

コバルト-60 固定照射用アルミニウム 製 wedge filter の設計に関する一考察

京都府立医科大学放射線医学教室（主任：金田弘教授）

浦野 宗保, 山田 親久, 吉川 純弘

（昭和40年10月27日受付）

The Design of Aluminium Wedge Filter for Use on Cobalt-60 Teletherapy

Muneyasu Urano, Chikahisa Yamada and Sumihiro Kickawa

Department of Radiology, Kyoto Prefectural University of Medicine

(Director: Prof. Dr. med. Hiromu Kaneda)

Wedge filter technique is used to irradiate malignant tumor tissue with tumor lethal doses homogeneously. Since it was reported by Ellis and Miller (1944), this method has been used in many clinics not only for x-ray therapy, but also for cobalt-60 and high energy therapies.

In this paper the design of the wedge filter made of aluminium for cobalt-60 teletherapy was investigated. The ratio of the sloping section to the total length of the wedge filter was investigated. Van Roosenbeek and Grimm's method for calculation of the thickness of the wedge filter was simplified. A correlation curve between the wedge angle and the thickness of the wedge filter was demonstrated to make the wedge filter design much simpler.

As a result of these investigations good wedge filters which showed linear bottom of isodose curves without the unnecessary loss of energy and with desired angles could be made of aluminium.

いうまでもなく、悪性腫瘍の放射線治療を行うにあたっては、腫瘍組織に十分かつ均等な腫瘍致死線量を照射するとともに、周囲の健康組織を放射線による障害から最大限に保護することが重要である。wedge filter もかゝる目的を遂行する一手段として開発されてきた。特に喉頭癌、上顎癌等に対しては、wedge filter を用いて直角に相対する二方向から照射することにより、好適な線量分布を得ることができる。1944年 Ellis and Miller³⁾ がレ線治療における wedge filter の効果について報告して以来、現在ではレ線治療のみでなく コバルト-60¹⁾²⁾⁷⁾¹⁷⁾ さらに超高压治療用の wedge filter⁸⁾¹⁶⁾¹⁹⁾ も種々設計され、固定照射のほか廻転照射¹²⁾¹⁵⁾にも用いられるとともに、さら

に compensator⁵⁾⁶⁾¹¹⁾¹⁸⁾ の考えと発展してきている。

さて、われわれの教室では、コバルト-60治療装置に取りつける wedge filter を設計するにあたって、その材質に何をを用うべきかを検討した。現在レ線治療用には銅が好んで使用される一方、コバルト-60治療用としては鉛が広く使用されている。これは鉛の原子番号が大きく、比重が高く、したがって出来上りが小さくてすむ点と、工作が容易である点に着眼したものであることはいうまでもない。しかし鉛は散乱線が非常に多いこと、取り扱い上の不手際でこわれやすいという大きな欠点をもっている。散乱線の点から考えると、コバルト-60のγ線にはカドミウム、錫等の

原子番号中位のものがよいとされるが、いずれも高価にすぎる。そこでわれわれは、最近 Ellis et al (1959)⁵⁾, Hall (1961)¹¹⁾がコバルト-60の compensatorに、また Goodwin and Adair (1964)⁹⁾がレ線の、Francoir (1956)⁸⁾が超高压用の wedge filter にアルミニウムを使用していることに着眼した。アルミニウムはカドミウム等の原子番号が中位の物質に比較すると散乱線はやゝ多いが、工作は容易である。しかし比重が低いために、容積が大きいものになることはやむをえない。

われわれはアルミニウムを使用し、照射野 8×8 cm用で、種々の wedge filter を試作し実験した結果、コバルト-60固定照射用の wedge filter としてはアルミニウムは充分に用い得るものであることを知ることができた。

設計上の問題

wedge filter を設計するにあつて、この使用目的は、原則的には直角に相対する二方向より腫瘍組織を均等に照射することにあるから、open field の照射野により得られる等線量曲線の底辺の如く、ごくわずかなあつても、下にむかつて凸の曲線を示すことは望ましくない。換言すれば wedge filter により作られる等線量曲線の底辺が直線となり、かつ、その直線をなした底辺が照射野の中心軸と交わる点において、中心軸に立てた垂線となす角度、いわゆる wedge angle が45度をなし、両者の等線量曲線が交叉することなく、互いに平行していることが望ましい。

つぎに wedge filter そのものの吸収により失われる線量を最小限にとゞめねばならない。

等線量曲線の交叉をさけるため Kemp and Oliver (1952)¹⁴⁾は、側面から見れば直角三角形をなした、いわゆる“harmonic type”の wedge filter の上に、薄い金属板を丘状に積み重ね、中心部の線量を減らすことにより、等線量曲線の底辺を直線とする方法を発表しているが、これによるとわずかなではあるが線量の損失は避けられない。

Ellis (1950)⁴⁾, Hulbert and Groom (1950)¹³⁾は wedge filter の一端を空白とし、他端を平

面とした“plateau type”の wedge filter を使用し、上記の2つの問題を一挙に解決している。即ち図1の如く、wedge filter の薄い部分のさきに空白部(B)を作り、傾斜部(S)の反対側の厚い部分に平面(P)を作ることにより、wedge filter による無駄な線量の損失をなくすと同時に、測定された等線量曲線の底辺を直線になしえている。

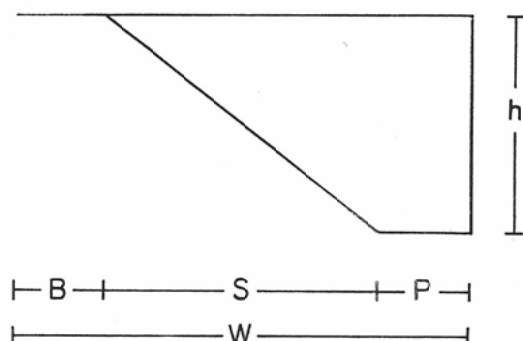


Figure 1. schematic lateral view of “plateau type” wedge filter

これらの B, S, P, および wedge filter の厚み (h) を適当に作ることにより、以上の条件を満足しうる望ましい wedge filter を製作することができる。

実験ならびに結果

われわれの教室では島津製作所製 3,000 MT 型コバルト-60照射装置を用い治療にあたっている。この装置では wedge filter その他の附属装置は焦点より45cmの照射口に装用できるよう設計されている。焦点皮膚間距離60cmで実験した。線量測定には島津製作所直示線量計および B-421 probe を用い、水フアントーム中で測定した。

まず wedge filter の各部の長さ(図1)をどのようにとれば等線量曲線の底辺を直線にすることができるかを検討した。そのために長さ W (B + S + P) に対する傾斜部の長さ S の比、S/W の種々のものを作り、それによる等線量曲線の底辺のなす曲線の型を比較した。結果は図2に示す如く、照射野が 8×8 cmでは S/W が 1.0 のもの、即ち harmonic type の wedge filter では下に凸の曲線を示し、線量の損失も著しい。S/W が

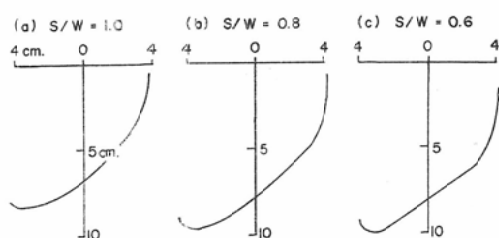


Figure 2. shapes of the 50% isodose curves according to the ratio of sloping part (S) to total length (W) of wedge filter (S/W).

少なくなるにしたがつて、曲線は次第に直線に近づき、0.6の時にほぼ直線となるとともに線量の損失もまた減少する。これは Groom (1956) による 200KV プレ線用の銅製 wedge filter を用いた実験結果、ならびに Tulley (1956)¹⁷⁾ による鉛製コバルト-60用のそれを使用した実験結果が、いずれも S/W が 0.6 の場合に等線量曲線の底辺が直線となることを示しており、われわれの測定結果ともよく一致する。

Van Roosenbeek and Grimm (1961)¹⁹⁾ によると wedge filter の設計は次のようにすればよいという (図 3-a)。まず wedge filter のない場合 (open field) の等線量曲線を描き、50% (である必要はないが) の等線量曲線の一端より、目的とする wedge angle の角度で直線を引く。次に open field の線量と、目的とする wedge filter の線量の比を計算することにより、その部分でどれだけ線量を減弱すればよいかを知ることができる。即ち

$$\text{desired transmission} = \frac{\text{desired intensity}}{\text{open field intensity}} \quad \dots\dots(1)$$

コバルト-60のアルミニウムの減弱曲線 (図 4) より求める量を減弱するに要するアルミニウムの厚さを読みとれば、それがこの部分での wedge filter の厚さである。かかる計算を線上の数点で行えば、望みの wedge filter を設計することができる。

ところが前述の実験で、wedge filter の傾斜部の長さ S と全体の長さ W の比 S/W が 0.6 の時に wedge filter による線量の損失がもつとも少ない

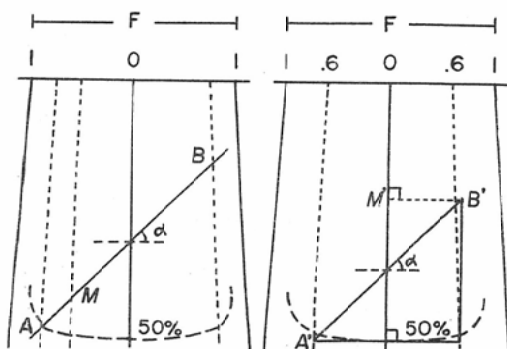


Figure 3. diagrams illustrating the method of calculation for a thickness of wedge filter.

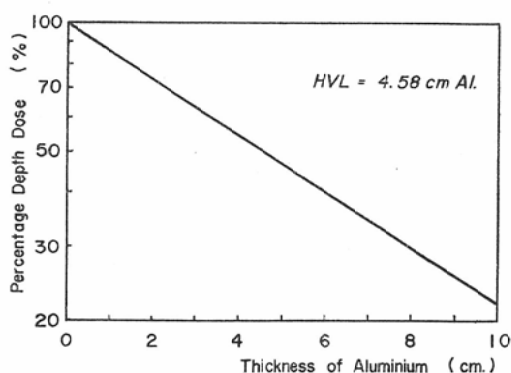


Figure 4. narrow beam absorption curve in Aluminium at Cobalt-60.

(半価層の計算より描いた)²⁰⁾

上に、等線量曲線の底辺がほぼ直線になることを示した。この 0.6 という値は (照射野の長さを 1 とした時、その中央部の 0.6 の長さは) open field の照射野内で等線量曲線が大きく変化しない中央部の部分にほぼ一致する。そこでわれわれは次のように Van Roosenbeek and Grimm の方法を簡略化して設計した (図 3-b)。open field の中心線束上の深部率 50% の点で中心軸に垂線をたて、それが照射野の長さの 0.6 にあたる長さの点 A' より目的とする角度 wedge angle で直線を引く。それが中心軸をこえ、反対側の 0.6 にあたる点 B' での線量率を求め、(1) 式を用いて減弱させるべき線量率を計算する。さらにコバルト-60のアルミニウムによる減弱曲線より (1) 式で求めた線量率に減弱するに要するアルミニウムの厚さを求めると、それが wedge filter の

平面部 (P-図1) の高さ (wedge filter の高さ) である。また wedge filter の全体の長さ (W) はこれが焦点皮膚間 (SSD) のどこに位置するかによって (当教室の装置では線源より45cm) 照射野の長さ (F: wedge filter の傾斜方向における照射野の長さ) に比例して幾何学的に規定されてくることはいうまでもない。即ち次の (2) 式であたえられる。

$$W = F \frac{SSD}{SSD} \dots\dots (2)$$

SSD: source skin distance

SWD: source wedge filter distance

W: length of wedge filter

F: length of field

また wedge filter の傾斜面は直線である。

以上述べてきた計算により理論的に算出したアルミニウム厚さが目的とする wedge filter を示しているかどうかを調べるため、照射野が 8×8 cm用で、高さの異なる4種の Wedge filter を試作し実験した。その結果は表1に示すごとく、理論値と実験値とは非常によく一致した。

Table 1 Correlation between the wedge angle and the thickness of wedge filter, and h/F.

wedge angle	thickness of wedge filter		h/F
	experimental	theoretical	
35	2.1	2.15	0.26
45	2.9	2.88	0.36
52	3.7	3.70	0.46
65	6.4	6.30	0.79

さて、かかる実験より wedge angle と wedge filter の高さとの相関関係を図示することは容易であるが、これでは照射野の長さ (wedge filter の傾斜側での) により規定され、この場合では照射野の長さが8cm以外では適用できない。そこで wedge filter の高さ h と照射野の長さ F の比 h/F と wedge filter との相関曲線を描くことを試みた。これを図5に示す。このようにすると、照射野の長さによっても、wedge filter が焦点皮

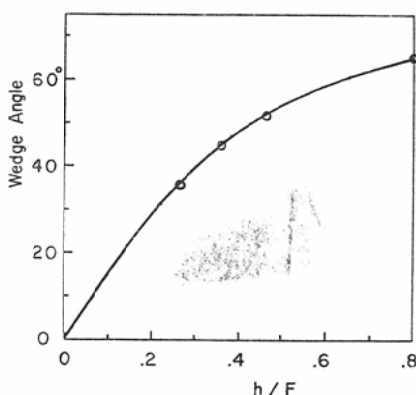


Figure 5. theoretical correlation curve between the wedge angle and h/F (h; thickness of wedge Filter, F; length of radiation field). open circles represent the measured values.

Table 2 designs of Aluminium wedge filters for 45 degrees at 50% isodose curve.

length of field	length of sloping part of wedge filter	thickness of wedge filter
8cm.	36mm.	29mm.
6cm.	27mm.	22mm.
4cm.	18mm.	15mm.

膚間距離でしめる位置によっても規定されることがなく、コバルト-60固定照射のいかなる場合でもアルミニウム製 wedge filter を設計、製作することができる。例えば60度、45度、30度の wedge angle を得るには h/F をそれぞれ 0.66, 0.36, および 0.22 になるように設計すればよい (図5)。

以上の実験にもとづき、45度の wedge angle を得るに必要なコバルト-60治療装置用の wedge filter を、照射野の長さ、4cm、6cm、8cmの3種を設計、試作し、その線量測定を行なった。これらの具体的な長さは表2に示す如くであり、測定した等線量曲線は図6に示す如く満足すべきものであつた。またこれらの等線量曲線より照射野面積による深部線量率の違いにより起りうる誤差はほとんど無視できるものと考えられる。

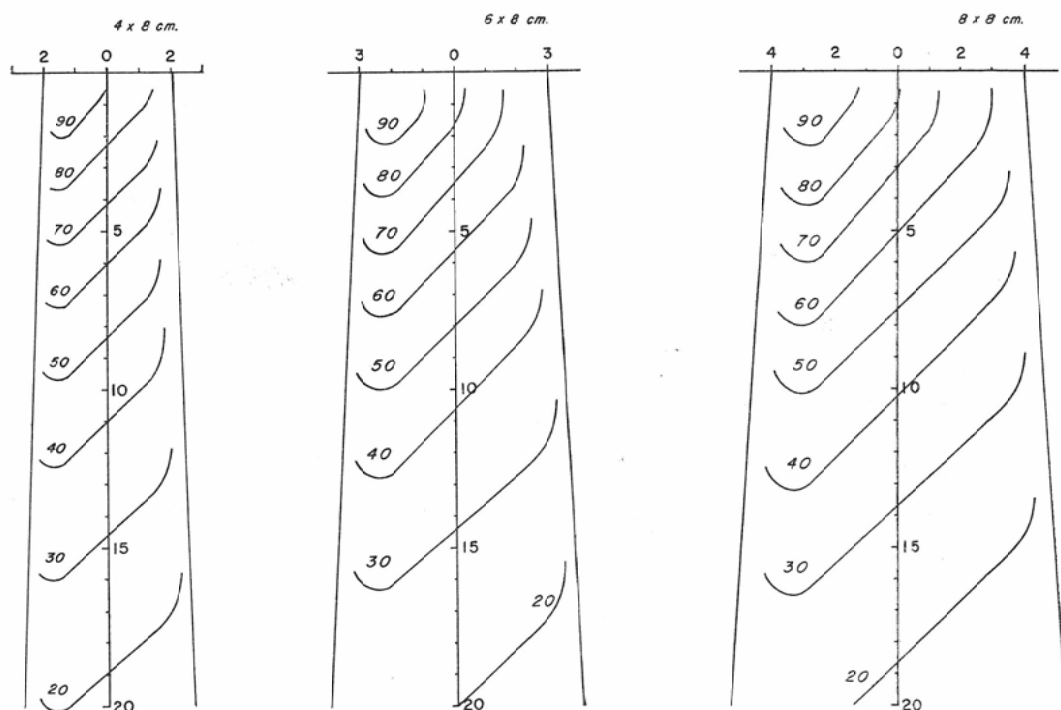


Figure 6. measured isodose curves for various field sizes.

結 語

(1) コバルト-60固定照射用の wedge filter をアルミニウムにて試作した。

(2) wedge filter の等線量曲線の底辺を直線にするためには、wedge filter 全体の長さに対する傾斜部の長さを 0.6 とし、薄い一端を空白とし、他端を平坦にするとよい。

(3) 任意の wedge angle (等線量曲線が、照射線束の中心軸上で、中心軸に立てた垂線と交わる角度) をうるに必要なアルミニウムの高さは次のようにして求められる。50%等線量曲線の照射野の 0.6 の点より任意の wedge angle で求める 50%等線量曲線を引き、反対側での open field 深部率との比をとり、その値に減弱するに要するアルミニウムの厚さを、コバルト-60 のアルミニウムによる減弱曲線より読みとればよい。

(4), (3) に述べた計算の繁雑さをさけ、任意の照射野で焦点皮膚間の任意の装用位置での wedge filter の厚さを求めるため、wedge filter

の高さ h と照射野の長さ F との比 h/F と、その時えられる wedge angle との相関曲線を図示した。

(5) wedge filter 自体の長さは、焦点皮膚間のどの位置にそれが装用されるかにより幾何学的に規定されてくる。

References

- 1) Cohen, M., Burns, J.E. and Sear, R.: Physical aspects of cobalt 60 teletherapy using wedge filter. I. Physical investigation. *Acta Radiol.* 53 (1960), 401—413.
- 2) Idem.: Physical aspects of cobalt 60 teletherapy using wedge filter. II. Dosimetric consideration. *Ibid.* 53 (1960), 486—504.
- 3) Ellis, F. and Miller, H.: Use of wedge filters in x-ray deep therapy. *Brit. J. Radiol.* 17 (1944), 90—94.
- 4) Ellis, F., Shanks, W., Kemp, L.A.W. and Oliver, R.: The use of wedge filters in x-ray therapy. *J. Fac. Radiol.* 1 (1950), 231—244.
- 5) Ellis, F., Hall, E.J. and Oliver, R.: A compensator for variations in tissue thickness for high energy beams. *Brit. J. Radiol.* 32

- (1959), 421—422.
- 6) Ellis, F., Lewin, C. and Hall, E.: High energy beams. Optimal compensation for variations in skin contour. IXth International Congress of Radiology, 1959 in München, No. 451, p. 844—848, Georg Thieme Verlag, Stuttgart Urban and Schwarzenberg, München-Berlin
 - 7) Fletcher, G.H., Richardson, J.E., Moor, E.B., Morgan, J.M. and Cole, A.: Clinical stationary field therapy with a cobalt-60 unit, part. 2. Am. J. Roentgenol. 75 (1956), 117—128.
 - 8) Francois, P.E.: Wedge filters for use on the 8 MeV linear accelerator. Brit. J. Radiol. 31 (1956), 712—713.
 - 9) Goodwin, P.N. and Adair, H.W.: Aluminium Wedge filters for 220 to 300 kilovoltage roentgen rays. Acta Radiol. n.s. 2 (1964), 145—149.
 - 10) Groom, A.C.: The design of wedge filters for x-ray therapy Brit. J. Radiol. 24 (1956), 676—681.
 - 11) Hall, H.J. and Oliver, R.: The use of standard isodose distributions with high energy radiation beams — the accuracy of a compensator technique in correcting for body contours. Brit. J. Radiol. 34 (1961), 43—52.
 - 12) Hall, E.J., Dalrymple, G.V. and Perez-Tamayo, R.: A rota.wedge technique for therapy with high energy radiation beams. Radiology 82 (1964), 502—507.
 - 13) Hulbert, M.H.E. and Groom, A.C.: A note on the use of wedge filters in transparent ended x-ray therapy applications. Brit. J. Radiol. 23 (1950), 649—652.
 - 14) Kemp, L.A.W. and Oliver, R.: The flattening of wedge isodose curves in the direction perpendicular to the wedge. Brit. J. Radiol. 25 (1952), 502—504.
 - 15) Sutherland, W.H.: Arc therapy with wedge-filtered beams of cobalt 60 radiation. Brit. J. Radiol. 35 (1962), 478—481.
 - 16) Tranter, F.W.: The design of wedge filters for use with a 4-MeV. linear accelerator. Brit. J. Radiol. 30 (1957), 329—330.
 - 17) Tulley, T.J.: Wedge filters for use with a 100-curie cobalt 60 teletherapy unit. Brit. J. Radiol. 29 (1956), 227—229.
 - 18) Van de Geijn, J.: Compensation for the effect of oblique incidence of cobalt 60 radiation beams in teletherapy. Brit. J. Radiol. 36 (1963), 56—62.
 - 19) Van Roosenbeek, E. and Grimm, J.H.: Wedge filters; their construction and use with the 22 MEVP. betatron. Am. J. Roentgenol. 85 (1961), 926—932.
 - 20) 放射線医学, p. 232, 1959年, 医学書院.