

Title	写真法による肺の平均密度の推定と4.3MV X線および ^{60}Co γ 線による中胸部食道の回転照射の組織補正係数
Author(s)	尾内, 能夫; 都丸, 禎三; 入船, 寅二 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1970, 29(11), p. 1397-1404
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18190
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

写真法による肺の平均密度の推定と4.3MV X線および⁶⁰Co γ 線による中胸部食道の回転照射の組織補正係数

癌研究会癌研究所第6研究室(物理)

尾内 能夫, 都丸 禎三, 入船 寅二, 内田 勲

(昭和44年6月6日受付)

Estimation of Average Density of Lung by a Radiographic Transit Dose Method and Correction Factors for a Lesion in the Midthoracic Oesophagus treated with Rotation of 4.3 MV X-Rays and Cobalt-60 γ -Rays

by

Yoshio Onai, Teizo Tomaru, Toraji Irifune and Isao Uchida

Department of Physics, Cancer Institute, Tokyo

It was reported in a previous paper that when the density and thickness of lung in the pass of the beam are determined, radiation dosage can readily be calculated at any point in the thoracic section by the use of a computer. The density of the lung may be estimated by dividing the difference between the water equivalent thickness of the body and the thickness of water equivalent material in the body traversed by the beam by the thickness of lung tissue traversed, if a position of the beam is selected in such a way that no bone is irradiated. From transverse tomographs and transit dose measurements, it is possible to determine the thickness of the lung and the water equivalent material, and the water equivalent thickness of body to be traversed by each pencil of the beam considered.

In the first part of this paper, a radiographic transit dose method for determining the equivalent thickness of body with the use of 4.3 MV X-rays is described and some attempt is made to estimate the errors involved when the method is used. In the second part, the method applied to some patients and the densities of the lung estimated for individual patients are described. Further, using the density of lung, correction factors for a lesion in the midthoracic oesophagus treated with full rotation of 4.3 MV X-rays and ⁶⁰Co γ -rays were calculated by the use of a computer.

Transverse tomographs were taken by the apparatus manufactured by the Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd.

The results obtained are as follows:

1. The error of the water equivalent thickness of body obtained by this method is not greater than 1 g/cm².
2. This method gives 0.27 ± 0.07 g/cm³ for the mean density of healthy lungs for 11 patients (Fig. 8).
3. For a lesion in the midthoracic oesophagus treated with full rotation of 4.3 MV X-rays, correction factors for 47 patients range from 1.09 to 1.19 and the mean value is 1.14 ± 0.02 (Fig. 10).
4. For ⁶⁰Co γ -rays, the correction factors range from 1.11 to 1.22 and the mean value is 1.16 ± 0.03

(Fig. 10).

In clinical practice, a correction factor of 1.15 may be used for both 4.3 MV X-rays and ^{60}Co γ -rays.

I. 緒 言

前報¹⁰⁾において胸部回転照射の線量分布を解析し、食道部照射では均質 phantom の分布を不均質 phantom に対しても適用できることから、回転中心の絶対線量を計算すればよいことを報告した。又、不均質部照射の絶対線量の計算はその部位の組織構成と肺の密度が判れば可能であり、その計算法についても既に発表した⁹⁾。

本報では胸部の組織構成と肺の密度の決定に回転横断写真と写真法による透過線量法を利用する方法を述べる。更に、この方法を多数例の患者に応用し、胸部の構成と肺の密度を決めて、4.3MV X線および ^{60}Co γ 線による中胸部食道の360度回転照射における組織補正係数を電子計算機で計算し、画一的な補正係数を使用することの可否を検討した。

II. 胸部 phantom による組織構成と肺の密度の決定に関する基礎研究

1. 水等価厚の決定法

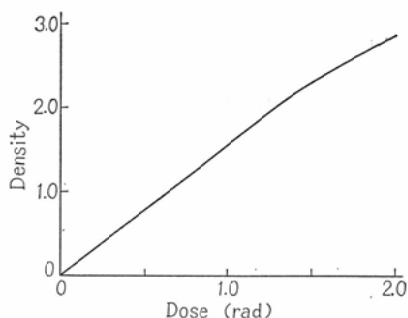
透過線量より人体の水等価厚を求めて胸部線量の補正をする方法²³⁾⁸⁾があるが、この水等価厚を4.3MV X線により radiograph を撮影して、その film の黒化度から求める方法を研究した。ここでいう水等価厚とは人体の厚さを g/cm^2 単位で表わしたもので、高エネルギー X線では1次線の透過率が被検体と水等価物質で等しいとき、被検体の厚さを水等価物質の厚さで表わしたものがその被検体の水等価厚となる。

(i) 撮影の幾何学的条件

被検体および厚さの判っている銅の「階段」を同時に撮影して、被検体の部分の黒化度と等しい黒化度を示す階段の厚さから被検体の水等価厚を求めるが、その際撮影の幾何学的条件が変れば、散乱線の寄与が変るから得られる透過線量も変化して水等価厚に誤差を生ずる。その変化の程度を電離箱(Baldwin-Ionex, chamber 6 mm ϕ × 6mm)および film を用いて検討し、撮影の幾何学的条件を決めた。用いた film はさくら工業用 film,

Type RR (film の前面および後面に鉛 0.3mmを増感箱として使用)で、その黒化度-線量曲線を Fig. 1 に示す。

Fig. 1. Density-dose curve of Sakura Industrial Type RR Film with 4.3 MV X-rays



(a) 照射野

電離箱を用いて、MixDp による4.3MV X線の減弱曲線を測定した。線源と MixDp の下面との距離、1 m線源-電離箱間距離106.5cmである。照射野が焦点から1 mにおいて15×15cmから20×20cmの範囲では厚さ20g/cm²のところ、等しい透過線量になる厚さは1 g/cm²の相違である。20×20cmから25×30cmではそれが1.5g/cm²となる。

しかし、MixDp と銅の階段を密着し、各下面を同一面上において、等しい透過線量となる階段の厚さと MixDp の厚さ(この MixDp の厚さを階段の見掛上の水等価厚とよぶ)との関係を種々の実効照射野(線束内に入った MixDp の大きさ)について電離箱で測定すると、Fig. 2 に示すように照射野20×20cmから25×25cmの範囲で、階段の見掛上の水等価厚は20g/cm²の厚さのところでは1 g/cm²、15g/cm²の厚さでは0.5g/cm²程度の相違となる。

(b) 階段の位置

Fig. 3の挿入図に film と階段等の幾何学的条件を示す。この実験では鉛の階段を用いた。階段を film 面においた場合には Fig. 3の破線で示したように、被検体と film との距離(y)が変

Fig. 2. Apparent water equivalent thickness of Cu-stepped wedge obtained with an ionization chamber, the apparent water equivalent thickness being the thickness of water equivalent material which transmits the same proportion of the beam as the Cu-stepped wedge.

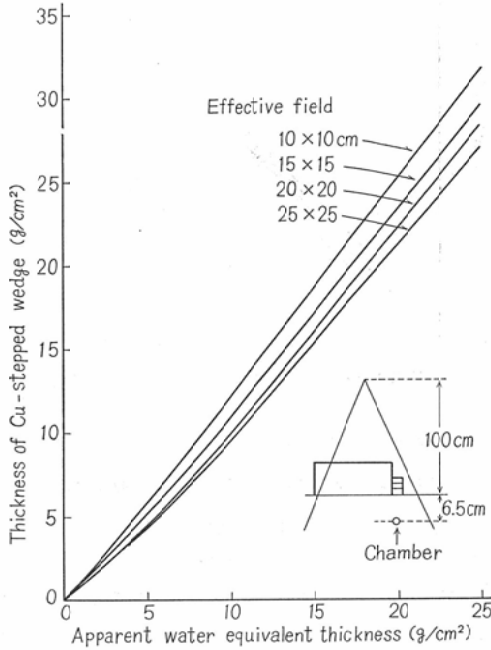


Fig. 3. Variation of the thickness of Pb-stepped wedge which transmits the same proportion of the beam as the water equivalent material with distance from exit point to the film for two arrangements as shown in the insert of the graph.

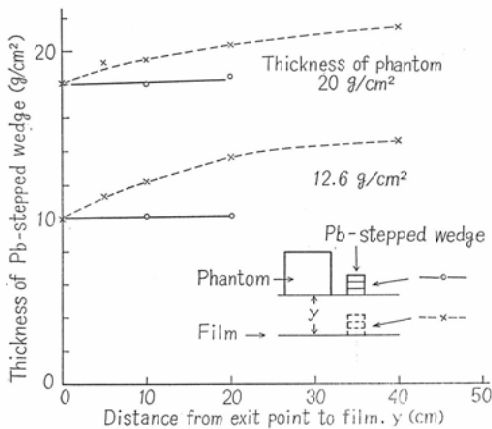
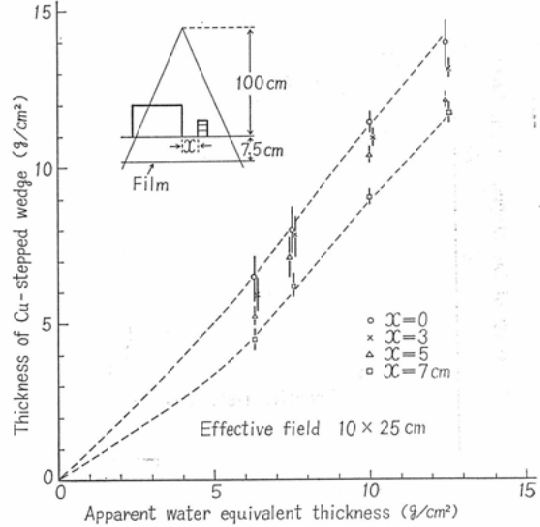


Fig. 4. Apparent water equivalent thickness of Cu-stepped wedge obtained with a film for an effective field size of 10x25 cm, the effective field size being the size of the water equivalent material included in the beam.



ると被検体と同じ黒化度を示す階段の厚さが著しく変化するが、階段を被検体と同じ位置におくと実線で示したようにその変化が小さい。両者を同一面上においた方が被検体からの散乱線の影響が見掛上少なくなることを示しているものと考えられる。

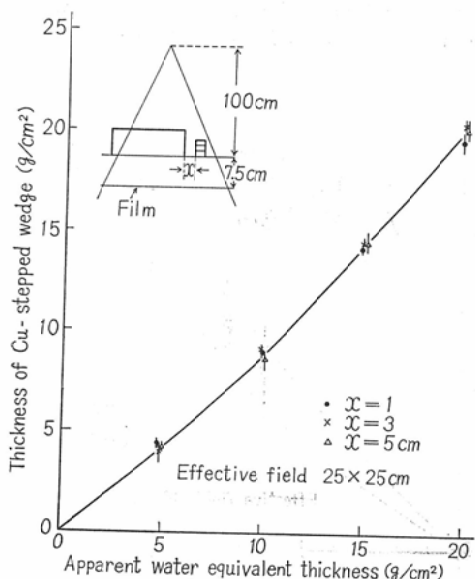
(c) 階段と被検体の間隔

実照射野が焦点から 1 m において、10x25 cm で、他の幾何学的条件が Fig. 4 の挿入図に示す条件であるとき、被検体と階段との距離 (x) を変えて階段の見掛上の水等価厚を求めると、Fig. 4 のように x の大きさによってそれが変化する。x が 3 cm を越すと密着した場合との相違が 2 g/cm² 以上となる。

実照射野を 25x25 cm とすると、Fig. 5 に示すように x が 1 cm から 5 cm まで変化しても見掛上の水等価厚は殆んど変化しない。

階段の物質としてアクリル、アルミニウム、銅および鉛について実験したが、どの物質でも同じ程度の誤差で水等価厚を求めることができる。しかし、アクリルでは厚い階段が必要であり、階段

Fig. 5. Apparent water equivalent thickness of Cu-stepped wedge obtained with a film for an effective field size of 25×25cm.



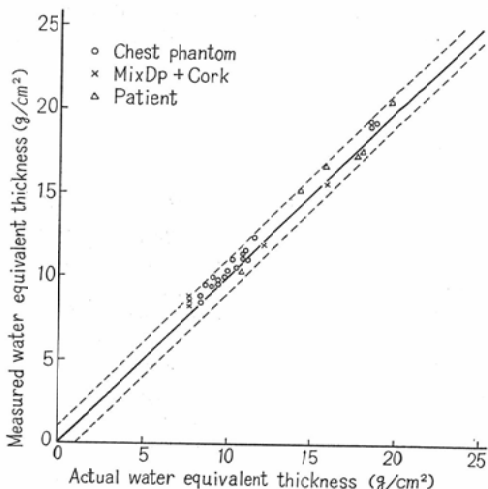
の中も大きくないと実用にならない。鉛では変形の恐れがある。

以上の結果から、銅の階段を使用し、撮影の幾何学的条件は、被検体と階段の下面を同一面上にし、被検体と階段の距離は照射野を示すランプにより両者の影が密着する程度とする。そのときの両者の間隔は1～2cmである。被検体の下面と焦点間距離1m、そこでの実照射野を約25×25cmとする。被検体下面とfilmの距離は7.5cmである。この条件のときの銅の階段の厚さを水等価厚に換算する較正曲線はFig. 5の実線を使用する。

(ii) 推定値と実際値との比較

均一の厚さをもつ MixDp と cork の層からなるものおよび筋肉部を MixDp、肺部を密度0.21 g/cm³ の cork とした胸部 phantom¹⁰⁾ を用いて、上記の条件で水等価厚を求めると、Fig. 6に示すように実際の水等価厚との相違は±1 g/cm² 以内である。又、患者について電離箱により細かい線束で得られた透過線量から水等価厚を求めた値とこの方法による値とも±1 g/cm² 以内の相違であった。Fig. 6の三角の印がそれである。

Fig. 6. Comparison of the actual water equivalent thickness and the water equivalent thickness obtained by the radiographic transit dose method.

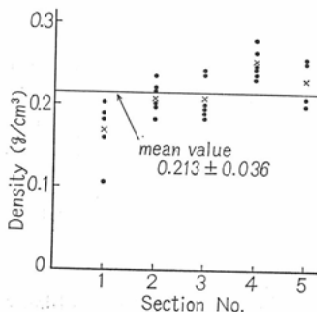


2. 胸部構成の決定法

東芝製回転横断撮影装置による回転横断像より求める。前記の胸部 phantom を用いてこの方法により求めた cork の厚さと実際の cork の厚さとの相違は、肺の厚さが著しく変化する部位の横断面では肺の厚さの決定に問題があるが、その他では大部分の部位が1cm以内であった。

3. cork の密度の推定値と実際値との比較

Fig. 7. Measured densities of cork in the chest phantom consisting of cork with density of 0.21g/cm³ and MixDp of density 1.0 g/cm³ by the technique of measuring the transit dose with radiography and estimating the lung section by the transverse tomography.



実際の phantom の厚さ T , 水等価厚 T_e , 肺の厚さを l とすると, 肺の密度 ρ は

$$\rho = 1 - (T - T_e) / l$$

で与えられる. T は実際に測ることができるし, T_e は透過線量から, l は回転横断像から求まるから ρ を決めることができる.

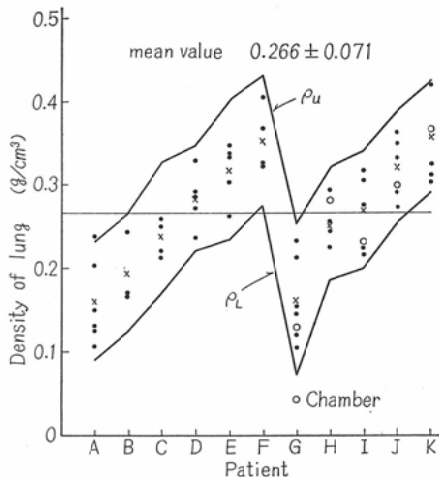
前記の胸部 phantom について, 上述の方法により求めた cork の密度は Fig. 7 に示すごとく横断面により多少異なるが, それらの平均値は 0.213g/cm^3 (標準偏差 0.036) で実際の cork の密度 0.21 に近い.

III. 患者の肺の平均密度と中胸部食道に対する組織補正係数

1. 肺の平均密度

この方法を用いて11例の患者の健康な肺の平均密度を求めた結果を Fig. 8 に示す. 実線はこの

Fig. 8. Densities of the lung of 11 patients measured by the present technique.



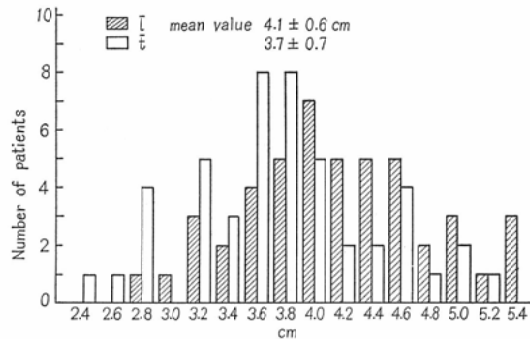
方法により水等価厚を $\pm 1\text{ cm}$ だけ誤つたとした場合の密度で, これらの値はこの方法により得られる密度の理論的上限 (ρ_u) と下限 (ρ_L) に相当するが, 実測値もこの範囲内に入っている. \times 印はその患者について測定した6点の平均値であり, 5例についての丸印は電離箱により細い線束で透過線量を測つて得た値である.

この11例の患者の平均の肺の密度は 0.27 で, 標準偏差は 0.07 である.

2. 組織補正係数

この方法により得られた胸部の構成と肺の密度から中胸部食道の回転照射について, 4.3 MV X 線では前報⁹⁾に報告した計算式を, ^{60}Co γ 線では Batho¹⁾の方法を用いて電子計算機で補正係数を計算した. 計算した患者数は47例で, その患者について30度間隔で360度即ち12方向からその食道に至るまで線束がよぎる肺の厚さの平均値 (\bar{l}) および肺を通過してからの軟組織の厚さの平均値 (\bar{t}) のヒストグラムを Fig. 9 に示す.

Fig. 9. Histogram of mean distances (\bar{t}) beyond lung and mean thicknesses (\bar{l}) of lung traversed by the beam with full rotation in midthoracic oesophagus for 47 patients.



回転照射の線量計算は固定多門照射として行なうが, 前記11例の患者についてその角度間隔を5度と30度で計算したところ, 結果の相違は1%以下であつたので (Table 2), それ以外の例については30度間隔の多門照射として計算した. 照射野は $5 \times 5\text{ cm}$ である.

(i) 肺の密度の相違による補正係数の変化

肺の密度を求めた前記11例の個々の患者について, その平均の密度 (ρ_{av}), および密度の上限 (ρ_u) と下限 (ρ_L) を用いて補正係数を計算し, それらと密度を 0.27g/cm^3 としたときの補正係数との相違を求めると, Table 1 に示したように平均の密度をとつた場合には2%以下, 上限あるいは下限をとつた場合では3%以下の相違である.

又, 患者47例について密度を 0.27g/cm^3 とした場合と $\pm 0.1\text{g/cm}^3$ だけ密度が異なつた場合とを比較してもその相違は3%以下であつた.

Table 1. Estimated average (ρ_{av}), upper (ρ_u), and lower (ρ_L) values of density of the lung for individual patients and correction factors (CF) calculated using the densities ρ_{av} , ρ_u , ρ_L , and 0.27 for a lesion in midthoracic oesophagus treated with full rotation of 4.3 MV X-rays.

Patient	Density			CF(ρ)			CF(ρ)/CF(0.27)			
	ρ_{av}	ρ_L	ρ_u	$\rho=0.27$	ρ_{av}	ρ_L	ρ_u	ρ_{av}	ρ_L	ρ_u
A	0.16	0.09	0.23	1.14	1.17	1.18	1.15	1.02	1.03	1.01
B	0.20	0.12	0.27	1.16	1.18	1.20	1.16	1.02	1.03	1.00
C	0.24	0.17	0.33	1.14	1.14	1.16	1.13	1.01	1.02	0.99
D	0.28	0.22	0.35	1.15	1.15	1.16	1.14	1.00	1.01	0.99
E	0.32	0.23	0.40	1.12	1.11	1.12	1.10	0.99	1.01	0.98
F	0.36	0.28	0.43	1.10	1.09	1.10	1.08	0.99	1.00	0.98
G	0.16	0.07	0.25	1.13	1.15	1.16	1.13	1.02	1.03	1.00
H	0.25	0.19	0.32	1.16	1.16	1.18	1.15	1.00	1.02	0.99
I	0.27	0.20	0.34	1.13	1.13	1.15	1.12	1.00	1.01	0.99
J	0.32	0.26	0.39	1.14	1.12	1.13	1.11	0.99	1.00	0.98
K	0.36	0.29	0.43	1.16	1.14	1.15	1.12	0.98	1.00	0.97

以上の結果は 4.3 MV X 線について計算したものであるが、 ^{60}Co γ 線についても同様のことがいえる。

(ii) 密度を 0.27g/cm^3 としたときの補正係数

(a) 4.3MV X線

患者47例について肺の密度を 0.27g/cm^3 とし、肺の大きさは横断像から得た値を用いて補正係数を計算すると、Fig. 10に示したように1.09から1.19の間にあつて、その平均値は1.14で、標準偏差は0.02である。

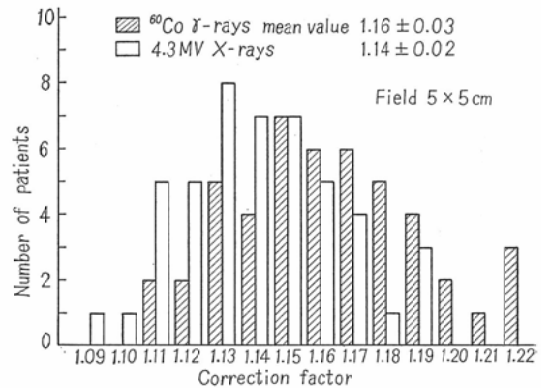
(b) ^{60}Co γ 線

4.3MV X 線について計算した患者と同じ患者について計算した結果を Fig. 10に柱状グラフ(斜線)で示した。補正係数の範囲は1.11から1.22で4.3MV X 線の場合より僅か大きい方に移動している。その平均値は 1.16 ± 0.03 である。

(iii) 平均の肺の厚さから計算する方法の検討。

以上の計算は回転照射を固定多門照射として計算する際、各方向について不均質部の補正を行なつて線量を求め、水だけとして計算した値との比を補正係数としたが、これと肺の厚さおよび肺通過後の厚さの平均をとつて、それらから補正係数を計算した場合とどれだけ異なるかを、前記11例の患者について求めた。但し、肺の密度は 0.27

Fig. 10. Histogram of correction factors for a lesion in midthoracic oesophagus for 47 patients treated with full rotation of 4.3 MV X-rays and ^{60}Co γ -rays.



g/cm^3 とした。計算は5度間隔および30度間隔について行なつた。4.3MV X線についての結果を2に示す。

5度間隔と30度間隔とで平均の肺の厚さおよび肺通過後の軟組織の厚さの相違はそれぞれ最大2mmおよび6mmであるが、平均の厚さから求めた補正係数と各方向について補正をして求めた補正係数との相違は5度間隔でも30度間隔でも1%以下である。

従つて、各患者について照射面における回転横断写真を撮影し、それより計算点までに線束が通

Table 2. Mean distances (\bar{l}) beyond lung and mean thicknesses (\bar{l}) of lung traversed by the beam with full rotation in midthoracic oesophagus and correction factors calculated from \bar{l} and \bar{l} , and from t_i and l_i , for 4.3 MV X-rays, where $\bar{l}=(\Sigma t_i)/n$ and $\bar{l}=(\Sigma l_i)/n$.

Patient	Mean thickness (\bar{l}) of lung, cm		Mean distance (\bar{l}) beyond lung, cm		Correction factor calculated from				Ratio	
	interval		interval		\bar{l} and \bar{l}		l_i and t_i		\bar{CF}/CF (5°)	
	5°	30°	5°	30°	$\bar{CF}(5^\circ)$	$\bar{CF}(30^\circ)$	$CF(5^\circ)$	$CF(30^\circ)$	$\bar{CF}(5^\circ)$	$\bar{CF}(30^\circ)$
A	3.9	4.0	4.6	4.6	1.14	1.14	1.14	1.14	0.99 _s	1.00 _s
B	4.4	4.5	4.0	3.7	1.15	1.16	1.16	1.16	0.99 _s	1.00 _e
C	3.9	4.0	4.1	4.1	1.13	1.14	1.14	1.14	0.99 _s	1.00 ₁
D	4.3	4.3	5.5	5.0	1.16	1.16	1.15	1.15	1.00 ₄	1.00 ₂
E	3.8	3.7	3.0	2.8	1.12	1.12	1.12	1.12	1.00 ₆	0.99 _s
F	2.8	2.9	5.2	5.1	1.10	1.10	1.10	1.10	1.00 ₆	1.00 ₆
G	3.9	3.9	3.5	3.7	1.13	1.13	1.13	1.13	1.00 ₆	1.00 ₁
H	4.6	4.6	4.2	3.6	1.16	1.16	1.16	1.16	1.00 _s	1.00 ₆
I	3.9	3.9	4.2	4.3	1.13	1.13	1.13	1.13	1.00 ₂	1.00 ₂
J	4.0	3.8	3.4	3.2	1.13	1.13	1.14	1.13	0.99 _s	0.99 ₁
K	4.6	4.6	4.0	4.1	1.16	1.16	1.16	1.16	1.00 _s	1.00 ₄

Field 5×5 cm, density of lung 0.27 g/cm³

過する肺の厚さおよび肺通過後の軟組織の厚さを30度間隔で求め、それらの平均値から前報⁹⁾のTable 1を用いることによつて、どの部位の補正係数も容易にしかも臨床的に十分な精度で求めることができる。前報のTable 1は4.3 MV X線に対する補正係数であるが、⁶⁰Co γ 線に適用しても2%以下の相違である。

IV. 考 察

4.3 MV X線による radiograph から不均質部の水等価厚を求める方法を述べたが、この方法は体表にフューズをおくことによつて測定位置を確認できるから、電離箱による方法のように位置の相違による誤差は少ない。しかし、散乱線を含んで透過線量を測定しているから、撮影の幾何学的条件を一定にしないと誤差が大きくなる危険がある。これをできるだけ一定にすれば、散乱線の少ない高エネルギーX線では水等価厚で ± 1 g/cm²以下の誤差で測定できる。

誤差の原因となる因子で最も大きいのは照射野内の線量分布の平坦度である。平坦度が悪い場合には水等価厚で2 g/cm²以上になる場合があるから、必ず撮影の前後に平坦度をしらべる必要がある。平坦度が改善されない場合には、透過線量を

測定する肺、肺のない筋肉部および階段の位置について予め平坦度を測定しておいてその補正をするとよい。肺のない筋肉部について測定した水等価厚が体の実際の厚さと著しく異なる場合には撮影の幾何学的条件あるいは平坦度にその原因がある。

この方法により得られた11例の健康な肺の平均密度は 0.27 ± 0.07 g/cm³で、この値はO'Connor⁹⁾による0.3~0.4より小さいが、Fowlerら⁴⁾による 0.26 ± 0.03 およびICRP⁵⁾による0.23と0.26に近い。測定された密度の範囲は0.16から0.36で、ICRU報告⁶⁾に記されている0.25~0.4より、又Fowlerらの0.21~0.32よりも大きいと比較的よく一致している。高エネルギーX線では密度が0.1 g/cm³程度相違しても、組織補正係数に殆んど差がないから、この方法による肺の密度の算定法は線量計算の目的に対しては十分な精度であり、又、すべての患者について健康な肺の密度を0.27 g/cm³として線量計算を行なつても臨床的には問題はないであろう。

中胸部食道の回転照射では、回転中心にいたる間に線束が通過した肺の厚さの平均値は4.1 \pm 0.6 cm、4.3 MV X線に対する組織補正係数は

1.14±0.02となつたが、この値は Manchester⁶⁾ で採用している4～8 cmの肺を通過した場合の補正係数1.15とよく一致している。⁶⁰Co γ線に対しては1.16±0.03で Manchester で採用している1.20より小さいが、Jacobsonら⁷⁾が採用している1.15に近い。従つて4.3MV X線および⁶⁰Co γ線に対して1.15という補正係数を中胸部食道の全回転照射に適用しても線量の誤差は5%以下であろう。

この値は照射野5×5 cmの場合であるが、同じ患者について照射野10×10 cmおよび20×20 cmについて計算したところ、4.3 MV X線の補正係数はそれぞれ1.12±0.02および1.10±0.02であつた。従つて、すべての照射野に対して1.15を適用してもその誤差は5%以上にはならないであろう。

V. 総括

4.3MV X線による radiograph から不均質部の水等価厚を求める方法について述べ、この方法による水等価厚と回転横断像より得られる胸部の構成とから肺の平均密度を決定し、中胸部食道の回転照射に対する組織補正係数を求めた。

(1) この方法による水等価厚の測定誤差は±1 g/cm² 以下である。

(2) 11例についての平均の肺の密度は0.27±0.07g/cm³ である。

(3) 4.3 MV X線および⁶⁰Co γ線による中胸部食道の全回転照射に対する組織補正係数は、照射野5×5 cmのとき47例の平均が、それぞれ1.14±0.02および1.16±0.03である。

臨床的には両者のすべての照射野に対して1.15を組織補正係数として採用しても問題はない。

(4) 肺の密度を0.27g/cm³ として線量計算しても、健康な肺については密度の相違は±0.1 g/cm³ 以下で、線量の変化は3%以内であるから、

他の部位の食道についても回転横断像より胸部の構成を知るだけで容易に線量計算ができる。

この研究は厚生省がん研究助成金によつて行なわれた。又、患者の横断撮影に際しては放射線科副部長金田浩一博士ならびに放射線治療部技師のご協力を得た。ここに感謝の意を表す。

尚、本論文のうち、透過線量法については第24回(1965. 4)、組織補正係数については第28回日本医学放射線学会総会(1969. 4)において発表した。

文 献

- 1) Batho, H.F.: Lung corrections in cobalt 60 beam therapy. J. Can. Assoc. Radiol. 15 (1964), 79—83.
- 2) 柄川, 梅垣, 尾内, 松本, 松川, 吉田: コバルト60回転照射時の透過線量より求めた組織補正値, 日本医放会誌, 26 (1967), 1568—1573.
- 3) Fedoruk, S.O. and Johns, H.E.: Transmission dose measurement for cobalt 60 radiation with special reference to rotation therapy. Brit. J. Radiol. 30 (1957), 190—195.
- 4) Fowler, J.F. and Young, A.E.: The average density of healthy lung. Amer. J. Roentgenol. 81 (1959), 312—315.
- 5) ICRP. Report of the lung dynamics task group to committee 2, 1965, p. 87.
- 6) ICRU. Report 10d (1962), Clinical dosimetry, NBS Handbook 87 (1963), p. 24.
- 7) Jacobson, L.F. and Knauer, I.S.: Correction factors for tumor dose in the chest cavity due to diminished absorption and scatter in lung tissue. Radiology 67(1956), 863—876.
- 8) O'Connor, J.E.: A transit dose technique for the determination of doses in inhomogeneous bodies Brit. J. Radiol. 29(1956), 663—667.
- 9) 尾内, 都丸, 入船: 最小の実測値を用いて等線量曲線を作成する方法に関する考察, 第3報, 4.3MV X線による胸部照射の線量分布, 日本医放会誌, 27 (1968), 1480—1493.
- 10) 尾内, 都丸, 入船: 電子計算機による4.3MV X線の胸部回転照射の線量分布の解析, 日本医放会誌, 29 (1970), 1269—1276.