原著

熱ルミネセンス線量計の感度特性に関する研究 —MSO-S 型検出体の方向依存性—

山 本 千 秋* 呉

鈞*²

Research on Sensitivity Characteristics of Thermoluminescence Dosimeters —Direction Dependence of MSO-S Type Detectors—

Yamamoto Chiaki

*Nagoya University College of Medical Technology,
Department of Radiological Technology
461 Nagoya, Higashi, Daikominami, 1-1-20*

Wu Jun

*China · Liaoning Medical Instruments Research Institute
China · Shenyang, Tiexiqu, Zhonggong Beijie, 22*

Abstract

The detectors for thermoluminescence dosimeters are made into smaller size than ionization chambers and scintillation detectors. Furthermore, they are highly sensitive, they can do the measurement of radiation using many detectors at once and so on, accordingly they have been employed widely for medical treatment.

However, since the shape of these detectors is bar type, there is the peculiarity in their sensitivity according to the angle of incident radiation into the detectors.

In this research, further on the sensitivity characteristics due to the distance from a radiation source, the experimental examination was carried out by using MSO-S type detectors on the X-ray for diagnosis and cobalt gamma ray. As the result, it was elucidated that in the detectors used, there was the change of the sensitivity characteristics according to the distance from the radiation sources. The accuracy of measurement by using these detectors was researched, therefore it is reported.

1. 目 的

我々は熱ルミネセンス線量計の感度特性について研究し、報告を行ってきた^{1~6)}。これらの報告では検出体(素子)の種類による感度特性^{2,3,5)}、素子の放射線エネルギーによる感度特

*名古屋大学医療技術短期大学部
診療放射線技術学科

*²中国・遼寧省医療器械研究所
(原稿受付: 1991年11月5日)

(10) 医器学 Vol. 62, No. 2 (1292)

性⁶⁾、素子の取扱による感度特性等を述べて来た⁴⁾。さらに、素子の形状が棒状に製作されていることから、素子へ入射する放射線の角度の違いによる感度の特性(方向依存性²⁾)も報告した。しかし、この方向依存性は素子を線源から一定の距離に置いた場合の報告である。また、他の報告でも^{7~10)}、素子の位置は線源から一定の距離に置いた場合のものである。

今回、著者は素子の方向依存性の感度が、線源からの距離によってどのように変化するかを実験的に研究した。そして、放射線測定精度を高くするためにはこの感度特性をどのように応用すべきかを検討した。この結果、この感度特性を簡単な一つの法則として表すことが出来たので、これを報告する。

2. 実 験

1) 器具・装置

熱ルミネセンス線量計は装置が TLD-1200 型。素子は MSO-S 型(物質は Mg_2SiO_4) である。この素子の外形は $2\text{mm}\phi \times 10\text{mm}$ の棒状である。素子の数は60個を使った。この60個の感度差はいずれも $\pm 5\%$ 以内にある。

放射線は医療用の X 線発生装置(東芝 KXO-1000 型)からの X 線を使った。X 線発生管の管電圧は 60 KV、及び 120 KV で行った。また、Co-60 遠隔照射装置(島津 1000 型)の γ 線も用いた。

2) 実験方法

実験の素子は放射線の線源から 50 cm, 100 cm, 150 cm 及び 190 cm の各々の距離に置かれた(図 1・A)。そして、素子の角度は長軸がそれぞれの位置で線束の中心軸に素子の長軸を重ね、この位置を 0 度とした。この位置から 30 度、45 度、60 度及び 90 度に配置した(図 1・B)。これらの素子は発泡スチロール板(大きさは $200\text{cm} \times 50\text{cm}$ ・厚さ 5 cm)の平面に添付した。これを撮影台の平面に垂直に立てた。そして、X 線束は床面と並行で同時に照射した。この測定は 3 回繰り返し行われ、その 3 回の平均値を測定値とした。照射面積は線源から 50 cm の位置で $10 \times 10\text{cm}^2$ の大きさに絞った。照射線量は線源から 100 cm の位置で 5 (C/

図 1 測定方法

- (A) 線源から検出体までの位置
放射口は厚さ 3 mm の鉛で X 線束を絞った。50 cm の位置で、照射面積が $10 \times 10\text{cm}^2$ 。
(B) 測定位置における検出体の角度。

表 1 線源からの距離における角度と感度の比較 (60 kV の場合)

angular distance	0°	30°	45°	60°	90°
50 cm	77.3	110.0	107.0	102.0	100.0
100 cm	63.1	91.6	97.2	101.0	100.0
150 cm	63.9	91.3	99.4	103.0	100.0
190 cm	56.8	85.4	93.9	88.6	100.0

unit: (%)

kg) の照射で行った。

3. 測定結果

1) 管電圧 60 kV の場合

この実験は素子を線束中心軸に対して 90 度の位置における線量値を 100% 値とした。そして、それぞれの角度における線量値を % 値に計算し表 1 に示した。

角度による最高の感度を示した角度の位置は、線源からの距離が 50 cm のとき 30 度、100 cm のとき 60 度、150 cm のとき 60 度、190 cm のとき 90 度等の角度であった。

次に、線源からの距離の違いによる最高と最低の感度差を表 1 から計算すると、線源から 50 cm の位置が 31%、100 cm の位置が 38%、150 cm の位置が 39%、190 cm の位置が 43% 等であった。距離が次第に大きくなると感度差も大きかった。

2) 管電圧 120 kV の場合

管電圧 60 kV の場合と同じ測定を行った結

表 2 線源からの距離における角度と感度の比較 (120 kV の場合)

angular distance	0°	30°	45°	60°	90°
50 cm	92.5	115.0	115.0	106.0	100.0
100 cm	74.3	110.0	101.0	110.0	100.0
150 cm	80.1	116.0	102.0	109.0	100.0
190 cm	78.1	111.0	106.0	102.0	100.0

unit: (%)

表 3 線源からの距離における角度と感度の比較 (Co-60 γ 線の場合)

angular distance	0°	30°	45°	60°	90°
50 cm	92.3	98.0	96.2	98.3	100.0
100 cm	94.3	96.6	99.0	96.0	100.0
150 cm	95.1	99.0	96.4	97.0	100.0
190 cm	95.9	95.8	97.6	96.0	100.0

unit: (%)

果は表 2 に示した。最高感度を示した角度の位置は、線源からの距離が 50 cm のとき 30 度、100 cm のとき 60 度、150 cm のとき 30 度、190 cm では 30 度の角度であった。

次に、線源からの距離の違いによる、最高と最低の感度差は 50 cm のとき 20%、100 cm のとき 33%、150 cm のとき 35%、190 cm では 36% であった。距離が次第に大きくなると感度差も大きくあった。

3) Co-60 γ 線の場合

管電圧 60 kV の場合と同じ測定を行った結果は表 3 に示した。線源からの距離を変化した位置において、素子の角度による最高の感度は、いずれの距離においても 90 度の角度の場合であった。

次に、線源からの距離を変化した場合、最高と最低の感度差は 50 cm のとき 7.7%、100 cm のとき 5.7%、150 cm のとき 4.9%、190 cm では 4.9% の感度差であった。距離が次第に大きくなると感度差は小さくあった。

4. 考 察

熱ルミネセンス線量計の検出体 (素子) は電離箱よりも小型である。そして、一度に多数個の素子を用いた線量測定も出来る。この素子は形状に種類があって、今回の研究に使ったものは棒状であった。棒状のものは感度に方向依存性のあることが既に報告されている^{2,7~10)}。し

図 2 60 kV の X 線における、線源からの距離による方向依存性

図 3 120 kV の X 線における、線源からの距離による方向依存性

かし、いずれの報告も、線源からの距離が一定に保たれた場合であった。本研究は放射線の線源からの距離を変化したとき方向依存性がどのように変化するかを実験的に調べた。そして、熱ルミネセンス線量計による線量測定の精度を高めることに寄与することを目的とした。

今回は素子が空気中にある場合の方向依存性について研究された。この場合の放射線は診断用 X 線撮影装置からの X 線 (管電圧の 60 kV 及び 120 kV) と放射線治療用の Co-60 γ 線について実験が行われた。

線源からの距離によって、感度の方向依存性を考察すると以下のようであった。

管電圧 60 kV の場合、表 1 から、50 cm と 190 cm の位置における方向依存性を図 2 に示した。線源から 50 cm の位置は角度が 0 度～90 度までの間、感度は増加した。また、190 cm の離れた位置では角度が 15 度～60 度の範囲では

図 4 Co-60 γ 線における，線源からの距離による方向依存性

90度の感度よりも高くあった。

管電圧 120 kV の場合，表 2 から，50 cm と 190 cm の位置における方向依存性を比較し図 3 に示した。線源から 50 cm の位置は角度が 15度～90度の範囲で90度よりも高い感度であった。また，190 cm の位置は角度が10度～90度の範囲で90度よりも高い感度であった。即ち，線源から距離の大きい位置では方向依存性が大きくあった。

次に，Co-60 γ 線の場合は線源から 50 cm と 190 cm のいずれも方向依存性が小さく， $\pm 5\%$ の誤差範囲であった（図 4）。

上記の，線源からの距離において，その位置における方向依存性（感度の差）の大きさを比率で示す。

この結果，X線では 50 cm の位置で 20～30 % の感度差，100 cm の位置で 33～38 % の感度差，150 cm の位置で 35～40 % の感度差，190 cm の位置で 33～43 % の感度差があった。

Co-60 γ 線では 50 cm の位置で 8 %，190 cm の位置で 5 % であった。従って，Co-60 γ 線では， $\pm 5\%$ の範囲で均等な感度と考察した。

この実験において，X線の放射口に近いところでは線束内の線質が放射口などからの散乱線を多く含んでおり，素子へ入射する方向が不均一となるため，感度の方向依存性は低く示されたと考察した。また，線源から遠くの位置では線束内の放射線の方向が均等化するため，方向

図 5 線源からの距離による感度差の比率

依存性が大きく示されたと考察した。これについては実験的に究明することも必要である。

一般に診療のX線撮影では，撮影の距離が 80 cm 以上 200 cm までである。そして，管電圧が 60 kV，120 kV の実験からして，医療用のX線装置の性能を考慮するとき，線量測定の精度が $\pm 5\%$ 以内であるための素子の位置は線束中心線に対して60度～90度の範囲であることが明らかとなった。

次に，線源からの距離（L）と任意な位置における方向依存性の大きさを求める方式を研究した。

本研究は方向依存性の感度差（%値）を対数で表示すると，図 5 を得る。この%値を Y とするとき，Y と L の関係は次式のように示すことが出来る。即ち，

$$\text{Log } Y = a \cdot L + b \dots\dots\dots (1)$$

を得る。

ただし，b は図 5 から，距離が 0 cm の位置における%値を外挿した値，また，a は図 5 の曲線から対数の勾配として求める。

これは，一般式として利用できる。なお，X線発生装置と照射条件（エネルギー，照射野などの大きさ）及び線源からの距離は限定する必要がある。

本研究の如く，線量測定において方向依存性を考慮するとき，精度の良い測定結果を得ることができるかと考察した。

5. 結 論

熱ルミネセンス線量計で TLD-1200 型の素子・MSO-S 型には，感度の特性として方向依存性がある。従来の報告は，素子が線源から一定

の距離にある場合であった。

本研究は、素子が線源から遠ざかるとき、感度の方向依存性にどのような特種性があるかを研究した。

1) 管電圧が 60 kV と 120 kV の X 線において方向依存性は線源からの距離 (50 cm~190 cm) により違いがあった。線源から遠くの位置では感度の違いが大きく、位置が 190 cm では、60 kV が 43%, 120 kV が 36% であった。

2) 線量測定において、測定誤差が $\pm 5\%$ 以内にあるためには素子の位置が60度~90度の範囲である。

3) 方向依存性の大きさを線源からの任意な位置について求める方程式を次のように簡単な対数の式として導出することが出来た。

$$\text{Log } Y = a \cdot L + b$$

4) Co-60 γ 線においては実験の範囲では距離による方向依存性は特に認められなかった。

最近、診療用の放射線測定には熱ルミネセンス線量計が多く使用されている。X線撮影時は被射体が線源から 80 cm~200 cm 程度である。本研究によって、素子は小型であるが方向依存性があり、素子の線源からの位置による方向依存性を考慮すれば、精度の高い測定結果を得ることが明らかとなった。

謝辞：本原稿を終わるに臨み、御指導を賜りました元名古屋大学医療技術短期大学部診療放射線技術学科 佐々木常雄教授に感謝します。

(尚、本研究の要旨は一部を第 102 回日本医学放射線学会中部地方会で発表した。)

文 献

- 1) 山本千秋ほか：熱ルミネセンス線量計 (TLD-1200型) の特性. 医科器械学, 46, 51-54, (1976)
- 2) 山本千秋ほか：熱蛍光線量計 ($\text{Mg}_2\text{SiO}_4 : \text{Tb}$, $\text{MgB}_4\text{O}_7 : \text{Tb}$) の特性と臨床的应用, 臨床放射線, 21, 819-824, (1976)
- 3) 山本千秋ほか：Disk 型熱蛍光線量計の特性と臨床への応用. 医科器械学, 46, 363-398, (1976)
- 4) 山本千秋：熱ルミネセンス線量計 (TLD) 1200 型の熱処理と感度特性. 医科器械学, 61, 20-23, (1989)
- 5) 山本千秋ほか：熱ルミネセンス線量計 (TLD) の感度特性. 名古屋大学医療技術短期大学部紀要, 2, 43-47, (1990)
- 6) 山本千秋：MSO-S 型熱蛍光線量計のエネルギー校正—Ra γ 線に対するエネルギー校正定数の測定—. 医科器械学, 49, 515-518, (1979)
- 7) R. Schayes ほか：New developments in thermoluminescents dosimetry, Health physics, Vol. 14, 251-263, (1968)
- 8) T. Nakajima ほか：Improvements on both energy and direction dependence of the Mg_2SO_4 thermoluminescence dosimeter, Health physics, Vol. 21, 118-119, (1971)
- 9) 山下忠興ほか：熱けい光線量計 (第II報) $\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$, TLD 素子の構造と特性, NATIONAL TECHNICAL REPORT Vol. 118, 171-180, (1972)
- 10) H. Dekker, Some aspects of $\text{CaF}_2 : \text{Mn}$ Thermoluminescent dosimeter, Health physics, Vol. 30, 399-401, (1976)