The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	拡大撮影における皮膚線量と容積線量
Author(s)	前越, 久; 藤田, 恒治; 佐久間, 貞行
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1973, 33(4), p. 336-343
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16975
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

拡大撮影における皮膚線量と容積線量

名古屋大学医学部付属診療放射線技師学校（校長：高橋信次教授）
前　越　　久
名古屋大学医学部放射線医学教室（主任：高橋信次教授）
藤　田　恒　治
名古屋市立大学医学部放射線医学教室（主任：佐久間貞行教授）
佐　久　間　貞　行

（昭和47年6月12日受付）

Skin dose and volume dose in macroradiography of high magnification

by
Hisashi Maekoshi
Radiological Technician's School affiliated to the Nagoya University School of Medicine
(Director: Prof. Shinji Takahashi)
Tsuneharu Fujita
Department of Radiology, Nagoya University School of Medicine
(Director: Prof. Shinji Takahashi)
and Sadayuki Sakuma
Department of Radiology, Nagoya City University Medical School
(Director: Prof. Sadayuki Sakuma)

Research Code No.: 302

Key Words: Enlargement radiography, Macroradiography, Skin dose, Volume dose

The present paper deals with the skin dose and the volume dose of a patient when he is taken the macroradiograph of 4- and 8-fold magnifications. The thermoluminescent dosimeter (Mg_2SiO_4: Tb) was used to measure skin dose and dose distribution in the water phantom of 5,10,15 or 20 cm in thickness. The volume dose was calculated from these isodose curves. The exposure conditions of the macroradiography were 118 kV in the tube voltage and 1.5 mA in the tube current with the fixed focus film distance of 100 cm with exception of the case of normal radiography.

The dose was measured for the field size of 2 cm × 2 cm under a condition of the magnification ratio of 1, 4 and 8. The skin dose as well as the volume dose showed maximum in 8-fold macroradiography in this experiment, when the distance between the focus and the film was fixed.

The dose was next measured for the field size of 5 cm ×5 cm for 8-fold macroradiography, for the field size of 10 cm ×10 cm in macroradiography in 4-fold magnification or for the field size of 30 cm × 30 cm for normal radiography. The volume dose in the case of the field size of 5 cm ×5 cm in macro-

radiography of 8-fold magnification and that of 10 cm ×10 cm field size of that of 4-fold magnification provide almost the same value while the skin dose of the macroradiography in 8-fold magnification is about four times that in 4-fold magnification.

緒　言

微小焦点管球の普及に伴い，X線診断の分野で拡大撮影を行なう機会は増加しつつある．50μの微小焦点管球を用いた拡大撮影では散乱体の厚さと，MTFの関係から，4倍より8倍位の高拡大にした方がレスポンスが良くなる場合がある[21]．しかし微小焦点管球は容量が小さく高拡大率の撮影を行なうには，管球と患者との距離を近づけなければならない．このとき必然的に患者の被曝線量は増加する．それがどの程度になるかを単純撮影の場合と比較した．又管電圧の違いが被曝線量にどの様に影響するかを検討した．

実験方法

使用したX線管球は東芝製M5118 BX-5089，焦点の大きさは凡そ50μのもの（管球Ⅰとする）及び，ローターノード DRX-91，焦点の大きさ 300μのもの（管球Ⅱとする）である．いずれも単相全波整流回路（60Hz）に接続されている．ファントムは5㎜厚のアクリル板で30×40×50㎝（縦×横×深さ）の水槽をつくり，これに水を満して使用した．水の厚さは，5，10，15及び20㎝の4種になる様にした．焦点フィルム間距離は1mである．被曝線量は，各水の厚さの，ファントムを撮影したとき，フィルム濃度が 1.0になる場合の線量とした．使用したフィルムは Fuji KX，増感紙は極光MSであり，コダック Model M3自動現像装置で33.5℃，3.5分同時現像した．濃度測定には，ナルミ製 NLM-VⅢを使用した．

線量測定には，極光 TLD-1，200熱ルミネッセンス線量計，TLD素子は2㎜φ×10㎜のガラス容器に封入した Mg_2SiO_4: Tb を使用した．蛍光量と，線量の関係は，RadoconⅡ，10MA Chamber（35～ 400KeV，精度±5％）を Mix Dpファントム内で比較することによつて求めた．TLD素子30本の標準偏差は±8％であつた．使用したTLDは裸のままではエネルギー依存性があり，^{60}Co γ線の応答を 1.0とすると 100KeV あたりから応答は急激に大きくなり，40KeV では約4倍の応答を示す．そのため周囲から散乱線も含めた条件で，水の吸収線量を求めるため，TLDと電離箱を，電離箱の大きさも考慮して20×20，厚さ9㎝の Mix Dp ファントムの3㎝の深さに置いて照射することにより，TLDの線量較正を行なつた．尚ファントムの表面の位置の空中線量に後方散乱係数[7]を乗じた値と，その表面のTLDの実測値とは，前記標準偏差内で一致をみたので皮ふ線量とみなした．そしてこの値を 100％として水中の等線量分布曲線を作成した．実験における幾何学的配置図を Fig. 1.A,B に示す．Aは小照射野拡大撮影の場合の皮膚線量及び容積線量を求めるための配置図であり，Bは通常臨床的に拡大撮影を行なっている方式に準じたやり方である．撮影条件は，拡大撮影では，管球Ⅰを使用

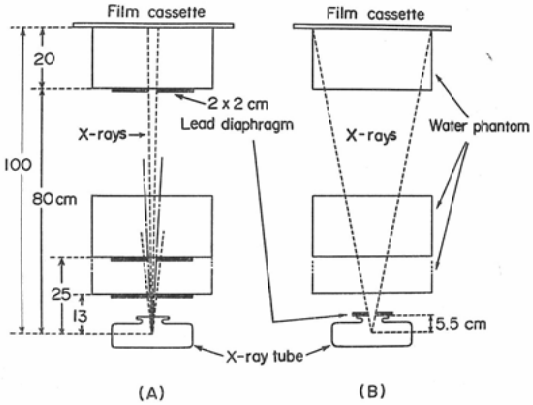


Fig. 1. The geometry of macroradiography of high magnification and conventional radiography.
(A): Field size of 2 cm×2 cm at the surface for magnification ratio of 1, 4 and 8. (B): Radiation mouth of 2 cm×2 cm for macroradiography of 8-fold magnification, for 4-fold macroradiography and for conventional radiography.

し，118KV，1.5mA，単純撮影では管球Ⅱを使用し，118KV，8mA で，いずれも Total filter は2mmAl（HVL＝4mmAl）である．水に対するR値から rad への変換係数 f は使用したX線の半価層から考えて f ＝0.88rad/R とした[4]．

次に種々の管電圧で拡大撮影を行なつたときの被曝線量を知るために，管球Ⅱを使用して，管電

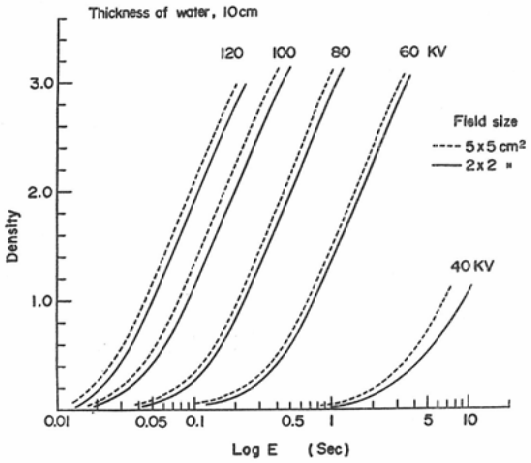


Fig. 2. The density curves for 8-fold macroradiography when the water phantom of 10 cm in thickness was radiographed for 40, 60, 80, 100 and 120 kV.

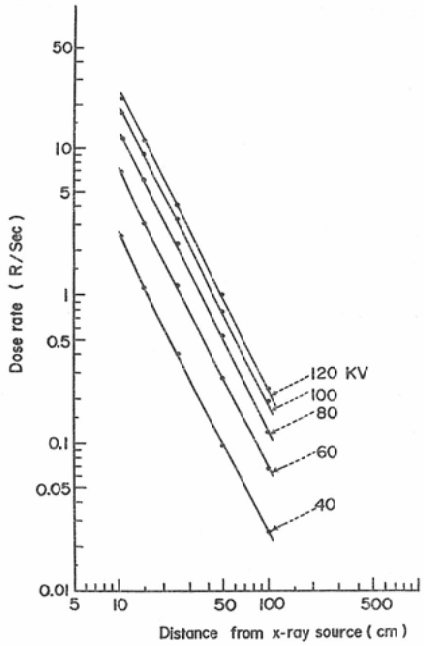


Fig. 3. Air dose rate on the axis of the X-ray beam. Tube current was 12.5 mA.

圧40，60，80，100及び120KV（HVLは，それぞれ1.3，1.7，2.4，3.4，及び4.1mmAlに相当）で水ファントムを撮影し，タイムスケー

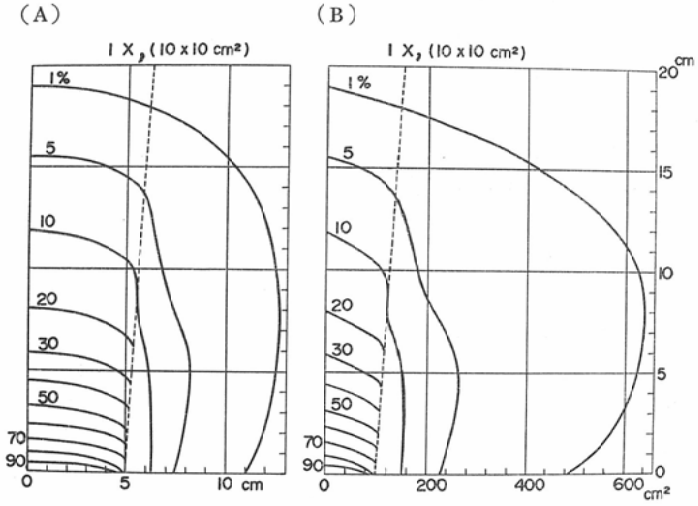


Fig. 4. (A): Isodose curve in water when the conventional radiography is made with the field size of 10 cm×10 cm at the surface and at tube voltage of 118 kV. (B): Modified isodose curve obtained from the left side figure. The volume dose is obtained by measuring the area surrounded by two curves.

ル法により濃度曲線を作成した．この濃度曲線から，フィルム濃度 1.0を得るに要する撮影時間を求めた．濃度曲線の一例をFig. 2に，この管球の単位時間当りのX線出力をFig. 3に示す．両者からフィルム濃度 1.0を得るときの入射X線量を算出した．

容積線量の算出方法

容積線量の算出には，以下の如き簡便法を考案して，実行した．すなわち，SSD＝80cm，照射野10×10cm，厚さ20cmの水ファントムを撮影したときの水中の等線量曲線を Fig. 4,A に示す．この曲線から図式的に容積線量を求めるとき，2つの曲線に囲まれた部分の体積を求めることは容易ではない．今X線錐は，管球焦点を頂点とした角錐とみなすと，水ファントム内で，X線錐の中心軸に垂直な面の等線量曲線は正方形に近似出来る．従つて，この正方形の面積はFig. 4.Aに於て任意の深さで入射面に平行に引いた線とX線の中心軸及び任意の等線量曲線との交点の間の距離をdとすると $(2d)^2$ で表わされる．この面積を，ファントムの全深さについて連続的に求めるとFig. 4, B の如くになる．B図に於て2つの曲線に囲まれた部分の面積をプラニメーターで測定すると，両曲線に囲まれた部分の体積が求められる．この体積の受ける平均の吸収線量を乗ずることによつて容積線量が近似的に求められる．今回示す容積線量はすべてこの方法で求めた．

実験結果

(1)　拡大率による皮膚線量及び容積線量

照射野を常に 2×2cm にして，8倍拡大，4倍拡大及び単純撮影をしたとき，得られた等線量曲線をFig. 5に示す．この等線量曲線をもとに図式計算して求められた容積線量及び皮膚線量を

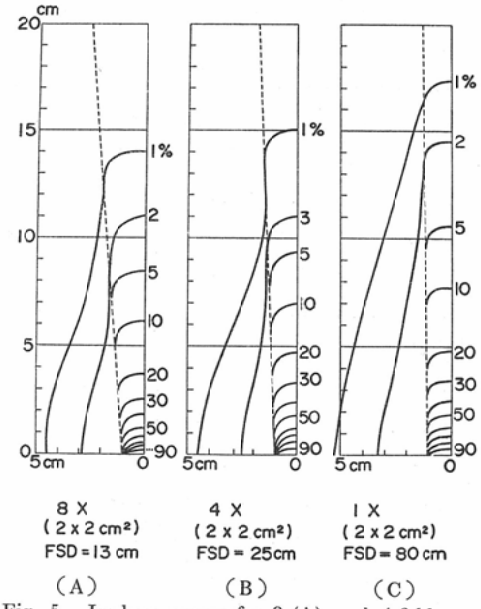


Fig. 5. Isodose curves for 8-(A) and 4-fold macroradiography (B) and for conventional radiography (C) with the field size 2 cm×2 cm.

Table 1. Skin dose, and volume dose when the macroradiography of 8-fold and 4-fold magnification and conventional radiography were conducted with the field size of 2cm×2cm.

Thickness of water	8×（SSD＝13cm） 2×2cm			4×（SSD＝25cm） 2×2cm			1×（SSD＝95～80） 2×2cm		
	S.D.	V.D.	V.M.	S.D.	V.D.	V.M.	S.D.	V.D.	V.M.
5cm	231	3.0	2.0	56.6	0.87	0.8	2.9	0.05	0.03
10〃	722	13.0	6.4	183	4.4	2.6	5.8	0.15	0.05
15〃	2410	44.4	21.1	522	12.2	7.5	18.3	0.52	0.2
20〃	6221	／	54.8	1523	／	21.6	69.6	2.0	0.76

S.D.＝Skin dose (mrad)
V.D.＝Volume dose (g. rad)
V.M.＝Volume dose calculated with Mayneord's formula (g. rad)
S.F.D.＝ 100cm

Table 1.に示す．容積線量の値は，等線量曲線の1％まで算出した．このとき拡大率によつて，焦点—皮膚間距離が異り，しかもＳＦＤが一定であるので，たとえ照射野の大きさが同一でも，水中を通過する直接線錐の体積の大きさは異なる．今水の厚さ20cmについてみると，8倍拡大の場合 258 cm^3，4倍拡大で 162cm^3，単純撮影で99cm^3 となる．この意味でも拡大率の小さい程容積線量は小さくなる．

容積線量は，8倍拡大の場合は4倍拡大に比べると水の厚さが5，10，15cmのいずれの場合も約3倍多い値を示した．一方皮膚線量は約4倍多い値を示した．単純撮影の場合は，被写体がカセッテに近接していて散乱線寄与によるフィルム濃度が増加するので，自ずと露出時間が短くなり，皮ふ線量及び容積線量の値は小さくなつているものと思われる．

(2)　同一X線錐内での拡大率による皮ふ線量及び容積線量

同一X線錐内で，水ファントムのみを移動して，8倍及び4倍拡大撮影及び単純撮影を行なつたとき，得られた等線量曲線をFig. 6に示す．この等線量曲線をもとに図式計算し求められた容積線量及び皮ふ線量をTable 2.に示す．皮ふ線量については，8倍拡大は4倍拡大に比べ，4～5倍多い値を示したが，容積線量は，各水の厚さに対し8倍拡大と4倍拡大とでは± 5.5％の範囲で一致している．Table 1及び2に Mayneord の方法による値も併記した．

(3)　照射野との関係．

今，水の厚さ5cmのとき，8倍拡大で2×2cm及び5×5cmの照射野について比較すると，前者は，容積線量で約$^1/_7$少く，皮ふ線量で約 1.1倍多くなる．4倍拡大では，2×2cm，及び10×10cmの照射野について比較すると，前者は容積線量で$^1/_{24}$少く，皮ふ線量で約 1.2倍多くなる．水の厚さ10cm，及び15cmについても小照射野の方が容積線量は小さいが皮ふ線量は逆に大きい値を示した．

(4)　単純撮影と拡大撮影の比較

単純撮影のときは，容積線量及び皮ふ線量いずれも，高拡大撮影に比較して，はるかに小さい値を示した．しかし，これらの値は grid を用いない場合の値で，特に水の厚さの大きいときは実際の場合と一致しない．今仮に，grid ratio 12の grid を使用して単純撮影を行なつたとすると，露出倍数は3であるから[18]，各値とも3倍して Table 2に加えた．

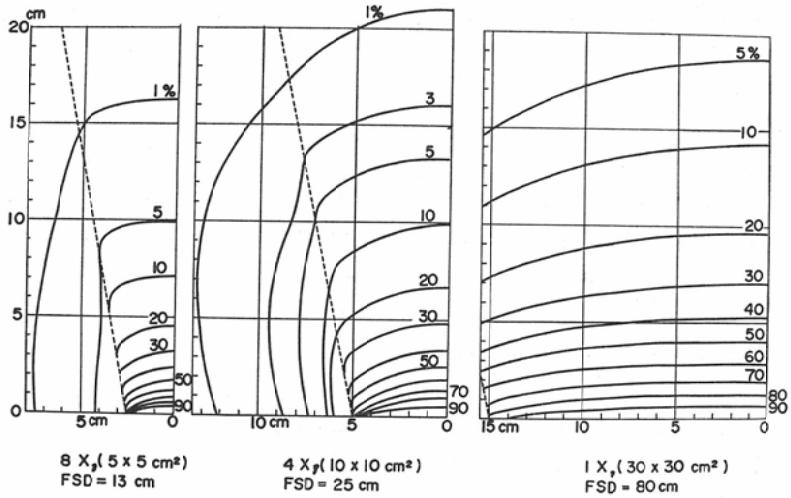
(5)　管電圧による被曝線量の差

前記フィルムの特性曲線と，管球ⅡのX線出力

Table 2. Skin dose, and volume dose when the macroradiography of 8-fold and 4-fold magnification and conventional radiography were conducted with the field sizes of 5cm×5cm, 10cm×10cm and 30cm×30cm respectively.

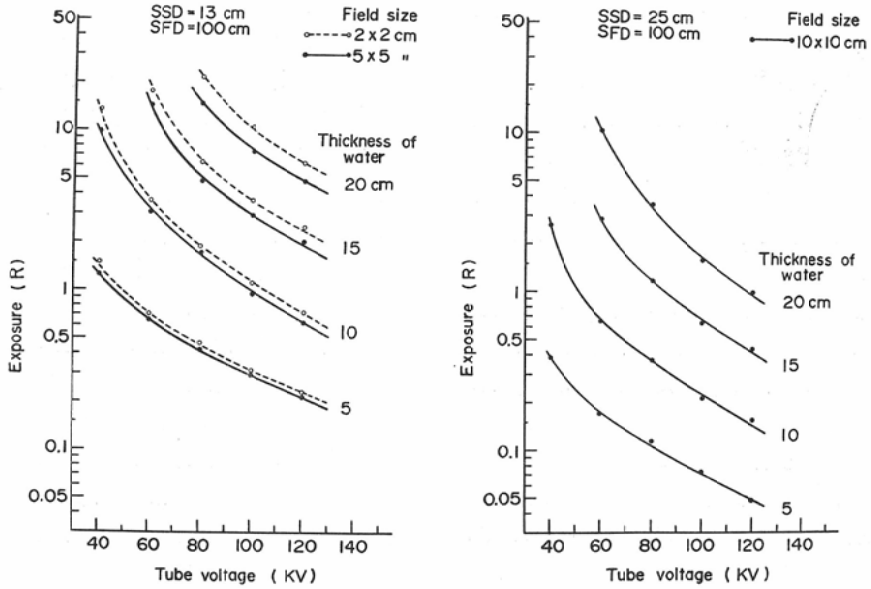
Thickness of water	8×（SSD=13cm） 5×5cm			4×（SSD=25cm） 10×10cm			1×（SSD=95～80） 30×30cm		
	S.D.	V.D.	V.M.	S.D.	V.D.	V.M.	S.D.	V.D.	V.M.
5cm	219	21	28	48	21	18	1.2 (3.6)	3.6 (10.8)	5.1
10〃	653	87	65	148	97	56	4.4 (13.2)	18 (54)	20
15〃	1984	313	233	426	326	169	9.5 (28.5)	45 (135)	50
20〃	5003	792	522	1218	810	423	23.3 (70)	110 (330)	137

S.D. =Skin dose (mrad)
V.D.=Volume dose (g. rad)
V.M. =Volume dose calculated with Mayneord's formula,
The number in parenthesis shows skin dose and volume dose when grid is used (grid ratio 12).
S.F.D.= 100cm



(A) (B) (C)

Fig. 6. Isodose curves for 8-fold macroradiography (A), 4-fold macroradiography (B) and conventional radiography (C).



(A) (B)

Fig. 7. The exposure in air to produce the density of 1.0 on the film, when the water phantom, having a thickness of 5 to 20 cm, was radiographed for various X-ray energies.

(A): Macroradiography of 8-fold magnification.

(B): Macroradiography of 4-fold magnification.

とからフィルム濃度 1.0を得るに必要な入射X線を各管電圧について求めたものをFig. 7に示す．8倍拡大（A），4倍拡大（B）いずれの場合も，管電圧を高くすれば，入射X線量は急激に少くなる．又8倍拡大の場合は4倍拡大に比較して，約4倍の線量が入射し，逆二乗則が成り立つている．又水の厚さが5cm増すと，いずれの拡大率の場合も，各管電圧について，約3倍の入射X線量増加となる．一方8倍拡大に於て照射野の違いによる被曝線量は，水の厚さの厚い程，小照射野の方が入射X線量が増加することが分る．

考　按

(1)　本研究で使用したTLD素子の118KV，X線に対する感度は ^{60}Co γ線に対して 3.5倍であり，エネルギー依存性をもつている．しかし118KVX線について Radocon II 10MA chamber を水中で同時曝射し，深部率曲線を比較すると，水深30cmまで±8％の範囲内で両者の値は一致しているので[11]，線質の変化によるエネルギー依存性に対する補正は行なわなかつた．実効原子番号は11.1である[10]．

(2)　皮ふ線量を厳密に測定するには種々の報告がある[8)9)16)17)]．使用したTLDは有限の大きさをもつているため，皮ふ面の正確な吸収線量を求めるには適していない．しかし前記較正法で求めれば，TLDの誤差範囲に入り，この実験では充分と考えた．

(3)　容積線量の測定には，Mayneord の方法[12]，エネルギー束による方法[14]，化学線量計による方法[3)6)15)20)]，その他諸家が便宜的に種々の方法[1)2)5)18)]を用いて求めている．これらの大部分は，放射線治療時の容積線量を求めることを目的としている．X線撮影時の低線量の被曝線量を問題として，容積線量を求めることは，これらの方法では困難である．TLD素子は，形状が小さいわりに，高感度であり，診断域のX線量の測定を可能にした．我々は，これを用いて，水中の等線量曲線を実測で求め，図式的に容積線量を計算した．等線量曲線が形成する不規則な曲面にかこまれた体積を求めるのに，接線法により分割して計算することも出来るが，プラニメーターによる方法は，時間的にも早く求めることが出来，精度もよい．今仮に，底面積10×10cm，高さ10cmの角錐について，この方法で体積を求めてみると，計算値に対し，1％以内の精度で体積が得られた．

(4)　小照射野で，拡大撮影を行なうとき，大照射野の場合に比して容積線量は著しく減少するが，皮ふ線量は逆に増加するのは，Fig. 2の濃度曲線にもみられる様に，照射野が大となると，散乱線寄与によるフィルム上の線量が増加するため，同一フィルム濃度を得るには，小照射野程入射X線量は大となり，皮ふ線量は増加するものと思われる．

(5)　高拡大撮影を行なえば，皮ふ線量や容積線量は多くなる．これが8倍拡大撮影を行なうときに，照射野を2×2cmで行なう理由である[19]．つまり拡大撮影を行なうときは，単純撮影を行なう場合以上に，照射野を出来るだけ小さく限定して行なうことによつて，容積線量を著しく減少さすことが出来，これは生殖腺線量及び骨髄線量等，他臓器への寄与を減少さすことをも意味する．

(6)　水の厚さ5cmから20cmのファントムを，40KVから 120KVで8倍ないし4倍拡大撮影し，フイルム濃度 1.0を得ようとするとき，入射X線量がどの程度になるかを知ろうとするとき，Fig. 7が役立つ．一方被曝線量を指定の線量以下に押えて撮影したいときは，管電圧を少くとも何KV以上にしなければならない，ということも分る．今1R以下で8倍及び4倍拡大撮影を行なおうとすると，8倍拡大では，水の厚さ10cmのとき100KV以下では撮影出来ない．しかし4倍拡大なら50KVまで管電圧を下げて撮影可能である．

結　論

50μ微小焦点管球を用いて管電圧 118KV，焦点フイルム間距離を一定にし，被写体を動かして拡大率を加減し，拡大撮影を行なつた場合，患者の受ける皮ふ線量及び容積線量を測定した．又管電圧と入射X線量との関係も求めた．

(1)　照射野を2×2cmに一定して8倍，4倍拡大及び単純撮影を行なつてみると，容積線量と

皮ふ線量は，高拡大率になる程大で，4倍拡大に対し8倍拡大では，容積線量で約3倍，皮ふ線量で約4倍であつた．

(2) 一定の拡がりを有するX線錐内で，被写体のみを動かして拡大撮影を行なう場合，被写体の厚さが同じなら8倍拡大であろうと，4倍拡大であろうと，容積線量は殆んど等しかつた．しかし皮ふ線量は，8倍拡大の方が4倍拡大より約4倍多い値を示した．但し8倍拡大撮影の場合の照射野の大きさは$^1/_4$である．

(3) 水の厚さにして5㎝から20㎝のものを種々の管電圧で，8倍及び4倍拡大撮影したとき，管電圧の高い程，同一フイルム濃度を得るに必要なX線量は著しく少くてすむ．

本論文の要旨は第46回，日本医学放射線学会中部地方会（昭和46年6月13日）及び第23回物理部会（昭和46年10月9日）に於て発表した．

高橋信次教授の御校閲に対し深く感謝の意を表します．

文　献

1) Carlsson. C,: Acta. Radiol. 1, 6, (1963), 433—458.
2) Carlsson. C,: Acta. Radiol. 3, 4, (1965), 310—326.
3) 計屋慧実，竹井力：日本医放会誌，27，8(1967)，1093—1100.
4) ICRU.: Report. 17, Radiation Dosimetry: X-Rays Generated at Potentials of 5 to 150 KV. (1970), p. 28, 4201 Connecticut avenue, N.W. Washington, D.C. 20008 U.S.A.
5) 飯田博美：日本医放会誌，19，12 (1960)，150—154.
6) Johns, H.E.: Radiation Dosimetry, Vol. III, edited by F.H. Attix and E. Tochilin. (1969) p 733—736, Academic Press, New York, London.
7) Johns, H.E.: The physics of Radiology (1966) p. 704, Thomas, Illinois, U.S.A.
8) Johns, H.E., Epp, E.R., Cormack, D.V. and Fedoruk, S.O.: Brit. J. Radiol. 25 (1952), 302—308.
9) Kemp, L.A.W. and Burns, J.E.: Acta. Radiol. 49 (1958), 471—484.
10) 極　光X-ray No. 23 (1971) p 64.
11) 前越　久，古賀佑彦：廻転横断撮影時の患者被曝量，日本医放会誌掲載予定.
12) Mayneord, W.V.: Brit. J. Radiol. 13 (1940), 253—257.
13) 宮川正他：日本医放会誌，14，8 (1954)，30—42.
14) 岡島俊三：日本医放会誌，19，12 (1960)，1—8.
15) 岡島俊三，計屋慧実：日本医放会誌，28，1 (1968)，64—67.
16) Richardson, J.E., Kerman, H.D. and Brucer, M.: Radiology. 63 (1954), 25—36.
17) 白貝彰宏，野田博治：日本医放会誌，28，1 (1968)，68—71.
18) 高橋信次：X線撮影と検査の手引き (1964)，p 56，南山堂.
19) 高橋信次，佐久間貞行：X線撮影とX線検査，(1972)，p 490，南山堂.
20) Taplin, G.V: Radiation Dosimetry, edited by G.J. Hine and G.L. Brownell (1960), 358—451. Academic Press, New York.
21) 佐久間貞行，綾川良雄，前越久，藤田恒治，石垣武男，小原　健：日本医放会誌，31，10 (1972)，45—51.