

Title	超軟X線および軟X線治療に関する基礎的研究 第1報
Author(s)	伊東, 乙正; 古田, 敦彦; 松本, 泰二 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1962, 21(10), p. 1013-1020
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19482
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

超軟 X 線および軟 X 線治療に関する 基礎的研究 (第一報)

東京通信病院 放射線科

伊東 乙正 古田 敦彦 松本 泰二

東芝玉川工場

牧野 純夫 栗原 泰夫

(昭和36年12月28日受付)

Fundamental studies of supersoft and soft X-rays therapy. (1st. Report)

By

Otomasa Ito, Atsuhiko Furuta and Taiji Matsumoto

From the Division of Radiology, Tokyo Teishin Hospital

(Chief: Otomasa Ito M.D.)

Sumio Mokino and Yasuo Kurihara

From Toshiba Electric Co. Ltd. Tamagawa Works

We have used Toshiba's mica-beryllium window tube, M 5057 A, and beryllium window tube (1 mm-thick beryllium), M 505/B for a dermatologic X-rays therapy as Siemens-Dermopan since 1959. (Table 1, Fig. 1)

Now we report absorption in air, reversal effect, dosage rate distribution in the X-rays field and tissue equivalent material of super soft and soft X-rays, which are measured in these two tubes.

1) Absorption in air

The data of M 505/B tube, given Table 2 and Fig. 3 show dosagerates in various tube kilovoltage (10 kV, 29 kV, 43 kV and 50 kV), tube current 20 mA and at various distances (10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm and 1 m).

These results show the attenuation of dosagerate by absorption of air layer and at the same time hardening of X-rays qualities.

The dosage rates over 29 kV at the distance 20 cm show a strange phenomem of comparative dosagarate increase. This may be caused scatter of air layer itself.

The absorption of soft X-rays were not almost observed (Table 3, Fig. 4).

Fig. 5 show comparison with Zieler's result.

2) Change of uniformity grade (reversal effects)

Table 4 and Fig. 6 show change of uniformity grade at 10 kV, 29 kV, 43 kV and 50 kV with various filtration (M 505/B tube)

Reversal effects were observed distinctly over 29 kV and increased with ascension of tube kilovoltage.

In Fig. 7 (Schirren) uniformity grade the lowest value at 0.15 mmAl filter, but in Fig. 6 (our data) at 0.3 mmAl filter.

Fig. 8 show the relation between X-rays qualities and uniformity grade. Our data are nearly the mean value of authorities.

結 言

1942年米の Machlett¹⁾ が Beryllium 窓X線管 (以下 Be 窓管と略称する) の製造に成功以来 Be 窓管は皮膚治療用X線管として広く用いられ、線量測定法の進歩、装置の改良と相俟つて皮膚X線治療法は急速な進歩を遂げるに至つた²⁾³⁾⁴⁾. Be 窓管は管電圧および附加濾過板を変化せしめることにより超軟X線 (限界線) より引続き隣接の軟X線, 更に半硬X線迄連続的に発生せしめることが出来、管は安定性があり且つ丈夫である. この特質は皮膚のX線治療には少くも13KV乃至50KVの管電圧で、半価層0.03mmAl乃至2.0mmAlの線質 (すなわち組織半価深度 0.4mm乃至30mm組織等価物質) の範囲が必要である条件を完全に満足せしめている.

われわれは1959年分析用X線管 Analix を改造した Mica-Be 窓管M5057A⁵⁾を得、1960年国産で初めての Be 窓管M505/B⁶⁾ (1mm厚のBe窓をもつ)を得て既に Dermopan 装置と同様に皮膚X線治療用として用いている. その治療条件は第1表に示す通りでDermopan装置に劣らぬ性能をもっている. 今回上記の両管について超軟X線および軟X線の空気による吸収散乱, 逆転効果, 照射野内の線量率分布, 組織等価物質等の問題について種々検討を行つたので茲に報告する.

管球および窓離槽等について

Mica-Be 窓管M5057Aは水冷式で分析用X線管 Analix の焦点および放射窓部を改造したものである. X線放射窓は0.03mmの Mica 板と 0.2mmの Be 板とを併用している. Be 板は Mica 板を保護するためのもので Mica で真空を保つてい

Fig. 1. Toshiba beryllium Window X-ray tube (M505/B)

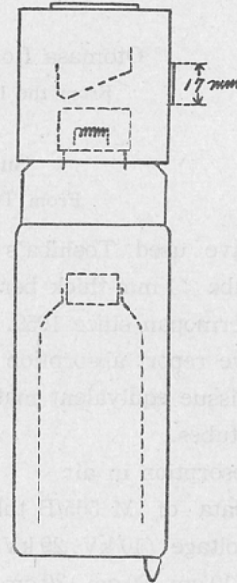


Table 1. Comparative table between Dermopan and M505/B tube

Step	Apparatus	Voltage KV	Amperage mA	Filter mm Al	H.V.L mm Al	F.S.D cm	Dosagerate r/min	Treatment cones
1	Dermopan	10	25	—	0.03	10	1000	7 × 7
	M505/B	10	20	—	0.02	10	2980	φ5
1'	M505/B	10	20	—	0.028	30	150	φ12, φ16
2	Dermopan	29	25	0.3	0.18	30	100	φ12, 20 × 20
	M505/B	29	20	0.3	0.185	30	129	φ12, φ16
3	Dermopan	43	25	0.6	0.45	30	100	φ12, 20 × 20
	M505/B	43	20	0.6	0.54	30	104	φ12, φ16
4	Dermopan	50	25	1.0	0.82	30	100	φ12, 20 × 20
	M505/B	50	20	1.0	1.0	30	84	φ12, φ16

る。陽極はタングステンで傾斜角は 20° である。最高使用電圧50kVp, 最大許容電流25mA 連続である。亦M505/Bは国産で初めてのBe窓管でその有効窓の径は17mmで放射窓は1mm厚のベリリウムで出来ており、ターゲット角度 20° 、X線放射角は主放射方向を中心軸とし焦点を頂点として約 35° の頂角を持つ円錐内である。その概要は第1図に示す通りである。管電圧、許容管電流はM5057A管と同様である。線量計としてSiemensのSoft Chamber, Phantom Chamberを用いた。Al半価層測定用として東芝および科研製のAl吸収板を用いた。皮膚等価物質として醋酸セルロースおよびポリステレンの薄板を使用した。

研究結果並びに考按

(I) 空気による吸収硬化について⁷⁾⁸⁾

皮膚科におけるX線治療に使用せられる超軟X線および軟X線特に半価層が1mmAlより小さな線質においては空気層による吸収を顧慮しなければならない。この吸収による減弱は線質が軟かい程度2乗の法則で換算される線量率に著明に影響する。この問題の測定はDayおよびJaylor⁹⁾を嚆矢とする。

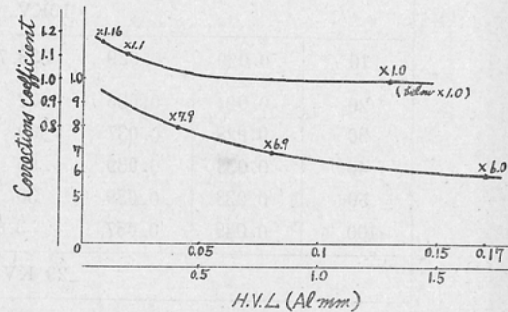
測定方法

M5057A, M505/Bの両管についてSiemensのSoft Chamberを用いて線量率を測定した。線量率の大なる場合はfactor 6の絞りを使用し、更に非常に大なる場合は積算線量に線量計を切換え一定の目盛を通過する時間を測定した。かくすることにより毎分数万r迄の線量率測定が可能である。尚線質により補正係数を異にするので、第2図の線質特性曲線を用いて線量率の補正を行った。各種条件における線量率の決定には同時に線質測定を要するのでAl吸収板を用いてこの減弱曲線を求め、この曲線より第1, 第2半価層を求め線質を決定した。

測定結果

M505/B管について管電圧10KV, 29KV, 43KV, 50KV(何れもそれはDermopan装置Step 1, 2, 3, 4の管電圧)で何れも管電流20mA, 附加濾過板なしで、距離10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50

Fig. 2. Characteristic Curve for X-ray Quality Siemens universal Dosimeter Soft Chamber No E-24W No E-24-X9-126



cm, 1の条件で測定結果は第2表の通りである。これを対数方眼紙で第3図にグラフで表わす。これらの図表から超軟X線の空気層による吸収および散乱の関係を調べると、10KV, ϕ filter の場合は空気層の吸収が目立ち、各測定距離の測定線量率と10cmの測定値から逆2乗の法則による計算値と比較すると何れも低く測定され距離が大なるにつれてその減少度も大となり、1mでは計算値の僅か $1/7$ の値になつている。同時に線質が次第に硬くなり半価層は0.02mmAlより0.045mmAl迄増加している。29KV, ϕ filter の場合は測定距離10cmと20cmと比較すると20cmでは10cmの測定値

Fig. 3. Absorption of supersoft X-Rays in Air.

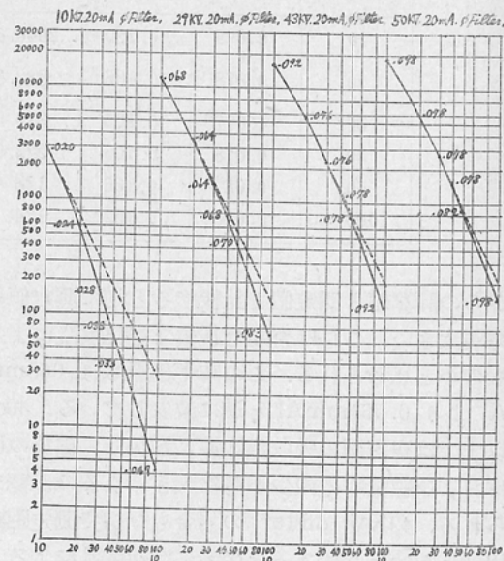


Table 2. Absorption of Supersoft X-ray in Air.

Distance (cm)	1HVL (mmAl)	2HVL (mmAl)	data	Corection Coefficient	Dosage rate r/min	Calucutated Value r/min
10KV, ϕ Filter, 20 mA.						
10	0.020	0.029	338.7	8.8	2981	from 10cm
20	0.024	0.035	72	8.57	617	↓ 745
30	0.028	0.037	130	1.2	156	242
40	0.033	0.039	66	1.2	79	136
50	0.033	0.039	30	1.2	36	119
100	0.049	0.057	3.6	1.18	4.2	30
29 KV, ϕ Filter, 20 mA.						
10	0.068	0.092	1690	7.1	11999	13824 (from 10cm)
20	0.064	0.091	480	7.2	3456	↓ from 20cm (3000)
30	0.064	0.091	198	7.2	1426	↓ 1536
40	0.068	0.092	106	7.1	753	864
50	0.070	0.095	62	7.1	440	553
100	0.083	0.107	58	1.16	67	138
43 KV, ϕ Filter, 20 mA.						
10	0.092	0.109	2400	6.7	16080	21804 (from 10cm)
20	0.076	0.096	784.3	6.95	5451	↓ from 20cm (4020)
30	0.076	0.096	320.9	6.95	2230	↓ 2312
40	0.078	0.102	186	6.9	1283	1263
50	0.078	0.102	108	6.9	745	872
100	0.092	0.118	104	1.15	120	218
50KV, ϕ Filter, 20 mA.						
10	0.098	0.120	2666.6	6.63	17680	24352 (from 10cm)
20	0.078	0.106	882.3	6.9	6088	↓ from 20cm (4420)
30	0.0775	0.105	375	6.9	2588	↓ 2706
40	0.078	0.106	223.9	6.9	1545	1522
50	0.082	0.106	128	6.85	877	974
100	0.098	0.122	124	1.14	141	244

からの計算値と測定値と比較すると逆に測定値の方が大きい。これは奇妙な現象で空気散乱によるものかと思考される。この時半価層も 0.068mmAl より 0.064mmAl と逆に減少している。40cm 以上では空気層の吸収が次第に増加し、線質の硬化および線量率の減少が漸次大きくなるのが認められる。43KV, ϕ filter の場合も同様で測定距離 10cm と 20cm と比較すると後者に空気散乱による

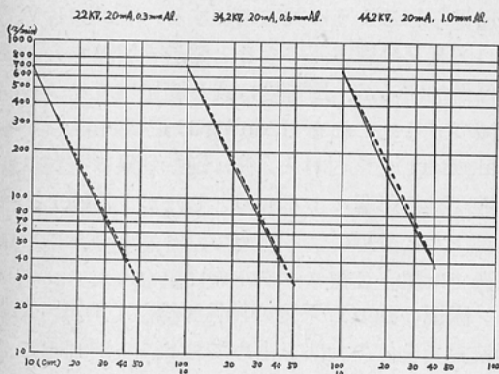
思考される線量率の増加が明かに認められ、半価層も 0.092 mmAl より 0.072mmAl と逆に減少し線質が軟化している。その後は空気層の吸収のため線質の硬化が次第に認められ線量率の減少も漸次大きくなっている。50KV, ϕ filter の場合も上記と同じ変化が明かに認められる。

次に M5057A 管について Step 2 乃至 4 の普通用いられる軟 X 線照射条件で測定結果は第 2 表の通

Table 3. Absorption of soft X-rays in Air.

Distance	HVL (mmAl)	data	Corrections Coefficient	Dosage rate (r/min)	Calculated Value (r/min)	
22KV, 0.3mmAl Filter, 20mA						
10	0.17	114	6.0	684	from 10cm	
20	0.17	149	1.1	164	↓ 171	from 20cm
30	0.17	66	1.1	73	76	↓ 73
40		37	1.1	41	43	41
34.2KV, 0.6mmAl Filter, 20mA						
10	0.44	118	6.0	708	from 10cm	
20	0.44	157	1.03	162	↓ 177	from 20cm
30	0.44	71	1.03	73	79	↓ 72
40		41	1.03	42	44	40
44.2KV, 1.0mmAl Filter, 20mA						
10	0.84	111	6.0	666	from 10cm	
20	0.84	141	1.01	142	↓ 167	from 20cm
30	0.84	64	1.01	65	74	↓ 63
40		38	1.01	38	42	36

Fig. 4. Absorption of Soft X-Rays in Air



りて、これを対数方眼紙で第4図にグラフで表わす。これらの軟X線では空気による認むべき吸収が測定距離20cm乃至40cmの間ではない。各距離の測定値と逆2乗の法則からの計算値と大体一致している。

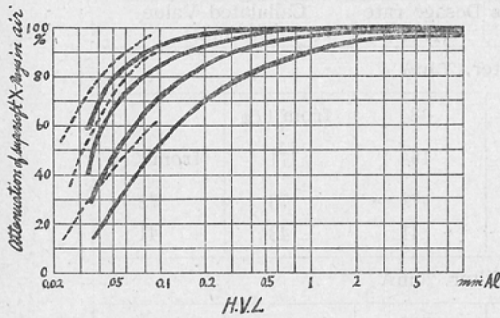
考 按

皮膚治療に使用せられる超軟X線および軟X線では特に半価層が約1mmAlより小なるも

のにおいては空気減弱が顧慮外におけると Wachsmann¹⁰⁾ が述べている。実際の減弱は逆2乗の法則で換算される線量率の場合により著明に影響する。この問題に関する測定は Day および Taylor⁹⁾ 並びに Zieler¹¹⁾ により実施されている。

Zieler は 760mmHg, 室温20°Cにて測定距離20cmでの線量を100%として種々の半価層のX線について空気層の厚さ30cm, 50cm, 100cm, 200cmについて空気による吸収減弱をグラフに示しているが、吾々の実験値と比較すると第5図の通りである。これでは20における最初の半価層を半価層として減弱率を Zieler の結果と比較した。30cm, 50cmではその傾向は大体一致しており、100cmでは吾々の結果は0.06mmAl乃至0.08mmAlの線質に少々減弱率が大い。治療目的のためにX線投与の前に軟X線では空気吸収のため照射すべき距離で線量測定は欠くべからざることである。次に29KV, 43KV, 50KV何れもφfilterの場合に認められた10cmと比較して20cmの線量率の10cmの線量率からの計算値よりの増加は半価層も20cmにおいて減少が認められ線質が軟化してい

Fig. 5. Attenuation of supersoft X-rays in Air,



るので空気散乱によるものと解せられるが、奇異の現象である。これに関しては他の報告がないので更に検討を要する。

要約

1) 第1表および第3図は超軟X線の空気層による吸収および散乱の関係を表わしたものである。何れにおいても吸収および散乱のため逆2乗の法則が成立しない。

2) 特に10KV, ϕ filterの場合は空気層の吸収が目立ち、距離が大となるにつれてその減少度も大となり、1mでは計算値の僅か $1/7$ の値になっている。同時に線質が次第に硬く半価層は0.02mmAlより0.045mmAl迄増加している。

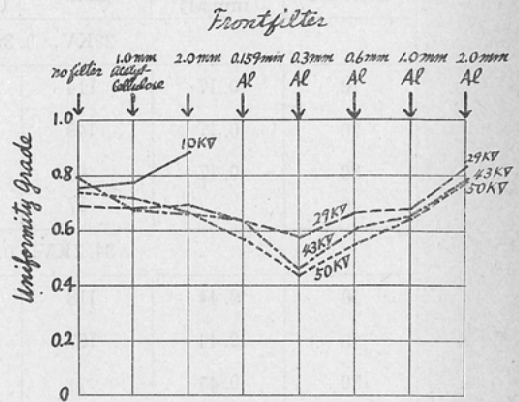
3) 29KV, ϕ filterの場合は測定距離10cmと20cmとでは20cmの測定値は10cmの測定値からの計算値より大きい。この時半価層も0.068mmAlより0.064mmAlと逆に減少しており空気散乱によるものと思われ、奇異の現象で、未だ他の報告はない。40cm以上では空気層の吸収が次第に増加し、線質の硬化および線量率の減少が漸次大きくなる。

4) 43KV, 50KV (何れも ϕ filter)の場合も20cmで奇異の現象が認められ、その後は空気層の吸収のため線量率の減少、線質の硬化が認められるが、管電圧の上昇と共にその程度は少くなっている。

5) 軟X線では測定距離20cm乃至40cmの間では空気による吸収が余り認められず、大体逆2乗の法則が成立する(第4図)。

6) Zielerの超軟X線および軟X線の空気による吸収減弱グラフと吾々の実験値を第5図に比

Fig. 6. Uniformity grade at various front filter.



較するとその傾向は大体一致しており、たゞ100cmでは吾々の結果は0.06mmAl乃至0.08mmAlの線質に少々減弱率が大きい。

(II) 逆転効果 (reversal effect) について⁷⁾⁸⁾

Be窓管による非常に自己濾過の少ない超軟X線ではJennings¹²⁾やZieler¹³⁾により一見奇妙な現象が観察されている。10KV程度の管電圧では濾過を増加するにつれX線の硬度および均等度は普通見られるように共に増加する。所が30KV乃至100KVの管電圧になると濾過を増加すると硬度は増加するが、均等度は或る範囲内で先づ著明に減少する。これをJenningsは逆転効果 (reversal effect)と名付けた。彼は逆転効果は空気による散乱線の影響によるものとしたが、Zielerのスペクトルに分析による研究で、Be窓管のX線の弱濾過では阻止X線スペクトルに重なったタングステン陽極の強いL系列の特性X線が1乃至1.5Åの波長で全体の大部を占めておることが判明し、逆転効果はこれに基因することがWachsmann¹⁰⁾によつて認められている。この波長のX線を除去濾過すると、より均等度の悪いX線混合が残る、この逆転した均等度は濾過を増加して初めて再び上昇する。吾々はM5057A, M5055B/両管について逆転効果を検し、諸家の成績と比較する。

測定方法

Schirren¹⁴⁾の用いたCellonの代用品として醋酸セルローゼの薄板を前濾過板として使用した。Al濾過板は本装置備付のものおよび科研製

Table 4 Uniformity grade of Beryllium Window Tubes X Ray at Various Conditions.

Condition	front filter	1HVL (mmAl)	2HVL (mmAl)	U.G. ($\frac{1HVL}{2HVL}$)
10KV 20mA distance 30cm	(—)	0.028	0.037	0.76
	1mm acetyl-cellulose	0.05	0.065	0.77
	2mm // -cellulose	0.075	0.0985	0.88
29KV 20mA distance 30cm	(—)	0.064	0.091	0.70
	1mm // -cellulose	0.085	0.125	0.68
	2mm // -cellulose	0.11	0.16	0.69
	0.159 mmAl	0.11	0.17	0.635
	0.3 mmAl	0.185	0.32	0.58
	0.6 mmAl	0.39	0.59	0.66
	1.0 mmAl	0.58	0.86	0.68
2.0 mmAl	0.94	1.18	0.83	
43KV 20mA distance 30cm	(—)	0.076	0.096	0.79
	1mm // -cellulose	0.095	0.140	0.68
	2mm // -cellulose	0.125	0.190	0.66
	0.159 mmAl	0.135	0.210	0.64
	0.3 mmAl	0.22	0.48	0.46
	0.6 mmAl	0.54	0.92	0.60
	1.0 mmAl	0.86	1.32	0.65
2.0 mmAl	1.34	1.72	0.78	
50KV 20mA distance 30cm	(—)	0.0755	0.105	0.74
	1mm // -cellulose	0.10	0.14	0.72
	2mm // -cellulose	0.13	0.195	0.67
	0.159 mmAl	0.14	0.245	0.57
	0.3 mmAl	0.26	0.54	0.44
	0.6 mmAl	0.64	1.16	0.55
	1.0 mmAl	1.03	1.61	0.64
2.0 mmAl	1.62	2.08	0.78	

Fig. 7. Uniformity grade at various front filter. (Schirren).

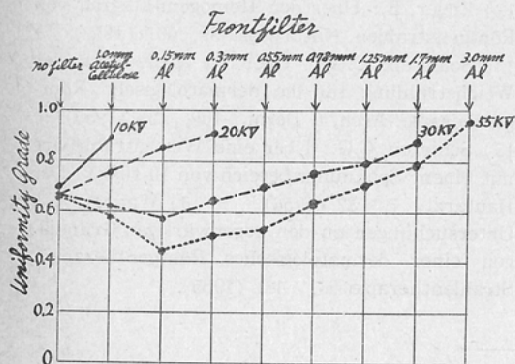
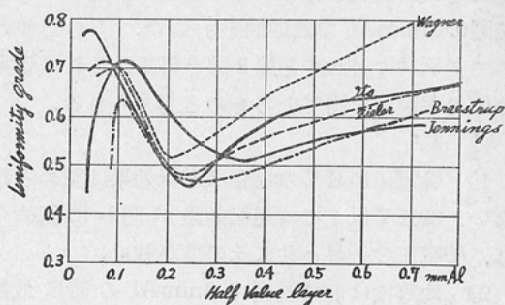


Fig. 8. Uniformity grade at various qualities of soft X-rays.



Al 吸収板, Siemens 線量計附属品を用いた。管電圧, 管電流は Step 1 乃至 4 の条件で, 但し何れも附加濾過板を除き, 前濾過板として 1mm および 2mm の醋酸セルローゼ, 0.159mm, 0.3mm, 0.6mm, 1.0mm および 2.0mm の Al を用い, 全測定について減弱曲線を作り第 1, 第 2 半価層を求めて均等度 = $\frac{\text{第 1 半価層}}{\text{第 2 半価層}}$ を決定した。

測定結果

M50 5/B 管について管電圧 10KV, 29KV, 43KV, 50KV の各種濾過の場合の均等度の変化は第 4 表の通りでこれを第 6 図にグラフで示す。管電圧 10KV の場合は逆転効果は認められない。29KV, 43KV, 50KV では前濾過板の増加と共にかえつて均等度が悪くなりいわゆる逆転効果が認められ, 且つ管電圧の上昇と共にその度が強い。均等度は前濾過板 0.3mmAl の時に最低値を示している。その後前濾過板を増加すると初めて均等度は増加する。

考按

Schirren¹⁵⁾ の逆転効果のグラフ (第 7 図) と比較すると略く同様な結果であるが, 吾々の実験では均等度の最低値が 0.3mmAl の前濾過板であり, Schirren のグラフでは 0.15mmAl の前濾過板の場合である。これは管球の構造の差異に基づくものとも思考される。諸家による逆転効果の実験から得られた各種線質の軟 X 線と均等度の関係によると Wagner¹⁶⁾ は半価層 0.215mmAl で均等度の最低値を得, Zieler は 0.25mmAl, Braestrup は 0.35mmAl, Jennings は 0.3mmAl でそれぞれ最低値を得ている。吾々の測定値では半価層 0.26mmAl で最低値を示した。これをまとめてグラフに表わすと第 8 図を得る。これは諸家の値の平均値を得ているものと考えられる。

要約

1) 管電圧 10KV の場合は逆転効果は認められない。29KV 以上では逆転効果が明かに認められ, 管電圧の上昇と共にその度が強い。

2) 均等度は前濾過板 0.3mmAl の時に最低

値を示している (第 6 図)。Schirren の逆転効果のグラフ (第 7 図) では 0.15mmAl の前濾過板で最低値を示している。これは管球の構造の差異に基づくものと思われる。

3) 線質と均等度の関係を諸家の値と吾々の測定値とまとめてグラフにしたのが第 8 図で, 吾々の測定値では半価層 0.26mmAl で最低値を示しているが, これは諸家の値の平均値に近い。

文 献

- 1) Machlett, R.: An improved X-ray-tube for diffraction analysis. *J. appl. Physics* 13, 398 (1942).
- 2) 伊東, 古田: 皮膚科領域における X 線療法 の 進 歩 . 皮 膚 科 最 近 の 進 歩 (III) (1960), 医歯薬出版.
- 3) 小堀, 加藤: 皮膚科用 X 線装置に使用される Be 窓管球の特性, 同上.
- 4) 伊東: 炎症性皮膚疾患の X 線療法, 臨床放射線, 6, 235 (1961).
- 5) 滋賀, 関: 表在治療 X 線管, 日医放誌, 18, 1731 (総会号) (1959).
- 6) 今野, 吉田: 表在治療用 X 線管の性能. 日医放誌, 21, 360 (総会号) (1961).
- 7) 伊東, 古田, 松本: 国産表在治療用 X 線管の性能の比較検討, 20, 2259 (総会号) (1960).
- 8) 伊東, 古田, 松本: 超軟 X 線及び軟 X 線治療に関する基礎的研究 (第 2 報), 日医放誌, 21, 427 (総会号) (1961).
- 9) Day, F.H., and S. Taylor: Absorption of X-rays in air. *Radiology* 52, 239 (1949).
- 10) Wachsmann, F. In Marchionini u. Schirren "Strahlentherapie von Hautkrankheiten" Allgemeine Methodik der Röntgentherapie von Hautkrankheiten: Springer Berlin (1959).
- 11) Zieler, E.: Dosismessungen an Berylliumfensteröhren für Spannungen von 10-100kV. *Strahlen therapie* 100, 595 (1956).
- 12) Jennings, W.A.: Physical aspects of the Roentgen radiation from a beryllium window tube operated over the range 2-50KVP for clinical purposes. *Acta radiol. (Stockh.)* 33, 435 (1950).
- 13) Zieler, E.: Über den Homogenitätsgrad von Röntgenstrahlen. *Naturwiss.* 39, 567 (1952).
- 14) Schirren, C.G.: Über die Bedeutung der Weichstrahlung für die dermatologische Röntgentherapie. *Arch. f. Derm.*, 199, 228 (1955).
- 15) Schirren, C.G.: Über eine Weichstrahlröhre mit einem Spannungsbereich von 10-100kV. *Der Hautarzt*, 7, 32 (1956).
- 16) Wagner, G.: Untersuchungen zu den gegenwärtigen Grundlagen einer dermatologisches Röntgentherapie. *Strahlentherapie* 96, 481 (1955).