

デジタルキュリーメータの性能の検討

川崎医科大学 核医学

友光 達志, 柳元 真一, 村中 明
曾根 照喜, 大塚 信昭, 福永 仁夫
森田 陸司

川崎医療短期大学 放射線技術科

日地 啓夫, 板谷 道信, 西村 明久

川崎医科大学 放射線科

西 下 創 一

(昭和59年10月4日受付)

Quality control of digital curie meter

Tatsushi Tomomitsu, Shinichi Yanagimoto
Akira Muranaka, Teruki Sone
Nobuaki Otsuka, Masao Fukunaga
and Rikushi Morita

Division of Nuclear Medicine, Department of
Radiology Kawasaki Medical School

Hiroo Hiji, Michinobu Itaya
and Akihisa Nishimura

Radiological Technology Course, Kawasaki
College of Allied Health Professions

Souichi Nishishita

Department of Radiology, Kawasaki Medical School

(Accepted on Oct. 4, 1984)

キュリーメータは、核医学分野において放射エネルギーを測定するために広く用いられている。今回 Aloka IGC-2 型デジタルキュリーメータの特性を、日本アイソトープ協会医学薬学部核医学イメージ規格化専門委員会の報告に基づき検討した。放射能指示値は、標準線源 (^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs) を用い、標準線源における照射線量率定数に対するレスポンスを示す K 値と、指示値における照射線量率定数に対するレスポンスを示す J 値を求めた。直線性およびレンジ間誤差は線源に $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を、再現性は ^{137}Cs を用いて、経時的に測定することにより行った。また、溶液量および容器依存性は種々の溶液量、容器を組み合わせて行った。その結果、直線性、レンジ間誤差および再現性については良い精度が得られ、溶液量および容器依存性は最大約 10% の誤差が認められたが、実験により補正係数を求めることにより解決された。しかしながら、K 値、J 値からキュリーメータの性能として最も重要な指示値の値づけに問題があることが判明し、全ての核種について検出感度が低く、 ^{57}Co , ^{67}Ga , ^{197}Hg については校正の必要があった。

Characteristics of a commercially available curie meter (Aloka IGC-2) were evaluated according to the method proposed by the Subcommittee for Standardization of Radionuclide Imaging of the Medical and Pharmaceutical Committee of the Japan Radioisotope Association. K-values (responses to standard sources) and J-values (responses to the values indicated on the curie meter) were obtained by using standard sources of ^{60}Co , ^{133}Ba and ^{137}Cs . Linearity of the response and variability of the measured values caused by different range settings were estimated with $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$. Reproducibility was studied with ^{137}Cs . Variation of the measured values caused by different sample volumes and different shape and materials of the sample container were also evaluated. Linearity and reproducibility were found to be excellent, and the variability due to range selection was minimum. About 10% variation was observed depending on the sample volume and different sample containers. This variation, however, could be corrected by factors obtained in the experiment. The most important observation was that the values indicated on the curie meter, derived from the K and J values, were found to be much lower than the values should have been for many nuclides. The deviation from the indicated values was particularly significant for ^{57}Co , ^{67}Ga and ^{197}Hg .

Key Word ① Curie meter ② Quality control ③ Plastic scintillator

1) 緒 言

核医学の分野において、放射性医薬品の検定、ミルキングに際しての抽出量の測定、患者への放射性同位元素投与量の決定など、放射性同位元素放射能量の決定のために不可欠な装置として、キュリーメータが広く用いられている。しかしながら、その性能を使用者の側で検査することは必ずしも容易でなく、実際には、メーカーの値付けをそのまま信頼して装置を使用している例が多い。また、購入時に正しい値付けがなされていても、経年変化等によって感度変化を生ずることもある。こうした現状を打開するために、使用者の側でこの種の装置の性能を簡便に検査する方法の確立に努力が払われ、2, 3の成案が報告されている。¹⁾²⁾

今回我々は、日本アイソトープ協会 医学・薬学会核医学イメージング規格化専門委員会の報告¹⁾に基づき、Aloka IGC-2型デジタルキュリーメータの性能について検討を加えたので報告する。

2) デジタルキュリーメータの構造³⁾⁴⁾⁵⁾

Aloka IGC-2型デジタルキュリーメータ(以下 Aloka IGC-2型と略)は、検出器に井戸型プラスチックシンチレータを使用している。プラスチックシンチレータは、NaI(Tl)シンチレータに比して発光効率の点では劣るが、 γ 線のエネルギー特性が良く、電離箱に近い特性をもっている。また、回路構成上、通常シンチレーション計数装置と異なる点は、広い直線性を得るため、信号をパルス計数せずに光電管の平均電流を測定する方式を用いていることである。これにより高レベル測定時の数え落としや窒息状態を防止し、通常的光電子増倍管で6桁ぐらいの範囲の直線性が得られる。さらに、光電子増倍管の出力電流は電離箱での電離電流より非常に多く流れるので、この電流値をデジタル化するための電流-パルス変換器を光電子増倍管の出力で直接動作させることができ、これによりデジタル表示することが容易である。Fig. 1に Aloka IGC-2型の回路構成図を示す。

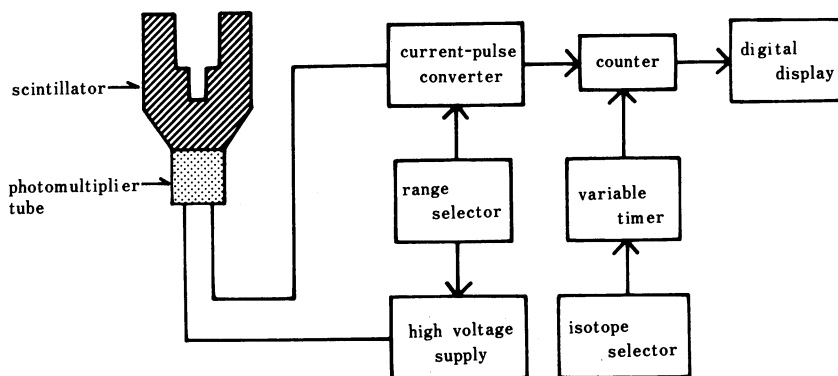


Fig. 1 Schematic diagram of Aloka IGC-2 digital curiemeter

3) 方法および結果

日本アイソトープ協会，医学・薬学部会核医学イメージ規格化専門委員会（以下，委員会報告と略）によるキュリーメータの試験方法は，放射能指示値，直線性およびレンジ間誤差，溶液量依存性および容器依存性，線源位置依存性，再現性，長期間安定性，室温依存性，電源電圧依存性について記されている。

今回，Aloka IGC-2 型の性能について，放射能指示値，直線性およびレンジ間誤差，再現性，溶液量依存性および容器依存性の試験を，以下に示す手順で行った。

3・1) 放射能指示値

キュリーメータが正しく値づけられているか否かは，使用にあたっての最大関心事である。この事柄を確認するため，キュリーメータの指示値が照射線量率定数にほぼ比例する点を利用して，2，3の限られた標準線源だけを用いて，キュリーメータの値づけの良否の判定を行った。

3・1・1) 電流モードによる測定

電流モードによる測定用線源として，バイアル中でプラスチックによって固化されたメーカー指定線源 ^{137}Cs (約90 μCi 1個) と，アイソトープ協会製の一般標準線源 ^{60}Co (約10 μCi 2個)， ^{133}Ba (約10 μCi 1個) を使用した。各々の線源の放射能は検定日時における数量で，使用に際して減衰の補正を行った。

電流モードによる測定は以下の手順で行った。

(1) キュリーメータの核種選択スイッチを電流モードにする。ただし Aloka IGC-2 型においては extra range がこれに該当する。

(2) extra range の感度切換えスイッチを Low にし，測定時間を25秒にセットする。

(3) バックグラウンド電流 IBG を測定する。このとき線源の影響を除去するため，線源を遮蔽体内に収納する。測定は3回繰り返し平均をとる。

(4) 線源をキュリーメータ内に入れ，電流 I を読み取る。この測定も3回繰り返し平均をとる。

(5) I と IBG よりつぎの値を計算する。

$$k = \frac{I - \text{IBG}}{A \cdot \Gamma} \dots\dots\dots(1)$$

ここで，A は使用線源の放射能量 (μCi)， Γ は照射線量率定数 ($\text{R} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Ci}^{-1}$) である。

上記の手順で求めた K の値を Fig. 2 に示すように，平均 γ 線エネルギー¹⁾を横軸にとり，白丸にてプロットした。この際，縦軸に電流値を取るべきであるが，Aloka IGC-2 型における extra range の表示される数値はディメンションが明確でないため，相対値とした。

3・1・2) 放射能測定モードにおける測定

放射能測定モードにおける測定は，線源に ^{137}Cs 90 μCi を使用し，キュリーメータ核種選

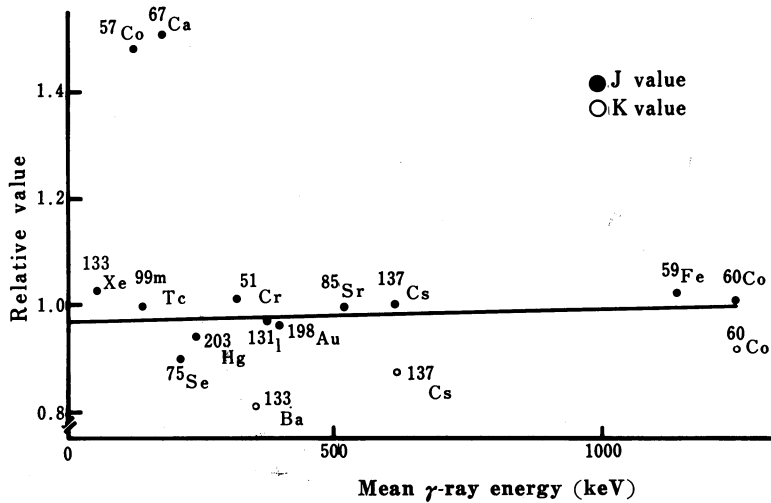


Fig. 2 Energy dependency of K and J value

択スイッチを調べようとする核種に合わせ、電流モードの測定(3)(4)と同様の手順で、各核種モードにおける ^{137}Cs 線源の測定値(キュリー数)QとQBGを求め、次式にて計算した。

$$J = \frac{I^{137}\text{Cs} - \text{IBG}}{(Q - \text{QBG})\Gamma} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 $I^{137}\text{Cs}$, IBG は各々 ^{137}Cs 線源の電流モードにおける測定値とバックグラウンドで、 Γ は調べようとする核種の照射線量率定数である。上記の測定を種々の核種について核種選択スイッチを切替えて行い、各々の核種についてJ値を求め、K値と同様に γ 線の平均エネルギーの関数として黒丸にてプロットした。Fig. 中の実線はJ値(^{60}Co , ^{67}Ga , ^{197}Hg を除く)についての回帰直線である。なお、 ^{197}Hg のJ値は約3.0という値を取るためFig. 中に記入していない。

放射能指示の実験の結果、J値は ^{57}Co , ^{67}Ga , ^{197}Hg を除き、ほぼ直線上に乗る結果が得られた。K値については、J値の回帰直線に対して10~20%低い値となった。また、 ^{57}Co , ^{67}Ga , ^{197}Hg のJ値についてはFig. 2から判る通り突出した値となった。

3・2) 直線性およびレンジ間誤差

Aloka IGC-2型における放射能測定範囲は、 $1\mu\text{Ci} \sim 999\text{mCi}$ であるが、すべての核種につい

て全範囲の直線性を検査することは困難である。我々は、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ について日常的に用いる範囲で、レンジ間誤差の検査を含め、直線性について時間減衰法を用いて検討した。

まず、 $^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$ ジェネレータからmilkingにより120 mCi (4.44 GBq)の $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ を準備し、その放射エネルギーを2時間おきに24時間測定し、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の理論上の減衰と比較した。

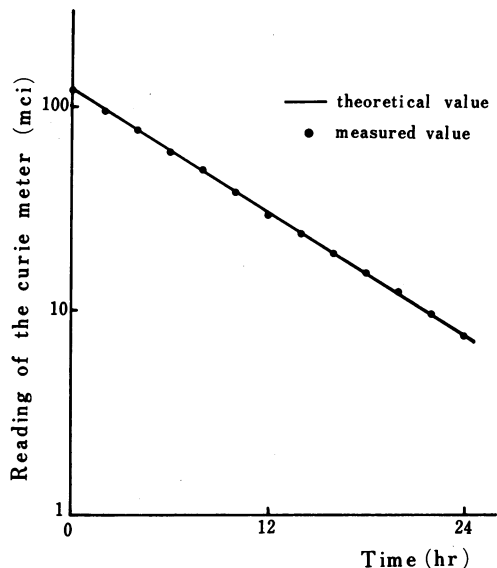


Fig. 3 The exponential decay curve measured by plastic scintillator type curie meter

レンジ間誤差は、次位のレンジで測定可能となった場合、次位のレンジに切換え、上位のレンジの測定と合わせて行い、レンジ間の整合性を確認した。

これらの結果、直線性については ^{99m}Tc の理論上の減衰との誤差は約 $\pm 3\%$ 以下となった。Fig. 3には理論値を実線で、測定値を黒丸で示した。レンジ間誤差は、いずれの場合も次位のレンジが低値を示し、その差は1.5%以下

であった。また、装置の再現性の試験のため、 ^{137}Cs 線源を用い、その放射エネルギーを2時間間隔で計10回測定し、測定値の変動を調べた。変動率は次式で求めた。

$$\text{変動率}(\%) = \frac{(\text{最大値} - \text{最小値})}{\text{平均値}} \times 100$$

その結果、Aloka IGC-2型の変動率は3.1%であった。

3・3) 溶液量依存性および容器依存性

溶液量が異なると光子の吸収や幾何学的効率が若干異なるため測定値が変化する。また、同一溶液量であっても、容器の形状や肉厚等によって差がでるので、日常用いる容器について、その指示値の変化を溶液量の関数として求めておくことが必要である。

実験には容器として、2.5 ml, 10 ml シリンジと Da 社 5 ml, 15 ml バイアル, M社 5 ml, 12 ml バイアル, Di 社 15 ml バイアルを使用し、線源に ^{99}Tc を使用した。被試験容器に1~5 mlの $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を安全ピペットにより注入し、Aloka IGC-2型で測定を行った。つぎに、放射能を含まない生理食塩水を安全ピペットで適宜追加し、溶液量を変化して測定を繰り返した。得られた測定値で基準条件の測定値を除いて、溶液量・容器に対する補正係数を求めた。今回基準条件は、Da社15 ml バイアルに5 mlの溶液量の場合における測定値とした。

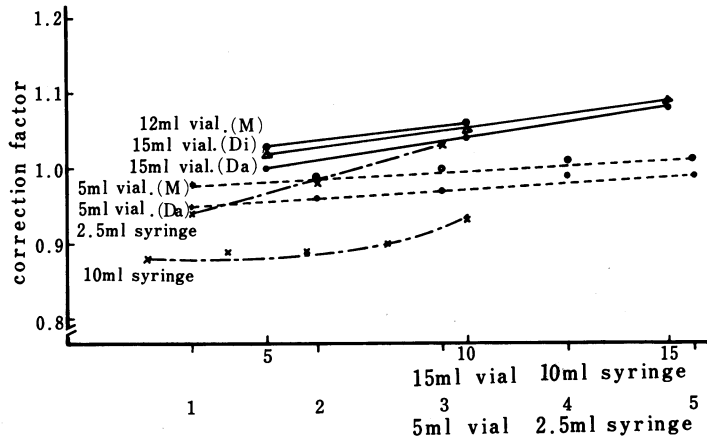


Fig. 4 Radioactivity correction factor of different container and volume on ^{99m}Tc

結果として、溶液量依存性は容量の増加とともに測定値が低下する傾向を示し、最大で約7%であった。また容器依存性は、バイアルでは多少のバラツキはあるものの $\pm 5\%$ 以下で、シリンジについては10 ml シリンジ10%を超える高値を示した (Fig. 4)。

4) 考 察

キュリーメータの放射能指示値の値づけの良否は、K値とJ値の整合性で判断できる。今回の結果、標準線源における照射線量率定数に対するレスポンスを示すK値が、J値に対して低い値を示したことは、経年変化等による検出感度の低下が示唆される。この感度低下は、 ^{137}Cs のJ値の計算に用いたQ-QBGの値が、時間減衰を考慮した放射エネルギーより約15%低い値を示していることから裏付けられる。一方、指示値における照射線量率定数に対するレスポンスを示すJ値は、ある特定核種のレンジのみ経年変化等が生じたとは考えずらく、 ^{57}Co , ^{67}Ga , ^{197}Hg の3核種については、メーカーの値付けに問題があるのではないかと思える。もしこれがメーカーのミスセッティングでないとすれば、(2)式から理解できるように Γ 即ち今回計算に用いたこれら3核種の照射線量率定数に起因することになる。計算に使用した照射線量率定数はcut off energy 30 KeVで計算され

た値¹⁾で、一般に示されている値⁶⁾よりも、低エネルギー γ 線を放出する核種においては低値となっている。しかし、この点は同様に低エネルギー γ 線を放出する ^{133}Xe , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の J 値がほぼ適正な値を示したことから、否定できるものとする。

直線性、レンジ間誤差および再現性については、各々の誤差が $\pm 3\%$, 1.5% , 3.1% という結果が得られ、精度的にはほぼ問題がないといえよう。

また、容器依存性であるが、バイアルに関して $\pm 5\%$ 以下、シリンジに関して約 10% の誤差となった。これは基準容器と被試験容器の壁材等が異なるため、光子の吸収の割合に差が生ずるためと考える。溶液量依存性については、溶液量が増すほど測定値が低下する傾向を示した。この原因も容器依存性と同じく、光子の溶液内での吸収の差によるものとする。容器お

よび容量依存性は、Fig. 4 に示す如く実験を行い補正係数を求めておけば、臨床使用上問題がないと言える。

5) ま と め

委員会報告に基づき、Aloka IGC-2 型デジタルキュリーメータの性能について検討した結果、直線性、レンジ間誤差および再現性についてはほぼ満足のいく結果が得られた。溶液量依存性および容器依存性については、溶液量・容器に対する補正係数を求めておけば、臨床問題にはなかつた。しかしながら、キュリーメータの性能として最も重要な指示値の値づけに問題があり、検出感度が全ての核種について低く、平均約 15% 低値であった。また、 ^{57}Co , ^{67}Ga , ^{197}Hg はメーカーの値づけに起因すると考えられる突出した異常値となり、校正の必要性が認められた。

文 献

- 1) 日本アイソトープ協会医学・薬学部会核医学イメージング規格化専門委員会：キュリーメータの試験方法, RADIOISOTOPE, 32, 197~205, 1983
- 2) 放射性同位元素検査技術委員会：RI 管理用装置の性能検査法, 日放技学誌, 36, 54~61, 1980
- 3) 日本アイソトープ協会編：医療用アイソトープの取り扱い管理, 22~27, 1975
- 4) 木村逸郎, 阪井英次訳：KNOLL 放射線計測ハンドブック, 日刊工業新聞社, 194~199, 1982
- 5) 日本無線医理学研究所編：Aloka IGC-2 型デジタルキュリーメータ取り扱い書
- 6) 日本アイソトープ協会編：アイソトープ手帳, 21~55, 1980