^{99m}Tc による手指の表面汚染による被曝線量†

森 厚文, 小島一彦*, 越田吉郎*, 安東 醇*, 小林 真, 久田欣一

金沢大学医学部核医学科 920 金沢市宝町13-1

*金沢大学医療技術短期大学部 920 金沢市小立野5-11-80

1978年6月15日受理

1. はじめに

患者の医療上の被曝はできるだけ少ないことが望ましい。その点現在 universal scintigraphy agent として広く用いられている ^{99m}Tc は、他の比較的半減期の長い核種と比較して患者への被曝が少ないのみならず、環境汚染に関する問題も少ないという利点を有する。その反面、 ^{99m}Tc は患者の被曝が少ないため大量投与が行われており、また検査件数の急激な増加と相まって術者への被曝とくに手指被曝が無視できなくなっている。

手指被曝には1) 体外被曝と2) 皮膚の表面汚染による被曝の2つがある。前者に関する報告は数多く知られているが^{1)~3)}、後者に関する報告は非常に少ない。そこで本稿では計算に基づく ^{99m}Tc による手指汚染被曝線量と TLD 素子による実測値との比較検討を行うとともに、 ^{99m}Tc による手指汚染被曝の放射線管理上の意義について検討した。

2. 方 法

2.1 計算法

線量率を計算する場合、電子と光子に分ける必要がある。電子による線量率は MIRD 法によりつぎの第1式によって計算される。

すなわち

$$D_e = \frac{1.07nE}{X_{90}} \int \frac{F(r, E)}{X} dX \text{ rad} \cdot \text{cm}^2 / \mu\text{Ci} \cdot \text{hr} \quad (1)$$

ただし n : 1崩壊あたりの電子の数 E : 放出電子の平均エネルギー X_{90} : 放出電子のエネルギーの90%が吸収される領域の半径(cm) X : 線源よりの距離(cm) $F(r, E)$: 水中における単一エネルギー電子に対する吸収線量分布係数

一方光子による線量率はつぎの第2式によって計算される。すなわち

$$D_p = KnE \int \frac{1}{4\pi X^2} \cdot \frac{\mu_{en}}{\rho} \cdot e^{-\mu X} B(\mu X) \cdot 2\pi X \cdot dx \quad (2)$$

ただし K : $1.6 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{rad} / \text{MeV}$ μ_{en} : エネルギー吸収係数(cm^{-1}) ρ : 密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) B : ビルドアップ係数

したがって線量率は第1式と第2式で得られた値の和で求められる。

2.2 TLD 素子による実測法

MSO-5D 型 TLD 素子を用いて実測したが、MSO-5D 型は表面が何も被覆されていない disk 状の素子であるため、光子はもとより電子も直接測定可能という特徴を有する。線量測定は大日本塗料株式会社製の極光 TLD 1300を用いて行った。線源の ^{99m}Tc の放射線量は TLD 素子の測定精度を考慮して、約 $60 \mu\text{Ci}$ (1 mCi を1日放置して自然減衰したもの) のものを用いた。なお放射線量はアロカ製キュリーメーター IGC-IB型を用いて測定した。距離による線源の変化を知るため、線源を直接 TLD 素子表面に密着および塩化ビニール (マイクロメータによる計測では約 0.07 mm の厚さ) をそれぞれ1枚, 3枚, 5枚, 9枚を介して24時間放置したのちに線量測定を行った。なお線源を TLD 素子に密着させる方法として1) TLD 素子の上に直接 ^{99m}Tc を滴下する方法と2) スライドガラス上で赤外

† Radiation Dose from Skin Contamination with ^{99m}Tc . Hirofumi MORI, Kazuhiko KOJIMA*, Kichiro KOSHIDA*, Atsushi ANDO*, Shin KOBAYASHI, Kinichi HISADA: Department of Nuclear Medicine, School of Medicine, Kanazawa University, Takara-machi 13-1, Kanazawa-shi 920, *School of Paramedicine, Kanazawa University, 5-11-80, Kodatsuno, Kanazawa-shi 920.

ランプにて蒸発乾固させた線源の上に TLD 素子を置くという2つの方法にて測定を行った。

3. 結 果

3.1 計算結果

電子および光子による線量率を線源よりの距離を変化させて計算し、それを Table 1 に示した。

Table 1 Comparison of calculated dose rates, $\text{mrad}\cdot\text{cm}^2/\mu\text{Ci}\cdot\text{hr}$ with experimental dose rates measured by TLD

Distance from source (mm)	Calculated dose rate		Experimental dose rate
	D_e^*	D_p^{**}	
0	—	—	1450
0.025	1600	27.7	
0.05	1200	25.0	
0.07	950	23.5	610
0.10	640	22.0	
0.15	110	20.0	
0.20	6	18.0	37
0.38	0	14.5	26
0.50	0	13.0	
0.66	0	11.5	11.5
0.80	0	10.0	
1.00	0	8.6	

D_e : dose rate from electrons

D_p : dose rate from photons

3.2 TLD 素子による実測値

線源を TLD 素子に密着させた場合は $1450 \text{ mrad}\cdot\text{cm}^2/\mu\text{Ci}\cdot\text{hr}$ (滴下法, 蒸発乾固法それぞれ3回測定した平均値), ならびに塩化ビニールをそれぞれ1枚 (0.07 mm), 3枚 (0.20 mm), 5枚 (0.38 mm), 9枚 (0.66 mm) 介した場合の値は, それぞれ 610, 37, 26, 11.5 $\text{mrad}\cdot\text{cm}^2/\mu\text{Ci}\cdot\text{hr}$ (それぞれ3回測定した値の平均値) であった (Table 1)。これらの実測値と計算値を片対数グラフ用紙にプロットして比較すると (Fig. 1), 両者はかなり近似していることがわかる。

4. 考 察

^{99m}Tc の普及に伴い患者への被曝が軽減されるようになった代わりに, 術者の被曝, とくに手指への被曝が問題となっている。体外被曝すなわちバイアルあるいは注射器の線源による被曝に関しては, いくつかの報告があるが^{1)~9)}, 汚染に基づく被曝に関する報告は非常に少ない。 ^{99m}Tc は γ 線が主であるため汚染して

Fig. 1 Dose rate as a function of distance from source on the skin.

も問題が少ないと考え手袋を装着せずに ^{99m}Tc を取り扱うことが多いようである。しかし Henson ら¹⁰⁾ は種々のアイソトープによる皮膚汚染による線量率について計算を試み, ^{99m}Tc による皮膚汚染被曝は無視できないと忠告している。実際に ^{99m}Tc の事故的汚染はまれではあるが経験される。したがって Henson らの計算の信頼性, ならびに日常診療にさいしどの程度汚染するか, さらには最大許容表面密度ならびに最大許容被曝線量との関係について明確にする必要があるが, そのような報告はいまのところないようである。そこで計算値と TLD 素子による実測値との比較を試みるとともに, ^{99m}Tc による手指被曝の放射線防護上の意義について検討を試みた。

TLD 素子で得られた実測値に関して, いくつかの影響する因子が考えられる。すなわち 1) MSO-5D 型 TLD 素子と線源を密着させた場合, 線源の均一性とその厚さ (^{99m}Tc の放射能濃度 (mCi/cc) によって異なる) の相違, 2) ^{99m}Tc の放射能を測定したキュリーメーターの精度 (今回使用した 1 mCi 前後のレンジでは, その誤差は 10% 以内), 3) TLD 素子自体のパラッキ (一般には $\pm 12\%$ であるが, 今回は $\pm 6\%$ 以内のものを使用した) などが考えられる。したがってこれらの誤差の原因となる因子を考慮すると, 実測値と

計算値はかなり良く一致しているといえよう。またわれわれの得た計算値と Henson らの求めた計算値と若干異なるが、考慮する放出エネルギーの種類が幾分異なることを考えると有意の差はないと考えられる。

実際に術者の手袋をウェルタイプシンチレーションカウンタで定量測定してみるとつねに両手とも汚染が認められ(1日平均300 mCi 使用)、汚染の意識がなくても $10^{-3}\sim 1.5\times 10^{-2}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ (オートラジオグラフィにて分布を調べてみると不均一分布をしていたが、汚染が 100cm^2 の面積にわたって平均して分布すると仮定すると)であった。汚染の程度は術者間ならびに同一術者でも日によって異なるため、正確な汚染の程度に関しては今後さらに検討する必要があるが、法律で定められている最大許容表面密度(α 線を放出しない放射性同位元素では $10^{-3}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)を基準にすると、300 mCi 程度の ^{99m}Tc を1日取り扱っただけで最大許容表面密度以上汚染することになる。また毎日(1週6日として計算) $10^{-3}\sim 1.5\times 10^{-2}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ 汚染したと仮定すると、皮膚表面における線量当量は3か月で約1.0~14.7 rem となり手における許容被曝線量20rem/3か月より幾分低い程度である。ただし線量当量の正確な推定は汚染の分布が不均一であり、また ^{99m}Tc の皮膚残存率の時間的変化が不明であるため困難であるが、 $10^{-3}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ の場合は $10^{-3}(\mu\text{Ci}/\text{cm}^2)\times 1.45(\text{rad}\cdot\text{cm}^2/\mu\text{Ci}\cdot\text{hr})\times 1.44\times 6(\text{hr})\times 78\div 1.0\text{ rem}$ として計算した(ただし3か月を78日として計算)。これを1日の汚染被曝線量当量に換算すると12.5~187.5 mremとなる。手指被曝のもう1つの原因である体外被曝すなわちバイアルならびに注射器の線源よりの被曝は ^{99m}Tc 300 mCi 使用したとすると150~540 mremといわれているため⁷⁾、汚染による皮膚表面における被曝線量は体外被曝と比較して幾分少ない程度である。

しかし放射線防護上で問題になるのは皮膚表面ではなく、感受性のある基底層あるいはそれより深部の組織である。不感層は手背では8 mg/cm²(皮膚密度を1.1 g/cm³とすると0.0073cm)、手掌側では40 mg/cm²(0.036cm)といわれている^{11), 12)}。 ^{99m}Tc による手指汚染被曝は透過性のある γ 線などの光子によると考えがちであるが、Table 1でわかるように線源との距離が近いほど(皮膚表面に近いほど)、電子(内部転換電子およびオージェ電子)による被曝の割合が大きい。一方線源との距離が遠くなると電子による被曝は無視でき、光子(γ 線のみならずX線も含む)のみによる被曝を考慮すればよい。したがって体外被曝の場合は基底層の部位でも皮膚表面と比較してあまり被曝の減少

は認められないのに対し、表面汚染の場合は基底層における被曝は、手背側では皮膚表面の約43%、手掌側では約2%に相当することになる。汚染しやすいのは手背側ではなく手掌側であるため、基底層における表面汚染による被曝は、一般的には体外被曝に比較して無視できるくらい少ないといえよう。しかし放射線防護上できるだけ被曝を少なくするために、われわれはミルキング、 ^{99m}Tc -化合物調製ならびに注射するときは、必ず手袋を装着するように心がけている。注射器に鉛シールドをつけることによって体外被曝が軽減されるのと同様に、正確な手袋の着脱方法に従えば汚染による手指被曝の大部分を防止することができる。さらに汚染のおもな原因、すなわち消毒アルコール綿を介しての汚染に注意すれば汚染による手指被曝を最小限に防止することができる。

5. 結 語

1) 計算に基づく ^{99m}Tc による手指汚染被曝線量はTLD 素子による実測値とかなりよく一致した。

2) 皮膚汚染表面における線量率は約 $1.45\text{rad}\cdot\text{cm}^2/\mu\text{Ci}\cdot\text{hr}$ であるが、手背部基底層では表面の約43%、手掌部基底層では表面の約2%に減少する。

3) 実際に術者の手袋(1日平均300 mCiを取り扱う)を測定したところ、片手全体として $0.1\sim 1.5\mu\text{Ci}$ の汚染が認められた。この程度の汚染では実際上問題となる手掌部の基底層における被曝はバイアル、注射筒の線源による体外被曝と比較して少ない。

4) 汚染の意識がなくてもつねに汚染が認められ、また事故的に汚染した場合には、局部的に大量被曝する危険性を有するなどの理由のため、手袋を装着するとともに、注意深く作業をすべきである。

文 献

- 1) Neil, C.M.: *J. Nucl. Med.*, **10**, 732 (1969)
- 2) McEvan, A.C.: *Brit. J. Radiol.*, **42**, 396(1969)
- 3) Clayton, R.S.: *Am. J. Roentgenol.*, **105**, 897 (1969)
- 4) Anderson, D.W., et al.: *J. Nucl. Med.*, **13**, 627 (1972)
- 5) 前越 久, 他: *Radioisotopes*, **21**, 305 (1972)
- 6) 山本千秋, 他: *ibid.*, **21**, 309 (1972)
- 7) 森 厚文, 他: フィルムバッジニュース, **46**, 1 627 (1972)
- 8) Henson, P.W.: *Brit. J. Radiol.*, **46**, 972(1973)
- 9) 山本千秋, 他: 核医学, **14**, 923 (1977)
- 10) Henson, P.W.: *Brit. J. Radiol.*, **45**, 938(1972)
- 11) Whitton, J.T.: *Health Physics*, **24**, 1 (1973)
- 12) Henson, P.W.: *Brit. J. Radiol.*, **46**, 645(1973)