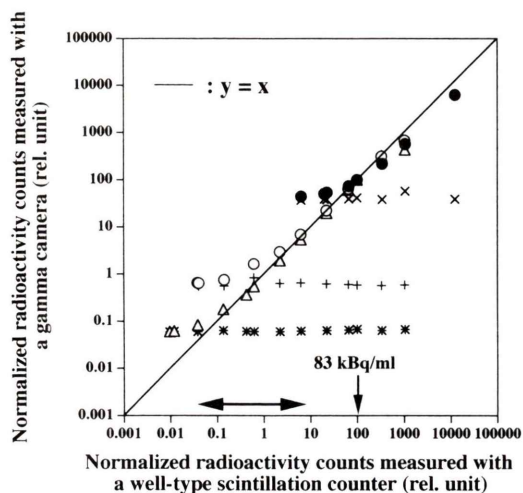


Fig. 2 Relationship between the radioactivities measured with a well-type scintillation counter and those measured with a gamma camera. In this case, the data on the abscissa are given by normalizing a concentration of 83 kBq/ml as 100, and the data on the ordinate are given by normalizing the radioactivity counts at this concentration as 100. ● is the case when using a gamma camera with collimator and the region of interest (ROI) with 21 mm×21 mm. ○ is the case when using a gamma camera without collimator and the whole field of view as ROI. △ is the case when using a gamma camera without collimator and the ROI with 21 mm×21 mm. ×, + and \* represent the background counts for ●, ○ and △, respectively. ↔ represents the range of the radioactivity counts obtained by 5-min continuous arterial blood sampling in our hospital.

得た画像上に 21 mm×21 mm の矩形の ROI を設定し、ROI 内の全カウントを求めた。また、SPECT 装置の定期点検後においても同様の測定を行い、比較検討した。

### III. 結 果

#### 1. 採血瓶を用いた場合の直線性の検討

0.008 kBq/ml から 10.3 MBq/ml の広範囲における直線性を検討する方法として、83 kBq/ml の放射能濃度を 100 とし、また、そのときのガンマカメラの測定値を 100 とし、それぞれにおける比率をグラフで表し、 $y=x$  の直線から大きく乖離

Table 1 Correlation coefficients between the radioactivities measured with a well counter and those measured with a gamma camera in the range between 0.028 kBq/ml and 9 kBq/ml for various regions of interest (ROIs)

ROI area (mm×mm)	r
15×15	0.999
18×18	0.999
21×21	0.999
24×24	0.999
27×27	0.998
30×30	0.998
33×33	0.998
39×39	0.997
42×42	0.997

r: Correlation coefficient between the radioactivities measured with a well counter and those measured with a gamma camera in the range between 0.028 kBq/ml and 9 kBq/ml

しない放射能濃度の範囲を直線性が良好な範囲とした。コリメータを装着したガンマカメラを用いて、採血瓶に入れた  $^{125}\text{I}$  水溶液の放射能を測定した場合、放射能濃度が 55 kBq/ml から 10.3 MBq/ml まで直線性は良好であった (Fig. 2 の ●)。ガンマカメラによる測定値は放射能濃度が 19 kBq/ml 以下では  $y=x$  の直線より乖離し、バックグラウンドの領域となった (Fig. 2 の ×)。また、コリメータを装着せず、収集画像の全カウントを用いた場合には放射能濃度が 1.87 kBq/ml から 867 kBq/ml まで直線性は良好であった (Fig. 2 の ○) が、0.511 kBq/ml 以下では  $y=x$  の直線から乖離し、0.119 kBq/ml 以下でバックグラウンドの領域となった (Fig. 2 の +)。放射能濃度が 867 kBq/ml を超えるとガンマカメラによる測定値はオーバフローし、測定不能となった (Fig. 2 の ○)。

次に、収集画像上に ROI を設定してカウントを求める場合の ROI の大きさについて検討した。Table 1 に示すように ROI の大きさを採血瓶の内径 22.5 mm より大きくとった場合には放射能濃度とガンマカメラによる測定値の間の相関が悪くなる傾向があった。一方、ROI の大きさを小さくすると統計変動が大きくなった。そこで、本検討では ROI の大きさとして 21 mm×21 mm を採用し

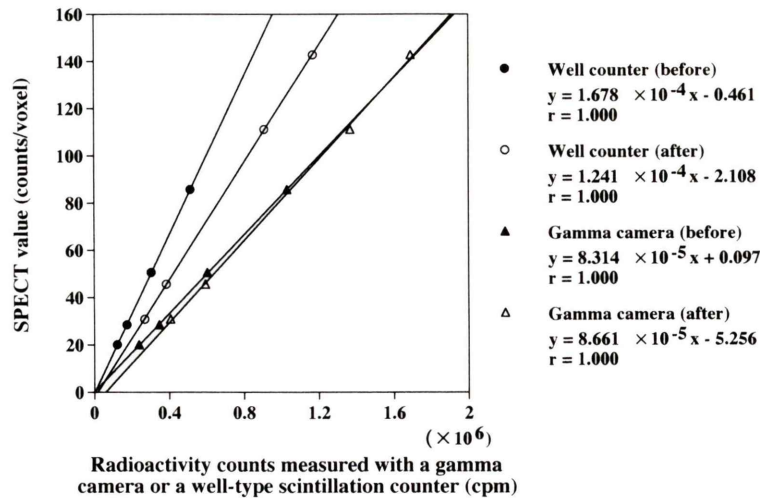


Fig. 3 Relationship between the radioactivity counts measured with a gamma camera or a well-type scintillation counter and SPECT values. The slopes of the regression equations correspond to cross calibration factors (CCFs). ● represents the relationship between the radioactivity counts measured with a well-type scintillation counter and SPECT values, obtained before calibration of a SPECT apparatus, and ○ represents that obtained after calibration. ▲ represents the relationship between the radioactivity counts measured with a gamma camera and SPECT values, obtained before calibration of a SPECT apparatus, and △ represents that obtained after calibration.

た. 21 mm×21 mm の ROI を用いた場合の直線性の検討結果を Fig. 2 の △ で示すが, 放射能濃度が 0.032 kBq/ml から 279 kBq/ml まで直線性は良好であったが, 0.01 kBq/ml 以下では  $y=x$  の直線から乖離し, バックグラウンドの領域 (Fig. 2 の\*) となった. また, 放射能濃度が 279 kBq/ml を超えるとガンマカメラによる測定値は  $y=x$  の直線より低い値を示した.

## 2. ガンマカメラを用いた CCF の測定

CCF 測定用ファントム CCP-II を用いて測定した SPECT 値とガンマカメラによるファントム内の放射能の測定値との間に良好な相関 ( $r=1.0$ ) が得られた (Fig. 3 の ▲ および △). 一方, SPECT 値とウェルカウンタによる測定値との間にも良好な相関 ( $r=1.0$ ) が得られた (Fig. 3 の ● および ○). Fig. 3 の ● および ▲ は点検前, ○ および △ は点検後のデータを示す. なお, Fig. 3 に示す直線の傾きが CCF に対応する. まあ, SPECT 装置の定期点検前後の CCF について検討した結果, ウェル

カウンタを用いて測定した CCF は点検前後で  $1.678 \times 10^{-4}$  から  $1.241 \times 10^{-4}$  と大きく変化したが, ガンマカメラを用いて測定した場合には  $8.314 \times 10^{-5}$  から  $8.661 \times 10^{-5}$  と大きくは変化しなかった (Fig. 3).

## IV. 考 察

核医学検査において, 脳血流測定などの定量測定を行う場合血中放射能測定に主としてウェルカウンタが使用されている。したがって, ウェルカウンタを所有していない施設では脳血流測定などの定量測定が困難である. 今回, われわれは, ウェルカウンタの代用としてガンマカメラを用いて血中放射能の測定を試みた. もし, ガンマカメラによる測定が有効であれば, ウェルカウンタを所有していない施設においても脳血流測定等の定量測定が可能となり臨床上有用と考えられる. 当院における  $^{123}\text{I}$ -IMP を用いた脳血流測定においては 90 MBq から 263 MBq の  $^{123}\text{I}$ -IMP を投与してい

る。5分間の持続動脈採血による血中放射能濃度はウェルカウンタで測定した場合約 700 cpm (約 0.05 kBq/ml) から約 120,000 cpm (約 9 kBq/ml) の範囲であった。ここで、括弧内の数字はウェルカウンタとキュリーメータの校正により求めた放射能濃度を示す。したがって、この放射能濃度の範囲においてウェルカウンタとガンマカメラによる測定値間の直線性<sup>8)</sup>が良好であれば、脳血流測定における血中放射能の測定にガンマカメラがウェルカウンタの代用として使用可能と考えられる。

Fig. 2 に示すように内径 22.5 mm の採血瓶に入れた <sup>123</sup>I の放射能をコリメータを装着したガンマカメラで測定した場合、放射能濃度が 5 kBq/ml 以下では測定が困難であった。コリメータは、他方向からの  $\gamma$ 線や散乱線を除去するため測定カウントが減少し、放射能の測定が困難になったものと考えられる。一方、コリメータを装着せず、収集画像の全カウントを用いた場合には、放射能濃度が約 0.511 kBq/ml 以下で直線性が悪くなっている (Fig. 2 の○)。これはコリメータを用いないため、散乱線等によりバックグラウンドが上昇したためと考えられる。収集画像上に設定する ROI の大きさは Table 1 に示すように測定容器の内径と同程度の大きさが良いと考えられる。収集画像上に 21 mm×21 mm の ROI を設定して測定した場合、放射能濃度が 0.032 kBq/ml から 279 kBq/ml の範囲において直線性が良好となった (Fig. 2 の△)。これは ROI 内のバックグラウンドの値が相対的に小さくなるため ROI 内の全カウントに対するバックグラウンドの影響が小さくなったためと考えられる。また、バックグラウンドの影響を少なくするためには測定カウントを上げる必要がある。そのためにはたとえば、測定時間を長くすることが考えられるが、現実的には 5 分程度が適当であろうと考えられる。ウェルカウンタと異なってガンマカメラでは測定カウントが投影される試料面積に依存するため 1 ml の液量の試料を測定する場合、測定容器の内径は <sup>123</sup>I 水溶液がその底部を充分満たす大きさが必要であると考えられる。

脳血流測定において血中放射能を測定する場

合、当院の経験から少なくとも 0.05 kBq/ml から 9 kBq/ml までの放射能測定が可能な装置でなければならぬことが予想される。ガンマカメラでコリメータを装着して測定した場合には 19 kBq/ml 以下で放射能濃度とガンマカメラによる測定値の間の直線性が悪くなり、また 5 kBq/ml 以下では測定不可能であるため血中放射能の測定には使用できない。しかし、前述したようにコリメータをはずしてデータを収集し、さらに 21 mm×21 mm の ROI を使用した場合には 0.032 kBq/ml から 279 kBq/ml の範囲の放射能濃度で測定可能となり、ガンマカメラが血中放射能測定に使用可能となる。

CCF 測定用ファントムを用いた検討では、SPECT 装置の点検前後の CCF はウェルカウンタを用いた場合に比べ変動が少ないことがわかる (Fig. 3)。脳血流測定において入力関数である血中放射能を従来のウェルカウンタを用いて測定する場合には SPECT 装置とウェルカウンタの二つの異なった測定装置間の CCF を求める必要がある<sup>8)</sup>。したがって、SPECT 装置の点検後などで装置の感度が増加した場合、その都度 CCF を求める必要がある。一方、試料測定にガンマカメラを用いた場合には、測定装置が同じであるため SPECT 装置の点検ごとに CCF を測定する必要がなくなる。

ガンマカメラでコリメータを装着せず、試料測定用容器の内径と同程度の大きさの ROI を用いて測定した値とウェルカウンタによる測定値との間の直線性が良好なこと (Fig. 2) より、ガンマカメラを用いて測定した血中放射能や CCF から算出した脳血流量は従来のウェルカウンタを用いた場合の脳血流量と良好に相関するものと考えられる。また、本論文で検討したガンマカメラによる試料測定法は、種々の脳血流測定法<sup>2-7)</sup>に十分対応でき、ウェルカウンタを所有していない施設においても実施可能であると考えられる。

## V. まとめ

- 1) ガンマカメラによる血中放射能等の試料測

定はコリメータを装着せず、試料測定用容器の内径と同程度の大きさの ROI を用いることにより、ウェルカウンタの代用として実施可能であり、脳血流測定に十分対応できるものと考えられる。

2) 脳血流測定において、ガンマカメラによる CCF の測定は測定系が同じであるため 1 回測定しておけばよく、SPECT 装置の点検後の CCF 測定を省略することができる。

### 文 献

- 1) 井上登美夫: 試料計測, 久田欣一, 古館正徳, 佐々木康人, 小西淳二編, 最新臨床核医学, 金原出版, 東京, 1991, pp. 28-30
- 2) Kuhl DE, Barrio JR, Huang SC, Selin C, Ackermann RF, Lear JL, et al: Quantifying local cerebral blood flow by N-isopropyl-p-[<sup>123</sup>I]iodoamphetamine (IMP) tomography. *J Nucl Med* **23**: 196-203, 1982
- 3) Takeshita G, Maeda H, Nakane K, Toyama H, Sakakibara E, Komai S, et al: Quantitative measurement of regional cerebral blood flow using N-isopropyl-(Iodine-123)p-iodoamphetamine and single-photon emission computed tomography. *J Nucl Med* **33**: 1741-1749, 1992
- 4) 伊藤 浩, 飯田秀博, 村上松太郎, Bloomfield PM, 三浦修一, 奥寺利男, 他: N-isopropyl-p-[<sup>123</sup>I]iodoamphetamine (<sup>123</sup>I-IMP) および SPECT による簡便な局所脳血流量測定法の開発. *核医学* **29**: 1193-1200, 1992
- 5) 松田博史, 関 宏恭, 石田博子, 隅屋 寿, 辻 志郎, 久田欣一, 他: N-isopropyl-p-[<sup>123</sup>I]iodoamphetamine とガンマカメラ回転型 ECT による局所脳血流測定. *核医学* **22**: 9-18, 1985
- 6) Matsuda H, Higashi S, Tsuji S, Seki H, Sumiya H, Fujii H, et al: A new noninvasive quantitative assessment of cerebral blood flow using N-isopropyl-(iodine-123)p-iodoamphetamine. *Am J Physiol Imaging* **2**: 49-55, 1987
- 7) 三村浩朗, 小野志磨人, 福永仁夫, 森田浩一, 永井清久, 大塚信昭, 他: N-isopropyl-p-[<sup>123</sup>I]iodoamphetamine を用いた Single Photon Emission Computed Tomography における静脈採取法による局所脳血流量の検討: 動脈採取法との比較. *核医学* **26**: 1327-1334, 1989
- 8) 向井孝夫: SPECT の定量性向上に関する研究の現状. *映像情報* **18**: 1034-1040, 1986
- 9) 三村弘朗: 脳血流測定における Cross calibration について. *核医学技術* **14**: 248-249, 1994

### Summary

#### Investigation on Feasibility of Using a Gamma Camera for the Measurement of Blood Radioactivity

Hiroyoshi FUJIOKA\*, Kenya MURASE\*\*, Takeshi INOUE\*, Yoshihiro ISHIMARU\*, Akihisa AKAMUNE\*, Shuji TANADA\*\* and Junpei IKEZOE\*\*

\*Department of Radiology, Matsuyama Shimin Hospital

\*\*Department of Radiology, Ehime University Hospital

The present study was undertaken to determine whether gamma cameras can be used to measure radioactivity in samples, e.g. in blood. Aqueous <sup>123</sup>I solution with a concentration of 10.3 MBq/ml was infused at a volume of one ml into a blood-sampling vial having an internal diameter of 22.5 mm. Various concentrations of radioactivity were generated by leaving the vial and taking radioactive decay into account. Static images were acquired for five minutes with a gamma camera using a 64×64 matrix to measure radioactivity counts, and the regions of interest with 7×7 pixels (21 mm×21 mm) were defined on

the image. The results showed that there was a good linear correlation between the radioactivity counts measured with the gamma camera without collimator and those measured with the well-type scintillation counter in the range between 0.032 kBq/ml and 279 kBq/ml. It therefore appears that gamma cameras can be substituted for well-type scintillation counters in the measurement of radioactivities in samples.

**Key words:** Gamma camera, Well-type scintillation counter, Blood radioactivity, Quantitative measurement.