



Title	容積線量の研究（第1報）Worthley & Wheatleyのs(x)と200kvX線照射の容積線量について
Author(s)	山下, 延男; 中道, 五郎
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1963, 23(9), p. 1053-1057
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17049
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

容積線量の研究
 (第1報) Worthley & Wheatley の $s(x)$ と
 200kv X線照射の容積線量について

東北大学医学部放射線教室 (主任 古賀良彦教授)

山下 延 男

仙台鉄道病院放射線科

中 道 五 郎

(昭和38年9月19日受付)

Studies on the Integral Dose
 (1st Report) Calculation of the Integral Dose of the Whole Body
 at 200 KV X-ray with Worthley & Wheatley's $S(x)$

By

Nobuo Yamashita

Department of Radiology, Faculty of Medicine

Tohoku University, Sendai

Goro Nakamichi

Department of Radiology, Sendai Railway Hospital

(Director: Prof. Y. Koga)

The precise determination of the integral dose of the whole body is very difficult.

However, Mayneord's Formula has been widely used as an approximate method as follows :

$$\Sigma = 1.44 \times D_s \times M \times d^{\frac{1}{2}} \left\{ 1 + 2.88 \left(\frac{d^{\frac{1}{2}}}{f} \right) + 4.16 \left(\frac{d^{\frac{1}{2}}}{f} \right)^2 \right\}$$

But in this method, the integral dose of the outside of the beam is neglected, therefore, if the integral dose of the whole body is calculated by this, it is always smaller than its true value.

The authors divided dose distribution into primary and scatter beam, and the integral dose of the whole body was summed by both beam. Scatter dose distribution was obtained by Worthley & wheatley's $S(x)$ and Johns' Scatter Function, but X was limited from 0 to at most 2.5. Integral dose of primary beam was obtained from equation (1) and that of scatter dose approximately from equation (2).

$$D^P = \pi \nu_0^2 \int e^{-\mu z + q} dz \dots \dots \dots (1)$$

$$D^S = 2\pi \nu_0^2 \Sigma \left(\frac{f+z}{f} \right)^2 \cdot X \cdot S_2 \cdot S(x) \Delta X \Delta Z \dots \dots \dots (2)$$

r_0 : Radius of field size
 μ : the linear absorption coefficient, from Johns' Data
 q : constant
 X : relative distance
 Z : depth
 S_Z : Johns' Scatter Function at Z
 f : F.S.D.

$S(x)$: Worthley & Wheatleys' Function

The integral dose of the whole body was calculated from the above mentioned data under the following condition: F.S.D. 50 cm, H.V.L. 1.5 mm Cu, the radius of field size from 1 to 4 cm and assuming body section to be ellipse of 20 cm 30 cm.

The values calculated by authors' method were about 10-35 per cent larger than the values by Mayneord's Formula.

内容目次

- I. 緒言
- II. 一次線と散乱線の線量分布
- III. 一次線による全身容積線量
- IV. 散乱線による全身容積線量
- V. Mayneord の式による計算値との比較
- VI. 結語
- VII. 文献

I 緒言

放射線治療の際に当面する患者の障害作用とかなりの相関関係を持つていると思われる容積線量の算出法について検討してみよう。

容積線量の概念は古く Ellis¹⁾, Haphey²⁾ 等により提唱された。Mayneord はその単位として gram-roentgen を創案し、又、容積線量の簡単な算出法を発表した。

1940年 Mayneord³⁾ が発表した算出法の次に示すような数式は、全身容積線量の計算に今日もなお、よく用いられている。

$$\Sigma = 1.44 \times D_s \times M \times d^{1/2} \times \left\{ 1 + 2.88 \left(\frac{d^{1/2}}{f} \right) + 4.16 \left(\frac{d^{1/2}}{f} \right)^2 \right\}$$

D_s : 表面線量 $d^{1/2}$: 線量が $1/2$ になる深さ
 M : 照射野の面積 f : F.S.D.

である。

この式を用いる場合は計算が簡単で容易に全身の容積線量を求める事が出来るので便利である。

しかし、この式では線錐外の散乱線は考慮され

ていない。射出線量が十分小さく、且つ散乱線の小さい低電圧X線について全身容積線量を計算する時は比較的良好にはまるが、日常深部治療に使用する高電圧X線に対しては Mayneord の式を用いて全身の容積線量を計算すると、真の値より小さい値しか得られないうらみがある。

そこで、X線深部治療としてよく用いられている所謂 200 KV X線について、線錐外の散乱線をも考慮した際の全容積線量を検討してみることにした。

著者の一人山下¹⁾ が日医放誌22巻第10号で既に紹介した論文即ち、Worthley & Wheatley が所謂 200 KV X線の散乱線の一般化した函数 $s(x)$ (Table I) を用いた次に計算して報告する。但し、函数 $s(x)$ については次の簡単に述べておく。

線量を一次線を散乱線の和と考え、一次線は任意の深さの病巣内平面で均一と考える。中心軸上の任意の点 c (Fig. 3) に於ける散乱線を 100% とすれば点 c を含む同一水平面の任意の点 p を相対距離 x で表わせば、点 p に於ける点 c に対する散乱線の百分率は $s(x)$ なる函数で示すことが出来る。

II 一次線と散乱線の線量分布

主線錐内には、一次線と散乱線が分布しているが、管球集点を点と仮定すれば、主線錐外の線量はすべて散乱線によるものと考えることが出来

る。

X線の中心軸上の線量率が半対数グラフ上で直線にならないのは主として散乱線の附加が加つているためである。一次線のみについて考えると、任意の点の深さXに於ける線量 D_z^P は次の(1)式で表わされる。

$$D_z^P = D_0^P \left(\frac{f}{f+z} \right)^2 e^{-\mu z} = \left(\frac{f}{f+z} \right)^2 e^{-\mu z + q} \dots\dots\dots (1)$$

(D_z^P : 一次線の線量 z : 深さ, μ : 線吸収係数 q : 定数, f : 焦点-皮膚間距離)

この際、余り大きくない照射野では線錐内同一水平面の一次線の線量は均一と考えて良い。

線錐内及び外部の散乱線については、Worthley & Wheatley の $s(x)$ に従つて分布するものとする。又中心軸の散乱線については、Johns の Scatter Function より求め、全身の散乱線については、これと $s(x)$ から計算して求めた。

III 一次線による全身容積線量

(1)式の両辺に幾何学的因子 $\left(\frac{f+z}{f} \right)^2$ を掛けると次に示す(2)式になる。

$$D_z^P \times \left(\frac{f+z}{f} \right)^2 = e^{-\mu z + q} \dots\dots\dots (2)$$

この(2)式の対数をとれば

$$\log D_z^P \times \left(\frac{f+z}{f} \right)^2 = -\mu z + q \dots\dots\dots (3)$$

(3)式の右辺はZに関する一次式である。

上の事から、Fig. 1 に示されるように幾何学的因子 $\left(\frac{f+z}{f} \right)^2$ で補正し、半対数グラフ上に縦軸

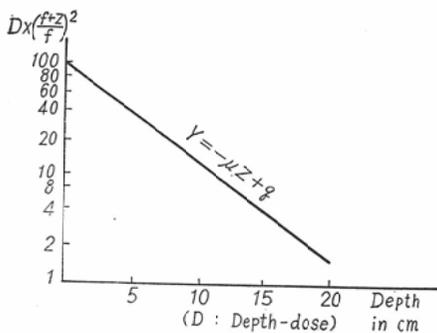


Fig. 1 Corrected Depth-dose Curve (By authors)

に深部率線量、横軸に深さZをとつて Plot すると、深部率線量は大体一つの直線上に分布していると考えてもよい。その直線の方程式を

$$Y = -\mu z + q \dots\dots\dots (4)$$

として、 μ, q を H.V.L 1.5mmCu, F.S.D 50cm の円形照射野の場合につき Johns の Data より計算した結果、 $\mu=0.170, q=4.61$ を得た。

故に、一次線に関する任意の深さXの深部率線量 D_z^P は次の式で示すことが出来る。

$$D_z^P = \left(\frac{50}{50+z} \right)^2 e^{-0.170z + 4.61} \dots\dots\dots (5)$$

人体を30cm×20cmの類楕円柱と考え、又人体の組織はX線に対して水と等価を見做し、F.S.D. 50cm, H.V.L 1.5mm, 200KVX線で、照射野が円形の場合について考えて見た。

Fig. 2 で示される深さZに於て、薄い円板 ΔZ の、一次線に関する容積線量 ΔI_z^P は

$$\Delta I_z^P = \pi \gamma_0^2 \times \left(\frac{f+z}{f} \right)^2 \times \left(\frac{f}{f+z} \right)^2 e^{-\mu z + q} \Delta Z = \pi \gamma_0^2 e^{-\mu z + q} \Delta Z \dots\dots\dots (6)$$

(但し γ_0 : 照射野半径)

従つて全身の一次線に関する容積線量 I^P は次の式で示すことが出来る。

$$I^P = \pi \gamma_0^2 \int_0^l e^{-\mu z + q} dz = \frac{\pi \gamma_0^2 e^q}{\mu} \times (1 - e^{-l\mu}) \dots\dots\dots (7)$$

(但し l は被射体の厚さ)

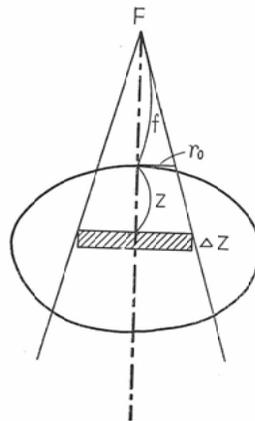


Fig. 2

F: F.S.D Z: Depth γ_0 : Radius of Field

仮定した類楕円の短径が中心軸と一致した場合について照射野の単位面積当りの一次線の容積線量を(7)式を用いて計算した結果、H.V.L. 1.5 mmCu, F.S.D.50cmの 200KVX線を空中で 100r 照射する時は 572g.m.r. である。

IV 散乱線による全身容積線量

Fig. 3 で示すような中心軸上の深さ Z なる点 c とし、c と同一水平面上で Worthley & Wheatley の言う相対距離 x(CP/CE)に於ける任意の点 p の微小区画 ΔX ΔZ を、中心軸を中心に廻転して出来る微小なる環状体の散乱線は均一で、点 c の散乱線を Sz とし、s(x) を用いれば、この微小立体の散乱線による容積線量 Δ_xI_z^S は次のように表わされる。

$$\Delta_x I_z^S = 2\pi \left(\frac{f+z}{f}\right)^2 \gamma_0^2 \cdot S_z \cdot X \cdot s(x) \Delta X \Delta Z \dots\dots\dots(8)$$

故に全体の散乱線量による容積線量 I^S は

$$I^S = 2\pi\gamma_0^2 \sum \sum \left(\frac{f+z}{f}\right)^2 X \cdot S_z \cdot \Delta X \Delta Z \dots\dots\dots(9)$$

となる。

S_Z は中心軸上の散乱線の線量を示すもので Johns の Scatter Function を用い、s(x) は Worthley & Wheatley の円形照射野の場合の Data にある相対距離 x = 2.5 までについて、相対距離を 0.1 間隔の小区画に、又 z については 1 cm 間隔の小区画に分けて出来た小区画内では、線量はその中心と同一と考え、(9)式を区分求積し

Table II

Radius of Field in cm	Total Integraldose by Scatterdose gm. r
1	1,730
2	12,100
3	32,800
4	64,500

(100 r in air)

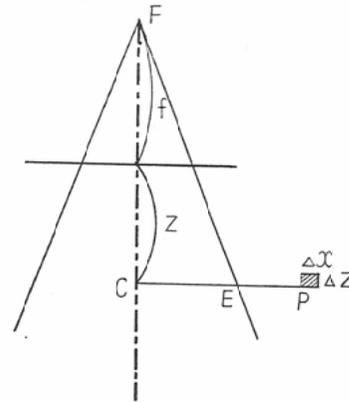


Fig. 3

CP/CE X (Relative Distance)

た結果を Table II に示す。

Table II は空中に 100r 照射したときの散乱線による全身容積線量を示したもので、これからわかるように、照射半径の増大につれてその全身

Table I Circular Fields Percentage Relative Scatter S (x) for all Depths along any Horizontal Radial Axis

Radius in cm	Relative distance x from center in terms of radius																					
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.5
	Inside the beam										Edge	Outside the beam										
1	100	99.5	99	97.5	95	92	87	84.5	80.5	76.5	71.5	67.5	64	60	57	53.5	50	47	45	42.5	40	30
1.5	100	99.5	99	97.5	95	92	87	83.5	79.5	74.5	69.5	64	59.5	54.5	51	47.5	43.5	40	37.5	34.5	31	21
2	100	99.5	99	97.5	95	92	87	82.5	78.5	71.5	66.0	60	54.5	49.5	45	41	38	35	32	29	26	16.5
2.5	100	99.5	99	97.5	95	92	87	82	77	70	63.0	56	50	45	40.5	37	33	29.5	26.5	23.5	21	12.5
3	100	99.5	99	97.5	95	92	86.5	81.5	76.5	68.5	60.5	54	47	42	37	33.5	29.5	26	23	20.5	18	10
4	100	99.5	99	97.5	95	91.5	86	81	74.5	66.5	56.0	49	41.5	36	30.5	27	23	20	17.5	15	12.5	6.3
5	100	99.5	99	97	94.5	90.5	85.5	80	73	64	52.0	44	38	31.5	26	22	17.5	15	13	10	8.5	3.5
6	100	99.5	98.5	96.5	94	90	85	79	71	62	50.0	41	34.5	27	21.5	17.5	14.5	11.5	9.4	7.8	6.3	2.2

After Worthley & Wheatley

容積線量は2乗比例に近い変化を示している。但し、照射野半径2cmの場合は、深さ0.5cmで $x=2.3$ まで、19.5cmで $x=1.7$ まで、半径3cmの場合は、深さ0.5cmで $x=1.6$ 、18.5cmで $x=2.0$ まで、そして半径4cmの場合は、深さ0.5cmで $x=1.2$ 、15cmで $x=1.9$ 、16.5cmで $x=2.1$ 、17.5cmで $x=1.8$ 、18.5cmで $x=1.4$ 、19.5cmで $x=0.8$ まで計算した。

V Mayneord の式による計算値との比較

著者等は、線量分布を一次線と散乱線とに分けて考え、全身容積線量を両者の計算値の和として求めた。著者等の値と Mayneord の式を用いた場合とについて、その比較を Table III に示した。

Table III Comparison between Mayneord's Formula and authors'

Radius of Field in cm	A Mayneord's Formula (gm r)	B Authors' (gm. r)	Ratio B/A
1	3,050	3,520	1.15
2	14,100	19,300	1.37
3	39,200	49,000	1.25
4	86,300	93,200	1.08

(100 r in Air)

Table III に明らかな如く Mayneord の式により求めた値よりも、著者等の計算は凡そ10~35%の増大を見た。これは Mayneord の式では主線錐外の散乱線が考慮されていない事によるものと思われる。両者の比率(B/A)を見ると、照射野半径2cm, 3cmでは、その比は大きい。1cmではやはり小さく、4cmでは逆に小さい。これは線錐外散乱線による容積線量が小さいからだと思われる。しかし、照射野半径が4cmの際小さいのは線錐内容積に比べて線錐外容積の割合が小さくなったのと、散乱線による容積線量を求める時、楕円であ

ることを考慮したため相対距離 x も2.5以下で計算した部分が多かったためと思われる。之に反し、Mayneord の式では、被照射体を著者等の如く有限大の楕円とせず、線錐の完全に含まれるような大きい被照射体を考慮しているため、照射野半径が増大するに従って著者等の計算値が Mayneord の式を用いた計算値に接近したものと解される。又著者等の計算では相対距離 x を2.5まで限定しているが、これより大きい部分をも無視しない場合の容積線量は更に大きい値が得られよう。

VI 結語

線錐外部の散乱線の線量は小さいけれど、それに含まれる容積が大きいので、容積線量を問題にする場合、これを無視すべきでないと思われる。

著者等は Worthley & Wheatley の $s(x)$ を用いて、200KV H.V.L. 1.5mmCu, の容積線量を計算した結果、Mayneord の式を用いて計算した場合に比べて、照射半径1cm~4cmの範囲で、約10~30%著者等の方が大きい値を得た。これは線錐外散乱線に関する容積線量による差と解される。

(本論文の要旨の一部は第20回日本放射線医学学会総会に発表した。)

References

- 1) Ellis, F.: Brit. J. Radiol. 1942, 15 (174-177).
- 2) Haphey, F.: Volume integration of dosage for X and Gamma Radiation, Nature 1940, 145 (668-669).
- 3) Mayneord, W.V.: Energy absorption Brit. J. Radiol. 1940, 13 (235-247).
- 4) Mayneord, W.V.: Energy absorption. III. The mathematical theory of integral dose and its application in practice Brit. J. Radiol. 1944, 17 (359).
- 5) Worthley, B.W. & Wheatley, B.M.: Brit. J. Radiol. 1952, 25 (491-501).
- 6) Johns, H.E.: The Physics of Radiology Table B-8, Table B-21
- 7) 山下延男: 病巣内線量分布の均等性の研究(第2報)所謂200KV, X線治療について, 日医放誌, 第22巻, 第10号, 93~98.