ノート

密封小線源の簡単な線量計算

九州大学医学部附属病院放射線部

高 田 卓 雄

(受理 昭和52年 5月26日)

(Code No. 41110, 41250)

A SIMPLE DETERMINATION OF THE DOSE-RATE AT POINT
IN WATER AROUND LINEAR RADIOACTIVE SOURCE

By TAKAO TAKADA

Department of Radiology, Kyusyu University
Hospital, Fukuoka.

(Received: May 6, 1977)

Summary

This paper describes the simple formula giving the dose rate in water around linear radioactive source. The formula was based on modified Sivert's formula. The calculated value was compared with several author's datas or experimental value, the results were as follows:

- 1) the maximum error between the calculated dose rate for ^{226}Ra source and Uchiyama's data was less than 10 percent.
- 2) agreement between calculated and measured attenuation curves with distance from Ra source was seen to be similar in shape.
- 3) agreement between the calculated dose distribution around ^{137}Cs source and Klvenhagen's data was seen to be similar.

1. は じ め に

^{226}Ra は従来より密封小線源による放射線治療に用いられてきたが、最近では ^{60}Co や ^{137}Cs 線源も用いられるようになってきた、しかしこれ等の小線源(針、管)を放射線治療に用いる場合、ラジウム等量ということで使用されることが多く、しかもラジウム線源での線量計算も空気中での計算値が使用されているというのが現状である。そこでこれ等の線源を使用する場合の簡単な水中における吸収線量の計算方法を検討し、従来のものと

比較を行なったので報告する。

2. 方 法

Fig. 1 に示す点Pにおける線量計算の方法はいろいろあるが、点Pが空気中にある場合の最も簡単な方法は、Sivertの積分⁵⁾による方法であろう。しかしこの方法では組織に対する吸収、散乱の影響¹¹⁾が考慮されておらず、これ等の補正が必要となる。

ラジウム小線源では H. F. Batho²⁾, 尾内⁹⁾等、セシウム小線源では Kaven E.⁸⁾, Horsler³⁾, 田崎¹⁰⁾等の検討し

Fig. 1 Diagram illustrating how the exposure may be calculated at point P near a linear source.

た方法もあるが、K. I. Ponnunni Kartha 等が点線源を用いて検討した AB factor を用いると下式に示すごとく水中での点 P の線量を ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{226}Ra 等について比較的簡単に求めることができる。

dx に対応する空気中での線量 dI_{air} とすれば、

$$dI_{\text{air}} = \Gamma \cdot \rho \cdot dx \cdot \frac{1}{(r_1 + r_2)^2} \cdot e^{-u_1 r_1} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ただし、

Γ : specific gamma-ray constant

ρ : linear density

u_1 : シールド物質の線吸収係数

r_1 : シールド物質を通過する距離

とする。

次に水中での点 P における線量を求めるため、Kartha 等が検討した AB factor を用いると、

$$dI_{\text{water}} = AB \cdot dI_{\text{air}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ただし、A: $e^{-u_2 r_2}$ (absorption factor)

B: ビルドアップファクタ

u_2 : 水の線吸収係数

r_2 : シールド物質表面から点 P までの距離

(1)式を(2)式に代入すると、

$$dI_{\text{water}} = AB \cdot \Gamma \cdot \rho \cdot dx \cdot \frac{1}{(r_1 + r_2)^2} \cdot e^{-u_1 r_1} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Kartha 等の点線源を用いた実験によると、

$$AB = \exp \{ [(0.73/E^{0.05}) - 1] u_2 r \} \quad \dots\dots\dots(4)$$

を用いると、 ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{226}Ra 線源について水中での線量測定値と計算値がよく一致している。そこで(4)式を(3)式に代入する。

$$dI_{\text{water}} = \exp \{ [(0.73/E^{0.05}) - 1] u_2 h \} \times \Gamma \cdot \rho \cdot dx \cdot \exp(-u_1 r_1) \quad \dots\dots\dots(5)$$

Fig. 1 より、

$$r_1 = d \sec \theta, \quad r_2 = (h-d) \sec \theta$$

であるので(5)式に代入する。

$$dI_{\text{water}} = \Gamma \rho dx \cdot \frac{1}{(r_1 + r_2)^2} \times \exp \{ (-u_1 d + [(0.73/E^{0.05}) - 1] (h-d) u_2) \sec \theta \}$$

となる。従って点 P での線量 I は、

$$I = \int dI_{\text{water}} = \frac{\Gamma \rho}{h} \int_{\theta_2}^{\theta_1} \exp(-u_1 d + [(0.73/E^{0.05}) - 1] (h-d) u_2) \times \sec \theta \cdot d\theta$$

上式において $z = \sec \theta$ とおくとそのまま sievert の積分が使用できる。つまり ud の代わりに

$$-u_1 d + [(0.73/E^{0.05}) - 1] (h-d) u_2$$

を用いればよいこととなる。

$$-t = -u_1 d + [(0.73/E^{0.05}) - 1] (h-d) u_2$$

とおくと、

$$\int_0^\theta e^{-t \sec \theta} \cdot d\theta = E(\theta)$$

$$E(\theta) = \sec^{-1} z - t \cdot I_0 + \frac{t^2}{2!} I_1 - \frac{t^3}{3!} I_2$$

$$+ \dots\dots\dots (-1)^n \frac{t^n}{n!} I_{n-1}$$

そこで、

$$I_0 = \ln \{ z + (z^2 - 1)^{1/2} \}$$

$$I_1 = (z^2 - 1)^{1/2}$$

$$\vdots$$

$$I_n = \frac{1}{n} \{ z^{n-1} (z^2 - 1)^{1/2} + (n-1) I_{n-2} \}$$

従って、

$$I = (E(\theta_1) - E(\theta_2)) \frac{\Gamma \cdot \rho}{h} \quad \dots\dots\dots(6)$$

として求めることができる。

3. 結果およびその比較

3.1 線量計算値の比較

Table 1 は Quimby のデータおよび内山等の計算結果と(6)式で求めた値 ($^{10}\text{mCi}^{226}\text{Ra}$, Filtration=1.0 mm Active Length=1.5 cm) とを比較したものである。誤差は10%以下であるが、線源との距離が大きくなるにつれて誤差が大きくなる傾向となった。

3.2 実測値との比較

Fig. 2 はラジウム針 3 mCi を水中で5分間照射し、線

密封小線源の簡単な線量計算 (高田)

Table 1 A comparison of dose rate calculation for 10 mg radium source by various investigators.

Distance from the source	Quimby	Uchiyama						Takada
		O-ON	O-AD	O-BA	H-ON	H-AD	H-BA	
0.50 (cm)	182.7	185.5	180.4	181.8	187.1	185.3	186.7	191.0
0.75	98.5	100.1	100.1	98.4	99.4	102.6	101.2	102.0
1.00	61.3	61.8	60.7	61.5	63.7	62.5	63.3	62.6
1.50	29.8	29.8	29.0	29.5	30.8	29.9	30.4	30.3
2.00	17.3	17.3	16.7	17.0	17.9	17.2	17.6	17.8
2.50	11.2	11.3	10.8	11.0	11.6	11.1	11.3	10.7
3.00	7.8	7.9	7.8	7.6	8.1	7.7	7.9	7.5
3.50	5.8	5.8	5.5	5.6	6.0	5.6	5.8	5.5
4.00	4.5	4.5	4.2	4.2	4.6	4.3	4.4	4.2
4.50	3.5	3.5	3.3	3.3	3.6	3.4	3.4	3.3
5.00	2.9	2.9	2.6	2.7	2.9	2.7	2.7	2.6

Fig. 2 Exposure rate (mrad/5 min) in water along transverse axis line derived from 3 mCi Radium source.

The lines represent the calculated values using equation 6 and dots the experimental values.

源からの距離をかえた場合の吸収線量を(6)式を用いて求めた値と実測値との比較をしたものである。測定は極光 TLD 1200, MSO 素子を使用し、素子はそれぞれラジウム針より 3 cm, 5 cm, 7 cm, 9 cm の距離の亚克力板に埋め込み Mix Dp ファントムでサンドイッチし 5 分間、くり返し 3 回測定しその平均値を求めた、また線源からの距離は亚克力樹脂の水に対する密度補正をおこなっ

た。計算値より求めた減弱曲線と測定値を比較するとその傾きについてはよく一致している。

3.3 線量率

Fig. 3 はそれぞれ active length 1 cm, 2 cm, 3 cm で ^{226}Ra , 0.5 mm Pt フィルタ, ^{60}Co , ^{137}Cs 0.5 mm ステンレスフィルタについて、線源からの距離に対する吸収線量を(6)式を用いて求めたものである。

Fig. 3-1

Fig. 3-2 Calculated dose rate (rad/mCi·hour) in water along transverse axis line derived from the various line source.

3.4 空中線量との比較

Fig. 4 はそれぞれの線源からの距離における、水中での吸収線量と空気中での ^{226}Ra 線源による線量との比を計算により求めたものである、つまりラジウム当量として空気中での線量値をそのまま治療に使用すると ^{137}Cs 線源の場合、5 cm の距離で約 8%，10 cm の距離で約 18 % ぐらいの誤差を生じた。

3.5 線量分布の比較

Fig. 5 は ^{137}Cs ラジウム当量 20 mg の線量分布を(6)式を用いて求め、Klevenhagen⁷⁾ がシリコン半導体検出器および小さな電離箱線量計を用いて求めた線量分布と比較したものである。

4. ま と め

密封小線源を使用して治療を行なう場合、治療用コンピュータがある施設は別としても、そうでない施設においては水中での線量および線量分布を計算することは大変手数のかかることであるが、前述(6)式を用いれば電卓

程度で比較的簡単にしかも ^{226}Ra 以外の線源についてもその目的を達することが出来る。ただし、ここでは小線源の軸方向における自己吸収、端部の形状による分布の変形、ラジウム線源であれば θ によって実効エネルギーが変化する (J. Young 他⁴⁾) 等を考慮していないので、さらに精度を必要とする場合は、これ等の補正についても検討していく必要がある。

文 献

- 1) 内山幸男, 高木一広, 植田俊男: 小型計算機によるラジウム線源の線量分布計算, 日放技術誌, 32, 368-374, (1976).
- 2) H. F. Batho and J. Young: Tissue absorption correction for linear radium sources. Brit. J. Radiol., 37, 689-692, (1964).
- 3) Horsler: Caesium 137 sources for use in intracavitary and interstitial radiotherapy. Brit. J. Radiol., 37, 385-390, (1964).

密封小線源の簡単な線量計算 (高田)

Fig. 4 The ratio between the exposure in water for equivalent radium source/ the exposure in air for radium source as a function of distance from the linear source.

- 4) J. Young and H. F. Batho: Dose table for linear radium sources calculated by an electronic computer. Brit. J. Radiol., 37, 433, 38-44, (1964).
- 5) Johns: The physics of Radiology.
- 6) K. I. Ponnunni Kartha, et al.: An experimental determination of the absorption and buildup factor in water for radium, cobalt 60, and caesium 137 gamma rays. Am. J. Rentgenol., 96, 66-69, (1966).
- 7) Klevenhagen: An experimental study of the dose

Fig. 5 Isodose distribution in rad/hour from a linear ^{137}Cs source containing 20 mg radium equivalent. Left-hand side, solid line graph is obtained by S. C. Klevenhagen. Right-hand side, dotted line graph showing the calculated dose distribution using equation 6.

distribution in water around ^{137}Cs tubes used in brachytherapy. Brit. J. Radiol., 46, 1073-1082, (1973).

- 8) Kaven, E. Breitman: Dose rate tables for clinical ^{137}Cs sources sheathed in platinum. Brit. J. Radiol., 47, 657-664, (1974).
- 9) 尾内能夫, 他: ラジウム治療における線量分布の計算, 日医放誌, 28, 1629-1635, (1969).
- 10) 田崎瑛生, 他: セシウム管の線量分布.
- 11) W. J. Meredith, et al.: The attenuation and scattering in a phantom of gamma-ray from some radionuclides used in mould and interstitial gamma-ray therapy.