CdS- 結晶による γ 線線量測定についての考察

尾内 能夫・楠本 五郎

(癌研究会付属病院 放射線科)

(昭和 34 年 5 月 26 日受理)

緒 言

硫化カドミウム (CdS) の光導電性は, Gudden と Pohl によって発見された現象であるが, そのうち, Frerichs が人工的に大きな結晶をつくることに成功してから, CdS に関する研究が急速に進歩し, X 線工学への応用¹⁾ はもちろん, 放射線医学関係でも線量測定^{2)~9)} その他に用いられるようになってきた。線量測定に CdS 結晶を用いると, 感度が高いので小さい結晶を用いても増幅装置を必要としない利点があるが, X 線に対しては方向依存性が著しく, また波長依存性があるために, 散乱線の混入している状態で線量を測定すると, 不正確な値が得られるなどの欠点をもっている。しかし, γ 線に対しては方向依存性が少なく⁵⁾, また波長依存性についても適当な cap を結晶にかぶせることによって, γ 線の散乱線の感度を落とすことができることから⁴⁾, ドイツの Siemens 社では, これを γ 線測定器として製品化している。

われわれはこの Siemens 製の CdS-gamma meter を購入し線量測定をしたところ, 測定結果に疑問の点を生じたので, これを明らかにすべくその特性を基本的に調べた。その結果, CdS-gamma meter を用いて線量測定する場合に考慮しなければならない 2, 3 の点を発見したので報告する。

測定器の構造

測定部の CdS 結晶の大きさはカタログによる

と 0.05 から 0.3 mm の厚さで, 3×4 から 3×6 mm の表面積をもっているが, われわれの購入した CdS 結晶は細い線束による測定結果から, 表面積は 3×4 mm であると推定される。この板状の CdS 結晶を絶縁体の間にはさんで, それに 0.4 mm の金の cap がかぶせてある。測定回路は明らかでないが, 電池は 4.5 volt 2 個を使用している。

電 流 特 性

1. 電圧印加後一定の電流となるまでの時間

測定しない時には, CdS 結晶部をいつでも Ra γ 線で照射しておくようになっているが, 照射しておかないで, 照射開始後直ちに電圧を印加すると電流が徐々に増加してきて, 一定になるまでに相当の時間がかかる。しかもその時間は照射しておかなかった時間が長いほど長くなる。1 時間, 15 時間および 4 日間照射しないでおいた場合, それぞれ 15 分, 45 分および 60 分程度かかって一定になる。しかし, 長時間照射しておいて, 電圧を印加すると振れが最大値に達してから徐々に下降し, 15 分位で一定値を示すようになる。第 1 図にその結果を示した。(この時に指定の振れとなるように電圧を調整するようになっている。)

2. 照射開始後一定の電流となるまでの時間

電圧印加後しばらく無照射でおいてから, 照射した場合も, 電流が一定になるまでに時間がかかり, その時間は線量率が大きいほど, 短時間で一定になる。1 時間無照射でおいた場合, 100 r/h 程度の線量率で約 3 分, 10 r/h 程度では 8 分ぐ

らいかかる(第2図)。

連続的に種々の線量率を測定しても一定に達す

第1図 電圧印加後電流が一定するまでの時間

第2図 照射開始後(1時間無照射)電流が一定するまでの時間および照射停止後電流が零になるまでの時間。

るのに時間がかかるが, 1時間無照射でおいた場合よりは短かく2分程度である。

しかし, 50r/h以上の線量率を測定してから, 10r/h程度の小さい線量率を測定すると徐々に振れが下降してきて一定値を示すのに8分以上かかる。

測定器の較正

この測定器には電流の読みから線量率を求めるための較正表がついているが, 線量率の大きい ^{60}Co - γ 線を測定して, その較正表から線量率を求

めたところ, 電離槽で測定した値と15%も異なる場合が生じてきた。また同じ Siemens 製のほかの CdS-gamma meter で測定した値とも異なる結果がでてきた¹⁰⁾。そこでつぎの方法で Ra および ^{60}Co - γ 線によって較正を行った。

1. Ra による較正

白金1mm厚の容器入り Ra 30mg (有効長1.5cm)を10本密着して並べ, その線源面と直角な中心軸上の点の線量率を Quimby¹¹⁾の方法

第3図 Ra および ^{60}Co - γ 線の線量率と電流との関係; 曲線 (1) Ra, (2) ^{60}Co , (3) Siemens の較正

によって計算し, その計算値と CdS-gamma meter の読みとの関係をだすと第3図曲線(1)のようになる。

700 r/h となるのが線源面から 1.5cmで, 線源に非常に近いから, それ以上の大きい線量率では距離の誤差および線源の大きさと CdS 結晶の大きさが問題となって不正確な値となるおそれが多分にある。しかし30mg 管1本について1.5cm以下(100 r/h程度)を測定して, ここに得られた較正表から線量率を求めると, 30 mg 管1本

についての計算値とよく一致しているから、近距離による誤差は少ないものと考えられる。

2. ^{60}Co による校正

Ra とローリッツェン型検電器で比較した ^{60}Co (Ra 相当量白金 1 mm 容器入り 17mg) を 10 本密着して並べ、Ra と同様に計算値から、線量率と読みとの関係を求めると第 3 図曲線(2)のようになる。線量率が大きくなるにつれて Ra より ^{60}Co - γ 線の方が感度が低くなっている。

つぎに指帽型電離槽によって測定して線量率のわかった大量 ^{60}Co 線源をこの CdS 結晶で測定してみると、照射野の小さい場合には上の ^{60}Co 管による較正值とよく一致する¹⁰⁾。したがって、少なくともこの CdS 結晶 (金 0.4 mm cap) は線量率が大きくなるにつれて ^{60}Co - γ 線の感度は Ra- γ 線より低くなることを結論してもよいのではないかと考える。

800 kV 以上の γ 線では波長依存性はないが、それ以下では波長依存性があるから 600 kV 付近の γ 線を多く有している Ra- γ 線と平均 1,250 kV の ^{60}Co - γ 線とでは感度に差があってよいわけである。しかし Reuss ら⁴⁾ は 0.4 mm の金の cap をかぶせた CdS 結晶では、Ra と ^{60}Co -

γ 線で感度に相異はないことを認めている。これは比較した線量率が小さかった (20 r/h~100 r/h) ために差を生じなかったのか、あるいは CdS 結晶が異なるとその特性も異なるのか明らかでない。

なお、第 3 図曲線(3)に Siemens で校正した曲線を示したが、われわれが Ra によって校正したものと ^{60}Co によったものとも異なっている。これは Siemens の較正值に不備な点があるのか、あるいは時間の経過によって感度に差を生じたのか明らかでないが、より正確な測定値を得るためには校正を時々行う必要があるように思われる。

方向依存性

第 4 図の左に示すように 30 mg の Ra を CdS 結晶の中心から 4 cm の距離になるようにして方向依存性を追試した。その右の図がその結果で、“赤線”のついている方向がもっとも感度よく、それと直角の方向がもっとも悪くて最大値の 90% 程度であった。

phantom 内での線量測定

第 4 図 CdS 結晶の Ra- γ 線に対する方向依存性

1. 線源が phantom 内にあるときの線量測定

Ra あるいは ^{60}Co 管などを体腔内に挿入して照射する場合, そのまわりの線量を知る必要がある。CdS-gamma meter は probe が小さいから体腔内に挿入することが容易で, そのような線量を測定するには好都合である。しかし, 組織などの散乱体があると散乱線を生ずるから, 体腔内の線量は波長の長くなった散乱線も一緒に測定することになって, 測定器の波長依存性が問題となる。Siemens 製の CdS-probe は 0.4 mm の金の cap をかぶせて散乱線の感度を落してあるが, 果してどの程度正確に測定することができるかをしらべるためにつぎの実験を行った。

Van Dilla ら¹²⁾, Wootton ら¹³⁾ および Reuss ら⁴⁾ が行った実験と同様に, 水槽内に Ra と CdS-probe を一定距離において, 水を入れない空気中での線量をまず測定し, 徐々に水を増加して種々の水の量について線量を測定した。第 5 図にその結果を示す。水が Ra から非常に離れているときには一次線のみが測定器に達するが,

第5図 容器内に Ra と CdS-probe を一定距離において水を少しずつ増加していったときの線量の変化。縦軸は水があるときの線量と水がないときの線量の比。

水が増加してくると水からの散乱線が測定器に達し, 線量が増大してくる。しかし, Ra および測定器が水中に没しはじめると, 一次線が吸収され線量は減少する。さらに水が増加すると Ra の上部の水からの散乱線が付加されてきてふたたび線量は増大する。これらの散乱線が測定器に入射する量は Ra と測定器の距離によって異なる。

線源と測定部が完全に水中に没し, 散乱線が最大となったときの水中での測定値と空気中での測定値の比を縦軸に, 線源と測定器の距離を横軸にとって示すと第 6 図のようになる。Wootton による各種電離槽の結果も示してあるが, CdS 結晶は真鍮壁の電離槽と似た結果となっている。これらは散乱線に感度が高いからであって, 空気壁電離槽とは結果が著しく異なる。このことは CdS 結晶を用いて水中あるいは体腔内の線量を測定すると, 線源からの距離が大きいほど, 実際の線量との差が著しくなることを示している。

第6図 水が無限大に存在するときと同条件の場合に, Ra 線源と測定器の距離による水中線量と空気中線量の比の変化。電離槽による測定値は Wootton et al.¹³⁾ による。

2. 遠隔大量照射時の深部線量

遠隔大量照射時の深部線量をこの CdS-結晶を用いて測定し, 電離槽による測定結果と比較する。phantom は水槽を用いた。SSD 50 cm で, 各照射野について表面の位置での空気中線量

も測定し、その空气中線量を100とした深部線量を縦軸に、深さを横軸にとって示したのが第7図である。点線は電離槽を用いて測定した値である。照射野が大きくなるほど散乱線が増加するから、前の実験と同様に CdS 結晶を用いた値の方が大となり、しかも電離槽による測定結果との差は照射野が大きいくほど大きくなる。しかし、照射野400 cm²で最大15%程度の相異であるから、体内にこの probe を挿入して線量を測定しても、医学的には十分な結果が得られるものと考える。

総括ならびに結語

Siemens 製 CdS-gamma meter の特性をしらべ、つぎのような結果を得た。

1. CdS 結晶に印加する電圧を調整するとき

第7図 CdS-gamma meter と空気壁電離槽による深部線量測定値の比較。

は、CdS-probe を Ra- γ 線で照射しておいた場合には電圧印加後最低15分、probe を照射しておかなかった場合には1時間以上たってから行う必要がある。

2. 電圧調整後、線量測定をはじめるまでに、CdS-probe を照射しないでおいた場合には照射開始後3分以上、連続的に測定する場合でも2分

以上たってから読みをとる必要がある。

線量率が 10 r/h 程度の小さい場合には10分以上たってから読みをとらないと不正確な値となる。

3. 線量率が大きい場合には Ra と ⁶⁰Co- γ 線で感度が異なる。また、時間的経過のためか、較正方法に不備の点があるのか明らかでないが、較正表に20%もの誤差のあるものがある。したがって Ra と ⁶⁰Co について時々較正をしておくことが望ましい。

4. 方向依存性は少なく、方向によって10%程度の相異があるのみである。

5. 水中における小線源のまわりの線量は空気壁電離槽による測定値よりいつも大き目に測定される。しかも線源と測定点の距離が大きくなるほど、その差が著しい。

6. 遠隔大量照射の深部線量を測定すると、照射野の大きい場合ほど、空気壁電離槽による測定値との差が著しくなる。

このように電離槽とは異なった特性をもっているから、CdS-gamma meter を用いて線量を測定する場合には上述の注意をしないと測定結果が不正確となる。また実際に原理的に不正確とならざるを得ない特性をもっているから、CdS-gamma meter のみによる測定結果をそのまま信用することは望ましくない。

終りにご指導、ご校閲を賜った前部長塚本憲甫放医研所長ならびに部長山下久雄博士に深謝する。なお、本論文の一部は第16回日本医学放射線学会総会(1957)において発表した。

文 献

- 1) 橋本一二：日本物理学会誌 **7**, 276—83 (1952)
- 2) Becker, J., Scheer, K. E. und Kübler, A. : *Strahlentherapie*, **88**, 34—43 (1952)
- 3) Broser, I., Oeser, H., und Warminoky, R. : *Strahlentherapie*, **90**, 399—407 (1953)
- 4) Reuss, A., Plesch, R., Mayer, U., und Muschwitz, C. : *Strahlentherapie*, **94**, 384—92 (1954)

- 5) Schaal, A. : *Strahlentherapie*, **94**, 393—402 (1954)
- 6) Plesch, R. und Schaal, A. : *Strahlentherapie*, **96**, 118—23 (1955)
- 7) Bachman, D. H., Gelormini, O. J., and Davis, H. W. : *Am. J. Roentgenol.*, **73**, 98—102 (1955)
- 8) Klick, C. C., Peake, H. J., Cole, P. T., Rabin, H., and Lambe, J. J. : *Nucleonics*, **13**, (12) 48 (1955)
- 9) 橋詰雅 : 日本医放会誌, **15**, 874—8 (1956)
- 10) 塚本憲甫, 尾内能夫 : *Radioisotopes*, **7**, 107—11 (1958)
- 11) Glasser, O., Quimby, E. H., Taylor, L. S., and Weatherwax, J. L. : *Physical Foundations of Radiology*, New York, Paul B. Hoeber, Inc., P.353 (1954)
- 12) Van Dilla, M. A. and Hine, G. J. : *Nucleonics*, **10**, (7) 54—8 (1952)
- 13) Wootton, P., Shalek, R. J., and Flecher, G. H. : *Am. J. Roentgenol.*, **71**, 683—90 (1954)

Considerations on the γ -Ray Dose Measurements with the CdS-Crystal

By

Yoshio ONAI and Gorô KUSUMOTO

(Radiological Division, Hospital of Cancer Institute, Tokyo, Japan)

(Received May 26, 1959)

In order to examine the accuracy of the dose measurement by a CdS-crystal, the physical properties of the Siemens CdS-gamma-meter, of which the measuring probe is equipped with a gold cap (0.4mm), have been investigated and also dose measurements with this CdS-crystal were compared with those obtained with ionization chambers.

The results obtained may be summarized as follows:

(1) At commencement of irradiation this CdS-crystal required a certain amount of time to get into the stimulated state. This time lag depended upon the dose rate and the time without irradiation, and increased

with weaker radiation. When the crystal had been continuously exposed to radiation, this time lag was greatly reduced.

At termination of irradiation the crystal had an inertia. This inertia depended upon the intensity of irradiation and increased with weaker radiation.

In order to measure the accurate dose rate, this crystal required about ten minutes in the case of measurements of small dose rate, and in the case of measurements of large dose rate it required a little more than two minutes.

(2) Comparing our CdS-probe with other probes, these measuring values for the same dose rate varied by 20%,

making the recalibration for our probe with Ra and ^{60}Co . In the case of irradiation with large dose rate, measuring values with this CdS-probe showed a deviation between Ra and ^{60}Co , and also the calibration by Siemens was different with our calibration. But in the case of irradiation with small dose rate, measuring values showed very little deviation between Ra and ^{60}Co , and also between Siemens calibration and our calibration.

(3) The directional dependence of this crystal was kept within the limits of 10%.

(4) Probe and radium source were suspended in a container at fixed

distance from each other. Measurements were carried out while slowly filling the container with water. These measuring values in water phantom were greater than those in air and the maximal deviation was 10%.

The values of water/air ratio obtained with the CdS-probe by our experiments were greater than those obtained by Wootton with the air wall ionization chamber.

(5) The output of telecobalt unit and the depth dose in water phantom obtained with this CdS-probe were greater than those with the air wall ionization chamber.