

^{125}I 絶対測定法の核医学検査への応用

川崎医療短期大学 放射線技術科

川崎医科大学 核医学教室*

村 中 明 *友 光 達 志 *柳 元 真 一

*曾 根 照 喜 *大 塚 信 昭 *福 永 仁 夫

*森 田 陸 司 西 下 創 一

(昭和59年8月25日受理)

Application of Absolute Determination of ^{125}I to Sample Counting in Nuclear Medicine

Akira MURANAKA, Tatsushi TOMOMITSU*, Shinichi
YANAGIMOTO*, Teruki SONE*, Nobuaki OTSUKA*, Masao
FUKUNAGA*, Rikushi MORITA* and Soichi NISHISHITA

Department of Radiological Technology, Kawasaki College of Allied Health Professions

*Div. of Nuclear Medicine, Dept. of Radiology, Kawasaki Medical School

Kurashiki 701-01, Japan

(Received on Aug. 25, 1984)

Key words: ^{125}I の絶対測定法, 試料計測, NaI シンチレーションカウンタ

概 要

ウェル型 NaI (Tl) およびスキャナーの NaI (Tl) シンチレーション検出器を用いて, 同時計数を利用した ^{125}I の絶対測定法の精度とその核医学検査への応用の可能性を基礎的に検討した。

ウェル型 NaI 検出器を用いた絶対測定法による ^{125}I の放射能測定値は, 試料容器の違いや容量の変化 (0.1~5 ml) に対して $\pm 3\%$ 以内の変動しか示さず, 従来の比較測定より測定条件の変化の影響ははるかに少なかった。スキャナーの NaI 検出器による大容量の ^{125}I 試料の測定においては, 試料の容量が増加するにつれて ^{125}I から放出される γ , X線の吸収も大になり, 絶対測定法による測定値も減少した。直径 130 mm のプラスチック製のタッパーを試料容器として用いたとき, 点線源を基準として $\pm 5\%$ 以内の精度で測定できる容量は 150 ml (水深 13 mm) までであった。

1. はじめに

^{125}I はラジオイムノアッセイを中心とする *in vitro* 検査の約99%に使用されており¹⁾、また、 ^{125}I -polyvinylpyrrolidone (PVP) としてタンパク漏出性胃腸症の診断に利用されるなど核医学検査に重要な役割を果たしている。一方、通常放射能の測定には、試料と標準線源を同一条件で測定し、相対的な放射能を求める比較測定が行われている。この方法では試料の密度、容量、位置や試料容器など、photon の吸収や幾何学的条件によって測定値が変化するため、これらの測定条件を厳密に一定に保つことが要求される。しかし、 ^{125}I の測定においては、その特異的な崩壊によって生ずる photon の同時計数を利用することによって、上記の条件に影響されず簡単に放射能の絶対測定が可能となることが知られている。^{2,3)}

本研究においては、ウェル型 NaI (Tl) シンチレーションカウンタによる試験管内試料およびスキャナーの NaI (Tl) 検出器による大容量の試料における ^{125}I 絶対測定法の精度を検討し、その核医学検査への応用について考察した。

2. 絶対測定法の理論

^{125}I は 100%軌道電子捕獲 (EC) によって崩壊し、 ^{125}Te の励起状態 (エネルギー準位: 35 keV) に変わる。その後、内部転換 (80%) あるいは 35 keV の γ 線を放出して ^{125}Te の基底状態へ変化する。EC の結果 27.4 と 31 keV の KX 線 (これらの photon を X_1 と呼ぶ) が放出され、これら X_1 と 35 keV の γ 線あるいは内部転換の結果生ずる KX 線 (これらの photon を X_2 と呼ぶ) がある割合で同時計数される。

Fig. 1 にウェル型 NaI (Tl)

シンチレーションカウンタで測定した ^{125}I の γ 線スペクトルを示した。 A_I の光電ピークは KX 線または 35 keV の γ 線のうちのどちらか1個の photon の検出によるもの (X_1 or X_2) であり、 A_{II} の光電ピークは X_1 と X_2 の2つの photon が同時計数されたサムピークである。

A_I と A_{II} の計数率 (cps or cpm) は次の式で表される。

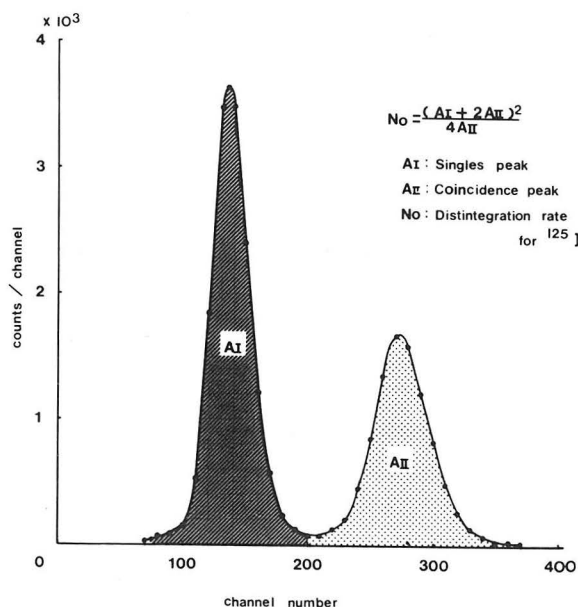


Fig. 1 ^{125}I gamma-ray spectrum obtained with well type NaI (Tl) scintillation counter

$$A_1 = \text{No} [P_1 \alpha_1 (1 - P_2 \alpha_2) + P_2 \alpha_2 (1 - P_1 \alpha_1)] \dots\dots\dots(1)$$

$$A_{\text{II}} = \text{No} P_1 P_2 \alpha_1 \alpha_2 \dots\dots\dots(2)$$

ただし、 P_1 : X_1 の放出率、 P_2 : X_2 の放出率、 α_1 : X_1 の計数効率、 α_2 : X_2 の計数効率、
No : 線源の崩壊率 (dps or dpm) である。

X_1 と X_2 の photon のエネルギーはほぼ同じであり、実質的に α_1 と α_2 は等しいとみなすことができる。 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ とすると(1)、(2)の式は次のように変換できる。

$$A_1 = \text{No} [(P_1 + P_2) \alpha - 2 P_1 P_2 \alpha^2] \dots\dots\dots(3)$$

$$A_{\text{II}} = \text{No} P_1 P_2 \alpha^2 \dots\dots\dots(4)$$

(3)、(4)式から計数効率 α を消去すると、

$$\text{No} = \frac{P_1 P_2}{(P_1 + P_2)^2} \frac{(A_1 + 2 A_{\text{II}})^2}{A_{\text{II}}} \dots\dots\dots(5)$$

となる。

さらに、 ^{125}I の崩壊形式から P_1 と P_2 はほぼ等しく、 $P_1/P_2=1$, $P_1 P_2/(P_1 + P_2)^2=1/4$ とみなしてよい。したがって(5)式は

$$\text{No} = \frac{(A_1 + 2 A_{\text{II}})^2}{4 A_{\text{II}}} \dots\dots\dots(6)$$

となる。(6)式を使用すると簡単に ^{125}I 線源の崩壊率を求めることができる。この式には計数効率が含まれておらず、この方法では通常の比較測定に必要な標準線源や測定条件に対する配慮なしに正確な測定ができるものと期待できる。

3. 実験材料と方法

実験には 3in. ϕ \times 2in. のウェル型 NaI (Tl) シンチレーション検出器と 5in. ϕ \times 2in. の円筒型 NaI (Tl) シンチレーション検出器 (スキャナーの検出器) にマルチチャンネル波高分析器 (1024 channel) を接続した測定器を用いた。試料容器は通常外径 14 mm のプラスチック試験管および 130 mm ϕ \times 77 mm のプラスチックタッパー容器を用いた。

ウェル型検出器による ^{125}I の測定においては、 ^{129}I 標準線源 (^{125}I 換算 0.079 μCi , 15 ~ 100 keV の window) を用いた比較測定値と(6)式から求めた絶対測定値を比較した。また、試験管内の ^{125}I の容量の変化 (0.1 ~ 5 ml), 試験管の大きさや材質の測定値におよぼす影響を検討した。

スキャナーの検出器による ^{125}I の測定においては、 ^{125}I の点線源を用いて、線源と検出器間の距離の変化 (0 ~ 5 cm) および水による吸収の絶対測定と比較測定値におよぼす影響を検討した。また、タッパー容器を用いて ^{125}I の容量の変化 (0.1 ~ 500 ml) に対する測定値の変動を求め、大容量の ^{125}I 試料に対する絶対測定法の有用性を検討した。

4. 結 果

4.1 ウェル型 NaI (Tl) 検出器による ^{125}I の絶対測定

Table 1 に ^{129}I 試験管内試料

の容量の変化の絶対測定および比較測定値におよぼす影響を検討した結果を示した。比較測定においては ^{125}I の γ 線スペクトルの A_I + A_{II} の計数率を求め、 ^{129}I 標準線源の測定から決定された計数効率 (88.7%) を用いて、放射能の強さ (μCi) に換算した。試料の容量が 1 ml 以下では絶対測定値と比較測定値の差異は 5% 程度で良い相関を示した。比較測定においては容量の増加に伴って測定値は減少し、5 ml では 0.1 ml の場合の測定値に対して 10% 以上減少した。一方、絶対測定においては、試料の容量を 0.1 から 5 ml まで変化させても測定値の変動は ±3% 程度であった。

Table 1 Effect of sample volume on absolute and comparative measurement of ^{125}I

Volume (ml)	Absolute measurement (μCi)	Comparative measurement (μCi)
0.1	$5.06 \times 10^{-2}(1)$	$4.93 \times 10^{-2}(1)$
1.0	$5.13 \times 10^{-2}(1.014)$	$4.87 \times 10^{-2}(0.988)$
2.0	$5.13 \times 10^{-2}(1.014)$	$4.82 \times 10^{-2}(0.978)$
3.0	$5.12 \times 10^{-2}(1.012)$	$4.75 \times 10^{-2}(0.963)$
4.0	$5.09 \times 10^{-2}(1.006)$	$4.63 \times 10^{-2}(0.939)$
5.0	$4.89 \times 10^{-2}(0.966)$	$4.38 \times 10^{-2}(0.888)$

Table 2 Effect of various kinds of sample vessels on absolute and comparative measurement of ^{125}I

Test tube (mm-dia)	Absolute measurement ($\times 10^{-4} \mu\text{Ci}$)	Comparative measurement ($\times 10^{-4} \mu\text{Ci}$)
Plastic (14)	$202 \pm 1.4(1)$	$192 \pm 0.8(1)$
Plastic (10)	$201 \pm 2.6(0.995)$	$193 \pm 2.3(1.005)$
Glass (13)	$199 \pm 1.7(0.985)$	$149 \pm 0.9(0.776)$
Glass (10)	$200 \pm 2.1(0.990)$	$157 \pm 4.5(0.82)$

Sample volume: 1 ml

Table 2 に ^{125}I 試料を入れる試験管の種類の絶対測定および比較測定値におよぼす影響を検討した結果を示した。比較測定においては、試験管をプラスチックからガラス製に変えると ^{125}I から放出される photon の吸収が大になり、測定値は 18~22% も減少した。一方、絶対測定においては試験管の種類による影響はほとんどみられず、測定値の減少は 2% 未満であった。

4.2 スキャナーの NaI (Tl) 検出器による ^{125}I の絶対測定

Table 3 に ^{125}I 点線源と検出器間の距離の絶対測定と比較測定値におよぼす影響を検討した結果を示した。 A_I , A_{II} は ^{125}I の γ 線スペクトルのそれぞれの光電ピークの計数率、 A_{II}/A_I は 2 つのピークの大きさの比率を表し、 N_0 は (6) 式で計算された絶対測定値 (dpm) を示している。比較測定値は $A_I + A_{II}$ の計数率 (cpm) で表した。比較測定においては、線源と検出器間の距離が大になるにつれて測定値は減少し、5 cm の距離では距離 0 の場合の値に対して 50% 以下に減少した。一方、絶対測定においては距離の影響を受けにくく、5 cm の距離の測定値は距離 0 の場合の 93% であった。また、距離が大になるにつれて A_{II} のピークの著しい減少が認められ、 A_{II}/A_I 値も減少した。

Table 3 Effect of source-to-detector distance on absolute and comparative measurement of ^{125}I

Distance (cm)	A_I ($\times 10^6$ cpm)	A_{II} ($\times 10^5$ cpm)	A_{II}/A_I	No ($\times 10^6$ dpm)	Comparative * measurement ($\times 10^6$ cpm)
0 (on detec.)	2.06	3.12	0.152	5.76(1)	2.37(1)
1	1.93	2.62	0.136	5.75(1.00)	2.19(0.93)
2	1.67	1.87	0.112	5.58(0.97)	1.86(0.78)
3	1.43	1.31	0.091	5.48(0.95)	1.56(0.66)
4	1.22	0.90	0.074	5.47(0.95)	1.31(0.56)
5	1.04	0.64	0.061	5.33(0.93)	1.10(0.47)

* $A_I + A_{II}$ **Table 4** Effect of depth of water on absolute and comparative measurement of ^{125}I

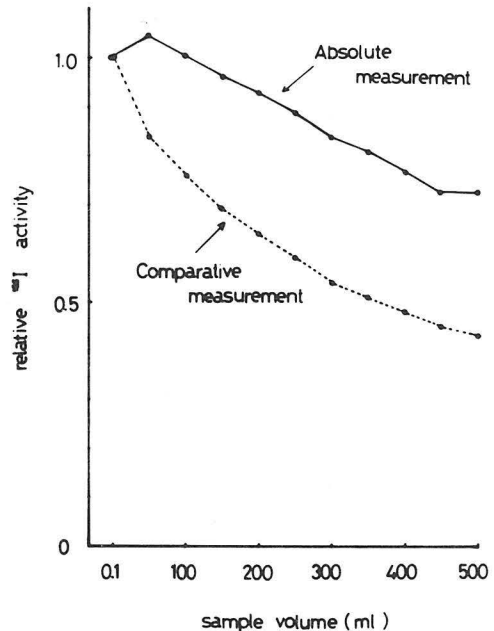
Depth of water (cm)	A_I ($\times 10^6$ cpm)	A_{II} ($\times 10^5$ cpm)	A_{II}/A_I	No ($\times 10^6$ dpm)	Comparative * measurement ($\times 10^6$ cpm)
0	1.54	1.44	0.093	5.88(1)	1.69(1)
1	1.13	0.73	0.065	5.53(0.94)	1.20(0.71)
2	0.80	0.36	0.045	5.24(0.89)	0.84(0.50)
3	0.56	0.18	0.032	4.95(0.84)	0.57(0.34)

* $A_I + A_{II}$

source-to-detector distance: 3 cm

^{125}I 点線源を検出器表面から 3 cm の位置に固定し、線源と検出器間の水の厚さの絶対測定および比較測定におよぼす影響を検討した結果を Table 4 に示した。水の厚さを増すにつれて ^{125}I から放出される photon の吸収が大になり、比較測定値は著明に減少した。絶対測定法においても測定値の減少が認められ、水の厚さが 3 cm では、水の吸収のない場合に比較して 16% 減少した。

Fig. 2 にタッパー容器を用い、 ^{125}I 溶液を 0.1 から 500 ml まで希釈して変化させ、絶対測定および比較測定値におよぼす影響を検討した結果を示した。両者とも容量の増加にともなって測定値は減少したが、絶対測定値の方が減少の程度

**Fig. 2** Change of ^{125}I activity with sample volume in absolute and comparative measurement

が少なかった。絶対測定において、点線源を基準として±5%以内の精度で測定できる容量は150 ml（水深13 mm）までであった。

5. 考 察

一般に放射性同位元素の放射能の絶対値を求めるには、放射線検出器で測定された計数率(cps, cpm)を計数効率と検出した放射線の放出率で除してやらなければならない。しかし、計数効率には線源と検出器の幾何学的条件、放射線と検出器の相互作用の確率、線源と検出器間の吸収と散乱、線源による自己吸収など多くの因子が含まれ、その正確な値の算出は困難なことが多い。そこで、日常の核医学検査における試料計測では、標準試料と試料を同一条件で測定し、その計数率の比較から相対的な値が算出されている。一方、今回検討した同時計数を利用した ^{125}I の絶対測定法においては、最終的な放射能を求める(6)式の中に計数効率は含まれず、測定条件が異なった試料でも簡単に絶対値を測定でき相互比較が可能であると考えられる。

ウェル型検出器においては、絶対測定法によって算出された ^{125}I の放射能値は ^{129}I の標準線源を用いた比較測定値と良い相関を示した。また、 ^{125}I 試料の容量の変化や試料容器の種類に対して、絶対測定値は±3%以内の変動しか示さず、比較測定よりも測定条件の変化の影響は著明に少ないことが示された。一方、スキャナーのNaI検出器を用いた ^{125}I の絶対測定においては、線源と検出器間の水によるphotonの吸収の影響が大きく、試料の容量の増加にともなって測定値の減少が認められた。点状線源を基準として5%以内の精度で測定できる容量は150 ml（水深13 mm）までであり、この容量は ^{125}I を含む糞便等の試料をタッパー容器に採取し、そのまま測定するには不十分であると考えられる。

絶対測定法における測定値の変動の要因は、第1に ^{125}I の放射能の絶対値を求める(6)式には計数効率は含まれていないが、計数効率がゼロの場合には(6)式が成立しないこと、第2に同時計数ピークである A_{II} の計数率は計数効率の2乗に関係し、計数効率が小さくなるにつれて A_{II} の値は A_{I} に比し著明に減少するため A_{II} の値に基づいて計算される放射能値 N_0 の統計的変動が大きくなることが考えられる。すなわち、 ^{125}I から放出されるphotonのエネルギーは27～35 keVと低いため水による吸収が大きく、大容量の試料においては計数効率が非常に小さいかゼロになる部分が生ずるために絶対測定値が減少するものと考えられる。したがって、絶対測定法の応用にも限界があるものと推定され、今回の検討では目安として $A_{\text{II}}/A_{\text{I}}$ の値が0.07以下では絶対測定値が点状線源に対して5%以上の減少が認められた。

以上のことから ^{125}I の絶対測定法の応用のまとめとして、(1)ウェル型NaI(Tl)シンチレーションカウンタを使用した試験管内試料の測定においては、試料の容量や試験管の材質や大きさなどの測定条件が一定でない場合や異なった測定器を利用した場合などでも測定値の相互比較が可能である、(2)特に絶対値が必要な管理測定に便利である、(3)絶対測定法の応用にも限界があり、幾何学的条件が悪かったり、大容量の試料の測定では測定値が減少する、(4)同時計数ピークは計数効率の低下にともない著明に減少するので、その計数値の統計的変動に注意が必

要, 等が考えられる。

文 献

- 1) 日本アイソトープ協会：核医学利用統計 昭和58年度(2). Isotope news No. 362 : 23-26 (1984)
- 2) J. S. Eldridge and P. Crowther : Absolute determination of ^{125}I in clinical application. Nucleonics 22 : 56-59 (1964)
- 3) D. L. Horrocks and P. R. Klein : Theoretical consideration for standardization of ^{125}I by the coincidence method. Nuclear instruments and methods 124 : 583-589 (1975)

