



Title	一放射線被曝例に対する線量の推定
Author(s)	竹下, 健児; 片山, 仁
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1964, 23(11), p. 1339-1344
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16576
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

一放射線被曝例に対する線量の推定

九州大学医学部放射線医学教室（主任 入江英雄教授）

竹 下 健 児 片 山 仁

（昭和38年12月7日受付）

Dose Estimation of Limited Exposure Using Old X-ray Unit

By

Kenji Takeshita and Hitoshi Katayama

Department of Radiology, Faculty of Medicine, Kyushu University

(Director: Prof. H. Irie)

Dose estimation was tried for a laboratory worker photographing the X-ray diffraction pattern of metals, whose right hand (Phalanx III) was injured by X-rays of a mechanically rectified X-ray unit, in conditions of 40 KVP, no filter and at FSD 30 cm, during 1920 to 1921 and also 1923 to 1934.

Radiation dose was evaluated from both the old references about the early X-ray apparatus and the measured values of present day machines.

Estimated value for his fingers was 21000r.

I. 緒 言

放射線障害の中で、職業病としての身体障害の問題については、古くから学界に散見されており、又誤った事故としての放射線障害の例も報告されて来た。明らかに放射線障害と診断され、これに対する治療を行なうという場合、どの程度の被曝を受けたかという線量の推定が重要なことは勿論である。しかも完全な回復が見られず後遺症として残る場合に、職業病又は事故につきものの災害補償という困難な問題が生じてくる。

先に中泉¹⁾はこの種の係争に対する鑑定書の中で、災害補償としての放射線障害の認定に対して専門医の立場を明確に示した。

ここで当然考えられることは、1)あらゆる面を綜合して絶対に放射線障害と診断される場合、2)被曝の前後時期に身体的欠陥があつて、放射線障害が外見上助長される場合、3)全く無関係な別の作用が働いて誤つて放射線障害とみなされる場合、等その判定に当つて最も重要であり且困難を

伴うのは被曝線量の推定という裏付であろう。特に放射線被曝という事態の発生は、もともと被曝者がそれと感ずる以前の場合が多く、更に放射線障害がかなり晩発性であることから発見が遅れ、被曝の状況を再現して線量測定を行なうことの不可能な場合が屢々あることである。

著者らは最近一放射線被曝例について、被曝線量の物理学的考察を加えたので報告する。放射線障害としては軽度であつたが、災害補償という立場から被曝線量を推定することが多くの問題点を含み、生易しいものではないことの一例となれば幸である。

II. 臨床所見

患者 大〇〇一 明治34年9月6日生

既往歴 特記すべきことなし。

家族歴 子供3人、すべて健康（昭和6年結婚、昭和9、11、13年に3子をもうく）。

被曝歴 大正9年より放射線作業に従事し、大正10年6月皮膚科受診、治療を受けた。大正12年

Table I. Length of the finger in cm.

	I	II	III	IV	V
Left hand	6.0	7.5	8.3	7.7	6.1
Right hand	6.0	7.0	7.8	7.5	6.0

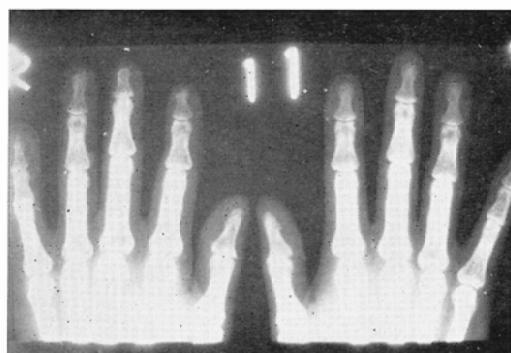


Fig. 1

より同じ作業に従事し、昭和9年まで継続今日に至る。昭和37年7月当科受診。

現症 体格中等度。栄養状態良好。貧血、黄疸共にない。角膜異常なし。右手以外の顔面、軀幹、下肢等の皮膚には全く異常を認めない。体表のリンパ節腫大認めず。胸部は理学的には呼吸音異常なく、心音も清である。腹部は肝、脾、腎共に触れず、腫瘤、抵抗もない。腱反射正常。感

覚、運動は右手以外異常ない。

局所的には、右第II、III、IV、V指に感覚異常があり（過敏）、各指ともほぼ中央より末端は一部ケロイド形成し、光沢を帯びる。又色素沈着と脱出を不規則に混合し、指紋は一部消失、一部浅くなっている。毛細血管拡張はない。当該皮膚はやや乾燥するも亀裂、潰瘍、結節等は認めない。爪の変形は著明である。指の長さは左側に比べて右側が短小である。指の長さを Table I に示した。

次に手のX線写真を観察してみると、骨の変化は主として末節骨に認められる。即ち右側では *Tuberositas unguicularis* の変形或は一部消失。骨梁の乱れ、体部の短小が目立つ。Ca の沈着状態は肉眼的にはあまり差がない。X線フィルム上の各指骨の長さを表にすると Table II の如くである（撮影はFSD 103cm）。

血液所見につき最近5年間の成績をみると Table III の通りである。

以上臨床所見の大要であるが、X線被曝による変化が、主として右手指の皮膚、骨にきた症例である。放射線の骨の発育に及ぼす影響は、骨発育の旺盛な幼児期より小児期にかけて大であるのが普通で、放射線診断、治療上しばしば問題とされている。本例は就業時19才であつて、まだ少し成

Table II Length of the phalanx in cm.

		I		II		III		IV		V	
		L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.
Phalanx	I	3.1	3.1	3.8	3.8	4.4	4.3	4.0	4.0	3.1	3.1
Phalanx	II			2.3	2.2	2.8	2.7	2.5	2.5	1.7	1.4
Phalanx	III	2.3	2.4	1.8	1.2	1.8	1.3	1.8	1.8	1.6	1.4

Table III Blood picture of this patient in the last 5 years.

	1958, 11	1959, 11	1960, 12	1961, 7	1962, 7	1963, 9
Hemoglobin (%)	90	107	97	91	99	85
R.B.C. counts per mm ³ ($\times 10^4$)	328	397	457	425	465	402
W.B.C. counts per mm ³	3,700	6,000	7,500	3,800	4,000	5,000

長期にあつたため骨変化を来したのではないかと考えられる。

(参考文献 神中²⁾, 立花³⁾, 古賀他⁴⁾, 江藤他⁵⁾)

III. 被曝線量の物理学的考察

A. 被曝の条件

この例は金属材料のX線回折撮影を行なつてきた研究者であり、X線回折装置でその都度X線束の centering を行なつたために、右手指先のみ局所被曝を受けたものである。被曝の状況については Table IV に示す様に、大正9年(1920)12月より昭和9年(1934)5月まで、種々の管球を用いて約280枚の撮影を行なつたという記録がある。

被曝者は大正10年(1921)に皮膚に異常を認め、皮膚科受診、治療を受けているので、先ず線量推定の目標を最初の被曝即ち大正9年12月から翌年5月に至る初期の期間において検討した。

大正9年頃の医学用全波整流X線装置で、管電圧40KVp、電流2mA、no filter、FSD 30cm という条件は分つているが、装置は現在廃棄され型式も不明である。滝内⁶⁾によると、当時島津製交流型機械的全波整流X線装置があり、最高120KVp、最大電流80~120mAで、実際に治療を行なつた例としては100KVp以下、電流2mA、20~30分照射程度である。当時は紅斑量HEDを基準にしていたが、治療にはすべてfilterを使用し、所謂治療量から今日の照射線量、特にこの例の様に低電圧、no filterでの条件を類推することはかなり危険を伴うものと予想される。もしHEDだけを手がかりに線量測定を行なうのであ

れば、動物実験によつて皮膚反応を確かめること以外に確実な方法がないことは明白である。

B. 文献的考察

中島の及び Küstner は W Target のX線管によつて得られる連続X線スペクトルについて述べているが、190KVpで基準となる0.5mmCu + 1mmAlのfilterの有無によるスペクトルの変化から、X線量の比を假にこのスペクトルの面積比として求めてみると、no filterでは6~7倍の線量増となる。

次に no filter と称する照射の実験で、r単位で空中線量を測定した報告を参照すると、福田⁷⁾は昭和5年までの種々のX線発生装置についてX線量と整流波形との関係を求めているが、機械的全波整流の場合、60KVp、電流3mA、no filter、FSD 23cmにおける線量を42.4rと報告している。

i を電流 (mA)、Z を Target の原子番号、V を管電圧 (KVp) とすると、X線量Eは

$$E = KiZV^2 \quad (1)$$

で与えられる。(1)式により福田の測定値を用いて、40KVp、2mA、FSD 30cmの被曝状況に換算すると、線量率は7.5r/minとなる。

宮崎⁸⁾は昭和4年当時、Siemens & Halskeの Stabilivolt (ケネトロン整流)を用いた照射実験において、120KVp、電流3mA、no filter、FSD 30cmでのX線量を Küstner線量計により、Table Vの如く57.5 R/minと報告しているが、藤野¹⁰⁾は昭和8年頃、東電H型120KVp、電流3mA、no filter、FSD 23cmで95.3r/minと報告した。

この他 no filterでの測定値は岩佐¹¹⁾、西川他¹²⁾にも報告があるが、記録が不十分であつたりし

Table IV. Occupational exposure photographing the X-ray diffraction pattern of metals.

Durings of the operation	Times of the photographing	X-ray apparatus			FSD (cm)
		Target material	Tube volt. (KVp)	Current (mA)	
1920 Dec.—1921 May	45	W	40	2	30
1923 Aug.—1926 Apr.	(71)	Mo	40	10	30
1927 Feb.—1930 Mar.	(134)	Fe	30	6	30
1934 Jan.—1934 May	29	Mo	40	7	30

Table V. X-ray dose rates with no filter.

X-ray apparatus			FSD (cm)	Dose rate (r/min)	Reference
Type	Tube volt. (KVp)	Current (mA)			
Mechanical rectifier (Full wave)	60	3	23	42.4	Fukuda (1930)
Stabilivolt (Full wave)	120	3	30	57.5*	Miyazaki (1929)
Tokyo Electric H-type (Half wave)	120	3	23	95.3	Fujino (1933)
Sirius (Half wave)	40	2	30	10.0	Takeshita (1963)
Shin'ai (Condenser input full wave)	80	3	30	25.3	"

* The old roentgen unit, R/min

て採用出来なかつた。又医療用X線装置は、初期の頃から皮膚障害を考慮して filter の重要性をとり上げていたため、no filterによる実験例の少いことは止むを得ないものである。

整流方式の補正はD項において述べる。

C. 実測値

以上の様な昭和初期における報告値によつて、当時使用されていた諸装置の no filter での線量率について大体の線は出て来たが、これらの諸測定は、何れも国際r単位の採用以降のものであること、この例の様に低電圧に直接関するものではなかつたこと等の理由により、大正9年当時の機械を組立てて実測出来れば最上の策であるが、少くとも現在の装置で出来る限り状況を再現して、測定してみることは意義がある。但し機械的全波整流に対する補正は後で加えるものとする。

先ず第一に、島津製「信愛」を用いて実験を行なつた。測定には Eichstandgerät 161を用い、no filter における線量率を求めた。(本機の性能を示すと、190KVp (平滑)、電流 2mA、0.5mmCu + 1.0mmAl、照射野 $6 \times 8 \text{ cm}^2$ 、FSD 23cmにおいて37.5r/minである。これはVictoreen condenser chamber, Model 154で実測したものである)。この装置の最低電圧 80KVp、電流 3mA、no filter、FSD 30cmでの線量率は、Eichstandgerät によると25.3r/minであつて、これを(1)式により40KVpの被曝条件に換算すると4.2r/minになる。線源・測定器間の空気層による吸収の問題は、セロン板による補正を必要とするが、約160cmの空気層に対して、0.4mm厚のセロンによる減弱の割合は約3%であつたことを記録

するに止めておく。

次に大阪レントゲン製「Sirius」を用いて、蓄放式を外して半波整流とし、filterを除去した状態で、電流 2mA、FSD 30cmの線量率を求めた。電圧は34~59KVpの間で変化させ、内挿法により40KVpの値を得た。線量測定にはSiemens社製 Universal Dosismesser, Weichstrahlenkammer (適用範囲25~80KV, HVL 0.2~4mmAl)で、得られた結果は10.0r/minであつた。

これらの実測値は Table V に掲げた。

D. 整流方式による補正

福田²⁾は、種々のX線発生装置について、整流方式によるX線量を求めているが、60KVp、電流 3mA、no filter、FSD 23cmの値から、機械的全波整流に対する他の整流によるX線量の比を求めることが出来る。この比は、自己整流1.13、半波整流1.48 (無接地)~1.25 (陰極接地)、定電圧 (蓄電器式) 1.89となつた。

従つて Table V に得られた各報告者の線量率を、(1)式を用いて被曝時の条件に換算し、上記の整流方式による補正を加えると、交流型機械的全波整流の場合のX線量率に相当した数値を得ることが出来る。即ちTable VIの第1行の如く、7.5~2.2r/minとなる。

E. 積算線量の算定

この被曝者は、大正9年12月より6カ月間にX線回折を計45回行なつており、X線束に対する centering 操作のため、直接X線を発生させながら作業を行なつて来た。この調整時間は10~15分ということで、これは記憶による作業時間であるため多分に誤差を含むことは勿論であるが、最少

必要時間を一回につき10分とすると、この時期での全照射時間は450分となる。Table Vに示した各線量率で積算した照射線量は、3,400~980rとなる。特に軟線であつて、分割照射とはいえ充分皮膚反応は起し得るものと考えられ、勿論防護設備は不完全で全身被曝もかなり有るものと思われる。

その後皮膚科において治療を続けながら、大正12年より昭和9年まで約230枚のX線回折を行なつて来たが、Table IVに示した様に、昭和2年以降金属試験用装置を用い、又管球(或はTarget)を取換え電圧も異にしている。この期間の撮影記録には幾分あいまいな箇所もあり、Target、電圧の違いは(1)式で補正し、撮影枚数も最も妥当な推定値をTable IVの()内に示した。初期の照射線量率をそのまま適用すると、後期の被曝はTable VIの様に20,000~5,900rとなる。

Table VI. Exposure dose applied to the A.C. mechanically rectified X-ray apparatus (40KVp, 2mA, no filter, FSD 30cm).

Dose rate (r/min)	Integrated dose (r)			Reference
	1920—1921	1923—1934	Total	
7.5	3,400	20,000	23,400	Fukuda
2.4	1,080	6,400	7,480	Miyazaki
2.4	1,080	6,400	7,480	Fujino
6.9	3,100	18,000	21,100	Takeshita
2.2	980	5,900	6,880	"

以上を総合して、右指先に受けた全照射線量は文献的に見て23,000~7,500r、現在の装置による実測からの見積りは上記の如く種々の方法で試みると21,000~6,900rであるが、最も当時の条件に近いと思われる Sirius 40KVp, no filter の実測では、初期の6カ月で3,100r、昭和9年まで全線量21,000rとなっており、文献的にも福田の測定値がかなり低電圧であり、これでは初期に3,400r、全線量23,000rで、この両者が推定値としては一番妥当なものではないかと思われる。

IV. 考 按

この被曝例は、臨床所見から極く一部分に限定

されており、全身的な影響は全く見られない。従つて専ら右指先に対する照射線量のみについて検討した。この様な例は、理工学系研究者に案外多いのではないと思われるが、非常に初期のX線装置であつて殆ど防護設備もなく、管球自体今日のものとは大差があるものとみられる。この被曝者は撮影中、装置が動いているかを調べるために、かなり頻りに室内に出入りしているし、上記の諸条件を考えて多くの軟線、散乱線による全身被曝もかなりあつたものと推定される。

得られた積算線量は23,000~6,900rであつて、この推定値の中は相当に大きいけれど、文献的な考察と、現在の装置による見積りとから、最も正しい推定値として23,000~21,000rをとつて差支えないであろう。他の値はすべて電圧が高く推定に無理があると考えられる。

この様な線量で皮膚障害ひいては末節骨の短縮が起りうるかということになると、これは問題が大きくなり過ぎ、ともかくこの程度の照射線量で、電圧も低くno filter、近距離照射であつたために放射線障害を現出したものと考えられる。或は全身被曝の影響が、局所的皮膚障害をいくらか助長したかも知れないが、現在の全身状態については何ら変化を認めていない。併し、この場合は、前歴と臨床所見から放射線障害ということは明らかであつた。

この様なことから、放射線障害による後遺症という判定を下したが、先にも述べた如く職業病としての災害補償という点において、著者らは充分の裏付けを必要とした。この被曝線量は推定のための記録、装置の条件についてのみ正当なものであつて、これ以上の推論の余裕をもたない。たまたま撮影記録が完全に近くこの様な手がかりを得たために被曝線量推定にふみ切れた訳であつて、再現して実測出来なかつたことは遺憾である。今後放射線障害がいろいろの形で現れて来るものと思われるが、この機会に線量推定の困難性を強調しておくものである。

この研究の概略については第16回日本医学会総会シンポジウム主題43において発表した。御指導、御校閲を賜つた入江英雄教授に深く感謝すると共に、放射線医学教室員及びX線技師の方々に謝意を表する。

文 献

1) 中泉正徳, レントゲン診断の後に発生したる皮膚障碍に関する鑑定書, 日本「レ」会誌, 12, 456, 1934. — 2) 神中正一, 神中整形外科, 昭15, 南山堂刊. — 3) 立花武比古, レ線治療による趾骨及び趾骨发育障碍例, 臨床放射線, 3, 402, 1958. — 4) 古賀正道他, 職業上発生したX線皮膚癌の1例, 臨床放射線, 7, 251, 1962. — 5) 江藤秀雄他編, 放射線医学, 1959年, 医学書院刊. — 6) 滝内政治郎, 私信

— 7) 中島良貞, レントゲン学講義第1巻, 昭8, 南山堂刊. — 8) 福田篤一, レントゲン装置の波形的研究, 日本「レ」会誌, 8, 1, 1930. — 9) 宮崎道隆, レ線の致死量に就て, 日本「レ」会誌, 7, 505, 1929. — 10) 藤野守一, レ線放射家兎血清の生理的作用, 日本放射線医学会雑誌, 1, 35, 1933. — 11) 岩佐健次, 日本「レ」会誌10, 7, 1932. — 12) 西川正治他, 日本「レ」会誌12, 187, 1934.