

DOSE TO BONE MARROW AND GONADS FROM CHEST EXAMINATIONS

CALCULATIONS BY ELECTRONIC COMPUTER

電子計算機による胸部X線検査の骨髄・生殖腺線量

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. 安徳重敏

ROY C. MILTON, Ph.D.



TECHNICAL REPORT SERIES

業 績 報 告 書 集

The ABCC Technical Reports provide the official bilingual statements required to meet the needs of Japanese and American staff members, consultants, advisory councils, and affiliated government and private organizations. The Technical Report Series is in no way intended to supplant regular journal publication.

ABCC業績報告書は、ABCCの日本人および米人専門職員、顧問、評議会、政府ならびに民間の関係諸団体の要求に応じるための日英両語による記録である。業績報告書集は決して通例の誌上発表に代るものではない。

DOSE TO BONE MARROW AND GONADS FROM CHEST EXAMINATIONS
CALCULATIONS BY ELECTRONIC COMPUTER

電子計算機による胸部X線検査の骨髓・生殖腺線量

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D.^{1†} 安徳重敏

ROY C. MILTON, Ph.D.²

Approved 承認 23 February 1967



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION
HIROSHIMA AND NAGASAKI, JAPAN

A Cooperative Research Agency of
U.S.A. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES · NATIONAL RESEARCH COUNCIL
and
JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH OF THE MINISTRY OF HEALTH AND WELFARE
with funds provided by
U.S.A. ATOMIC ENERGY COMMISSION
JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH
U.S.A. PUBLIC HEALTH SERVICE

原 爆 傷 害 調 査 委 員 会

広島および長崎

米 国 学 士 院 - 学 術 会 議 と 厚 生 省 国 立 予 防 衛 生 研 究 所
と の 日 米 共 同 調 査 研 究 機 関

米国原子力委員会、厚生省国立予防衛生研究所および米国公衆衛生局の研究費による

Departments of Radiology¹ and Statistics²

放射線部¹ および統計部²

[†] *Research Institute for Nuclear Medicine and Biology, Hiroshima University; Visiting Research Associate, ABCC*

[†] 広島大学原爆放射能医学研究所、ABCC客員研究員

ACKNOWLEDGMENT

感謝のことば

The authors are indebted to Drs. Walter J. Russell, Chief of Department of Radiology, ABCC; Haruma Yoshinaga, Professor, Department of Experimental Radiology, Faculty of Medicine, Kyushu University; and Kenji Takeshita, Professor, Department of Radiation Biology, Research Institute for Nuclear Medicine and Biology, Hiroshima University for their direction throughout this work. They express thanks to Mr. Masayoshi Mizuno of ABCC Department of Radiology for his outstanding technical assistance.

本研究を通してご指導を仰いだ ABCC 放射線部部长 Dr. Walter J. Russell, 九州大学医学部放射線基礎医学教室教授吉永春馬博士, 広島大学原医研障害基礎研究部門教授竹下健児博士に感謝の意を表する。技術的な面でいろいろとご援助をいただいた ABCC 放射線部水野正義氏に深謝する。

CONTENTS

目 次

Introduction 緒 言	1
Materials and Method 材料および方法	2
Experimental Procedure 実験方法	4
Computer Calculation of Dose 電子計算機による線量の計算	7
Application of Bone Marrow and Gonadal Dose Table for ABCC Subjects	
骨髄および生殖腺線量表の ABCC 調査対象への適用	18
Discussion 考 察	21
Summary 要 約	23
References 参考文献	24

Table 1. Location of chamber in human phantom

表 人体ファントムにおける電離槽の位置	3
2. Distribution of Active Bone Marrow	
活性骨髄の分布	6
3. Chamber dose in PA chest examination	
胸部背腹方向 X 線検査の電離槽線量	8
4. Dose after attenuation of direct beam in plain block phantom	
無骨ブロックファントム中の直接線の減弱	9
5. Dose after attenuation of outside beam in plain block phantom	
無骨ブロックファントム中の散乱線の減弱	11
6. Correction factor for computation of scattered radiation	
散乱線計算のための補正係数	11
7. Identification of field size	
照射野	12
8. Bone marrow dose—inside beam	
骨髄線量—直接線	14
9. Bone marrow dose—outside beam	
骨髄線量—散乱線	14
10. Bone marrow dose—total dose	
骨髄線量—全線量	15
11. Gonadal dose	
生殖腺線量	15
12. Mean bone marrow dose	
平均骨髄線量	20
13. Mean gonadal dose	
平均生殖腺線量	20
14. Distribution of exposures by bone marrow dose increments	
一定範囲の骨髄線量に対する照射数の分布	20

15. Distribution of exposures by gonadal dose increments 一定範囲の生殖腺線量に対する照射数の分布	21
16. Comparison of gonadal dose data 生殖腺線量値の比較	22
17. Comparison of bone marrow dose data 骨髄線量値の比較	23
Figure 1. Entire Mix-D phantom containing skeleton	
図 人骨を含むMix-D人体ファントーム	3
2. Plain Mix-D phantom 無骨Mix-Dファントーム	3
3. Lattice system 格子系	5
4. Attenuation of direct beam in plain block phantom 無骨ブロックファントーム中の直接線の減弱	10
5. Field size according to sections in the phantom ファントームの区分による照射野	12
6. Total bone marrow dose—No cone 全骨髄線量—照射筒なし	16
7. Total bone marrow dose—19.5 cm cone 全骨髄線量—19.5cm照射筒	17
8. Total bone marrow dose—13.5 cm cone 全骨髄線量—13.5cm照射筒	17
9. Total bone marrow dose—11×14 inches 全骨髄線量—11×14インチ	17
10. Total bone marrow dose—10×12 inches 全骨髄線量—10×12インチ	17
11. Relationship between field size and total bone marrow dose 照射野と全骨髄線量との関係	19

DOSE TO BONE MARROW AND GONADS FROM CHEST EXAMINATIONS

CALCULATIONS BY ELECTRONIC COMPUTER

電子計算機による胸部X線検査の骨髄・生殖腺線量

INTRODUCTION

In studying possible late radiation effects among survivors of the atomic bombs in Hiroshima and Nagasaki, a number of assessments have been made by ABCC of dose due to ionizing radiation of the bombs.^{1,2} Contribution of diagnostic medical X-ray is considered an important source of exposure of populations in general, and particularly among the exposed populations in Hiroshima and Nagasaki. Determination of dose by medical X-ray is of special importance because of the continuing studies for detection of late radiation effects.³ Conceivably, the cumulative dose from diagnostic medical X-ray might approximate that of partially shielded exposed individuals who were located some distance from the hypocenter, and in some instances exceed that of distant or heavily shielded persons. It is also conceivable that individuals who were closer to the bombs might receive more frequent X-ray examinations than those who were at greater distances or were not in the cities, either because of more readily available and less costly medical care,⁴ or because of anxiety, or both.

Based on a survey of ABCC subjects, dose to the bone marrow and gonads by diagnostic medical X-ray was determined previously,⁵ but that study incorporated a 4-month period of interrogation of subjects with a 3-month recollection on their part. No reliable dose ranges were compiled because of the relatively small number of exposures for each type of examination. An additional larger-scale survey of subjects was therefore performed, and it yielded a large number of chest exposures. Our past experience with the time and effort required for manual dose calculations prompted us to devise a means of making the calculations by electronic computer.

ABCC subjects report regularly for biennial examinations, and details of this program are described elsewhere.³ Our general procedure for assessment of medical X-ray

緒言

広島および長崎の原爆被爆者に考えられる被爆の後影響の調査については、原爆の電離放射線による照射線量推定のいくつかの試みがABCCで行なわれてきた。^{1,2} また診断用X線に基づく線量も一般人にとって、特に広島および長崎の原爆被爆者にとっては重要な放射線源を成すものと考えられている。この診断用X線による被曝線量を明確にすることは、被爆の後影響検索の努力が続けられている事実からみて特に重要である。³ 診断用X線から受ける集積線量は、爆心地から、かなりの距離でしかも局部的遮蔽下にあった被爆者の線量に近いものがあるかもしれない、またある場合は遠距離被爆者ないし重遮蔽下被爆者のそれを上回ることもある。また、近距離被爆者は医療が受けやすく、しかもそれが安価に受けられる立場にあることから、⁴ あるいはまた不安をもつところから、またはこの2つの理由があいまって、遠距離被爆者ないし市内にいなかった者に比べてX線検査を受ける機会が多いということも考えられる。

前回のABCC対象者の調査に基づく骨髄、生殖腺の線量推定についてはすでに報告した。⁵ 前回の研究では、対象者について過去3か月間に受けたX線検査の有無を4か月間にわたって調査したために、各種目の検査回数が比較的少なく、信頼できる被曝線量の範囲を得ることができなかった。それゆえ規模を大きくした追加調査を行なった。この調査で多数の胸部検査例が得られた。過去の経験によると手動による線量計算はかなりの時間と労力を要するために、電子計算機による方法を採用した。

ABCC対象者は通常2年に1回の検査を受ける。この計画の詳細については他に述べてある。³ 地元病医院におけ

dose to ABCC subjects at community hospitals and clinics consists of:

- 1 Interrogation of subjects to ascertain location and time of their exposures to ionizing radiation, for medical or occupational reasons;
- 2 Interrogation of personnel in community hospitals and clinics to determine technical factors used for the individual exposures reported by the subjects in step 1;
- 3 Dosimetry studies in the ABCC Department of Radiology to duplicate these exposures (steps 1 and 2) using dosimetric apparatus and phantom materials to measure bone marrow and gonadal dose.

The present study, part of the third step, and based on two previous ones of patient and hospital interrogation,^{6,7} deals with PA chest examinations only. Dosimetry for the other examinations will be reported later. Bone marrow and gonadal doses were determined by phantom dosimetry, and dose calculations were made by electronic computer. The methodology is described in detail, and mean bone marrow and gonadal doses for PA chest examinations in Hiroshima and Nagasaki are included.

MATERIALS AND METHOD

Phantom Materials A Mix-D phantom containing a human skeleton and beeswax-impregnated cellulose to represent lung tissue was altered to accommodate small polystyrene ionization chambers inserted in marrow cavities contained in removable sections, according to the method of Laughlin et al⁸ (Figure 1). Thirteen sites were used for bone marrow dose measurements; three for gonadal dose measurement, and the locations of ionization chambers are shown in Table 1. Plain Mix-D block phantoms were used for depth dose measurements inside the X-ray beam, and to measure dose by scattered radiation (Figure 2).

Dosimeters Memorial polystyrene condenser ionization chambers made and supplied by the Biophysics Division of Sloan-Kettering Institute, New York, were used to measure bone marrow and gonadal dose.⁹ These chambers are especially suitable for use in the diagnostic energy range because of their sensitivity and low energy dependence, and their small size facilitates marrow dosimetry.¹⁰ A Baldwin-Farmer electrometer, type RB, was used with these chambers. An Electronic Instruments Limited dose meter, model 37A,¹¹ equipped with a 35 cc polystyrene ionization chamber¹² measured surface dose and monitored X-ray output.

る ABCC 対象者の医療用 X 線被曝線量の推定について、われわれが採用している基本的方法は次のとおりである。

- 1 各人が医療または職業上の理由により電離放射線の照射を受けた場所および日時を質問する。
- 2 前項の被検者の報告にかかる各照射例につき、これに用いられた照射の技術的条件を地元病医院の職員について確かめる。
- 3 線量計および人体模型を使用し、これらの照射状態を ABCC 放射線部で再現し、骨髄および生殖腺線量測定を行なう。

本研究は、患者および病医院調査^{6,7}に基づく第3段階の1部で胸部背腹方向検査のみ取り上げる。他の検査の線量測定については別に報告する予定である。骨髄および生殖腺の線量はファントム実験によって測定し、計算は電子計算機によって行なった。ここではその方法を詳細に述べ、広島、長崎における胸部背腹方向検査における平均骨髄および生殖腺線量について報告する。

材料および方法

ファントム 人骨および肺組織に代わる密蝨浸透セルローズを含む Mix-D ファントムを Laughlin らの方法⁸に従って改造し、骨髄腔の中に小さなポリスチレン電離槽を挿入し、出し入れ可能な引き出しを作成した(図1)。骨髄線量は13か所、生殖腺線量は3か所で測定した。ファントム内における電離槽の位置を表1に示す。直接 X 線の深部線量測定および散乱線の測定には無骨のブロックファントムを用いた(図2)。

線量計 骨髄、生殖腺の線量測定は New York 市の Sloan-Kettering 研究所生物物理部で作製供給された Memorial ポリスチレン電離槽を使用した。⁹ この電離槽は放射線に対する感度が高く、かつエネルギー依存性が小さいため診断用 X 線の測定に好都合であり、大きさが小さいため骨髄の線量測定に便利である。¹⁰ この電離槽と組み合わせて使用する電流計は Baldwin-Farmer 製 RB 型を用いた。表面線量および X 線の出力の測定は、35 cc ポリスチレン電離槽¹²をもつ Electronic Instruments Limited 製の線量計 37A 型¹¹を用いた。

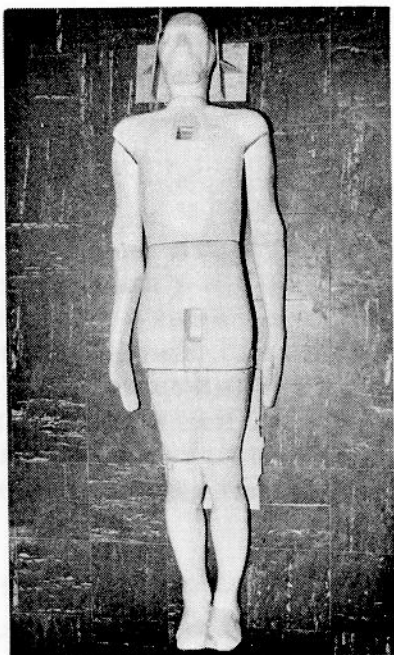


Figure 1 Entire Mix-D phantom containing skeleton.

図1 人骨を含むMix-D人体ファントム

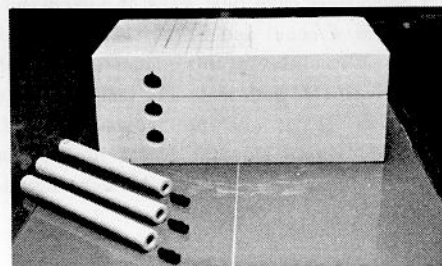
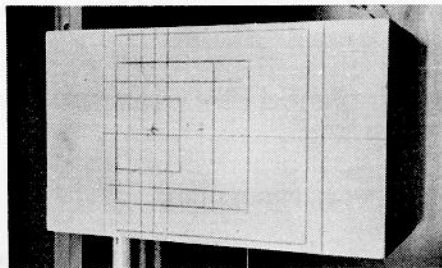


Figure 2 Plain Mix-D phantom with inscription of field sizes on superior surface (above), and Mix-D receptacles for Memorial ionization chambers (below).

図2 種々の照射野を表面に示した無骨Mix-Dファントム (上)と Memorial 電離槽を挿入するMix-D棒 (下)

TABLE 1 LOCATION OF CHAMBER IN HUMAN PHANTOM

表1 人体ファントムにおける電離槽の位置

Chamber 電離槽	Description 部位	Location in Skeletal Lattice 骨格区分における位置
1	Skull vertex 頭蓋骨	C-11
2	C-spine/4 頭椎(4)	G-18
3	Sternum body 胸骨	J-25
4	Right rib/6 右肋骨(6)	J-16
5	Left rib/6 左肋骨(6)	J-20
6	T-spine/6 胸椎(6)	I-11
7	T-spine/12 胸椎(12)	L-11
8	L-spine/5 腰椎(5)	P-11
9	Right ovary 右卵巢	Q-17
10	Left ovary 左卵巢	Q-19
11	Right iliac 右腸骨	P-9
12	Left iliac 左腸骨	P-13
13	Pubic 恥骨	R-18
14	Testis 睪丸	S-18
15	Right femur 右大腿骨	S-9
16	Left femur 左大腿骨	S-13

Radiographic Unit A General Electric diagnostic radiographic unit; 130 kvp, 500 ma, with full-wave rectification was used to expose the phantom.

A detailed description of other equipment used has been reported elsewhere.¹³

EXPERIMENTAL PROCEDURE

Studies with the Human Phantom For all exposures, the target-film-distance was a constant 183 cm. Three different collimators gave field sizes of 110 cm (no cone), 85 cm (19.5 cm ϕ cone) and 58 cm (13.5 cm ϕ cone) in diameter on X-ray film at this distance (see Table 7). For the largest field, both male and female gonads were inside the X-ray beam; with the medium size field, only female gonads were inside the beam; for the smallest field, both male and female gonads were outside the X-ray beam.

When located outside the useful beam, the chambers received only scattered radiation, and many repeated exposures were necessary for a reading. In such cases the maximum exposure used per field was 2000 mas, regardless of tube voltage. If this was insufficient to produce a reading, dose was calculated according to measurements of scattered radiation within the plain Mix-D block phantoms.

Tube voltages used in this study were 50, 70, 90 and 130 kvp. Added filtration consisted of 0.5, 1.0 and 2.0 mmAl. Dose readings were obtained using various combinations of these factors.

Depth Dose Measurements To estimate dose at locations other than those of the 16 chambers, it was necessary to measure dose attenuation in the phantom. These values were used to approximate dose at such locations.

Dose measurements were made in the block phantom with tube voltages of 50, 70 and 90 kvp with field sizes of 10 \times 10, 20 \times 20 and 30 \times 30 cm. Added filtration consisted of 0.5, 1.0 and 2.0 mmAl. Measurements were made at focal-film-distances (FFD) of 60, 100 and 200 cm, and at depths within the phantom of 5, 10 and 15 cm. By combinations of these factors, depth doses at a given kvp, field size, and added filtration, by FFD and depth were obtained by interpolation and extrapolation. These data may be applied to other types of examinations as well as PA chest examinations.

Scattered Radiation Scattered radiation dose was measured in block phantoms for 60, 80 and 100 kvp, at

X線装置 使用したX線装置はGeneral Electric診断用X線装置, 130kvp, 500ma, 全波整流である.

実験に用いた他の装置, 器機の詳細は別に報告されている.¹³

実験方法

人体ファントムによる実験 ターゲットーフィルム間距離はすべての照射について183cmに固定した. 絞りは3種使用し, 183cmにおけるX線フィルム上でそれぞれ直径110cm(照射筒なし), 85cm(19.5cm ϕ 照射筒), 58cm(13.5cm ϕ 照射筒)の照射野で実験を行なった(表7). 最も大きい照射野では, 男女生殖腺が, ともにX線錐内にはいり, 中間の照射野では女子生殖腺のみ線錐内にあり, 最も小さい照射野では男女生殖腺ともに線錐外に位置している.

電離槽が線錐外にある場合, 散乱線のみを受けるので, 多数回の照射が必要である. このような場合は, 電圧に関係なく最大2000masの照射に限定した. もし最大曝射が線量を読みとるに不十分であれば, 無骨Mix-Dファントムによる散乱線の測定値を利用して線量を計算した.

使用した電圧は50, 70, 90および130 kvpで, 付加フィルターは0.5, 1.0および2.0mmAlを用いた. これらを組み合わせることによって得られる種々の照射条件における線量を測定した.

深部線量の測定 16個の電離槽以外の部位の線量を得るためには, ファントム内における線量の減弱を測定する必要がある. 得られた測定値はいろいろな場所における線量を近似するために用いられた.

ブロック・ファントムによる線量測定は管電圧50, 70, 90 kvp, 照射野10 \times 10, 20 \times 20, 30 \times 30 cm, 付加フィルター0.5, 1.0, 2.0mmAlを使用して行なった. 焦点フィルム間距離(FFD)は60, 100, 200cm, ファントム中における深さは5, 10, 15cmの点で測定した. これらの条件を組み合わせることにより, ある一定の電圧, 照射野, 付加フィルターにおける深部線量を, FFD, 深さの関数として内挿, 外挿によって求めた. 得られた値は, 胸部背腹方向X線検査以外の検査にも適用することができる.

散乱線の測定 散乱線の線量は管電圧60, 80, 100kvp照射野辺縁より2, 4, 6, 8の4つの距離, 照射野は10 \times 10,

four distances from beam edge—2, 4, 6 and 8 cm; for three field sizes, 10×10, 20×20 and 30×30 cm; at three depths—5, 10 and 15 cm from the surface of the phantom.

In the present study, only the 30×30 cm field size was used for both direct and scattered radiation determinations, because the majority of exposures by PA chest examinations were made with approximately this field size. A minority exceeded this field size, but depth dose and scattered radiation were not found to be appreciably greater experimentally for field sizes larger than 30×30 cm.

20×20, 30×30 cm, 深さはファントム表面から5, 10, 15 cmで測定した。

本研究においては、直接線、散乱線ともに30×30 cmの照射野のみを使用した。というのは胸部背腹方向検査の大部分がこの照射野に近い大きさだったからである。この照射野を越える例も報告されたが、深部線量および散乱線は30×30 cm以上の照射野では著明な増加は認められなかった。

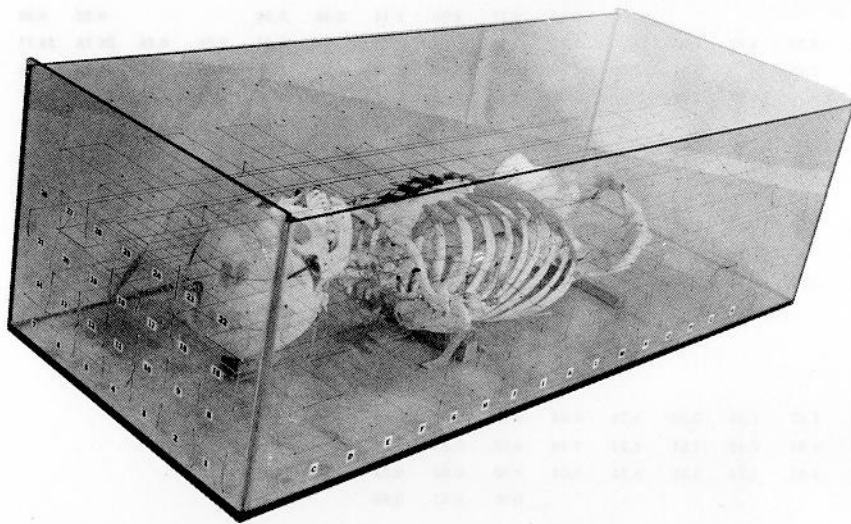


Figure 3 Lattice system to describe active bone marrow distribution.

図3 活性骨髄の分布を示すための格子系

Principle of Formulation for Calculation of Bone Marrow and Gonadal Doses

Inside Beam A human skeleton was “divided” into a lattice of cubes to assign bone marrow weights to each compartment in a previous study.¹⁴ This is illustrated in Figure 3 and the bone marrow distribution derived is shown in Table 2.

Dose to cubical compartments was calculated by multiplying depth-dose ratios by doses recorded by ionization chambers. In general, doses were calculated using chamber measurements for the specific types of bones. If no chamber existed for a bone, the dose of the chamber nearest in location was used. Where appropriate, a mean value of two chamber readings was used. The formula was as follows:

骨髄および生殖腺線量の計算式

直接線 すでに報告した研究において、人骨を格子状の立方区画に区分し、各区画中の骨髄重量を測定して、人体内の骨髄の分布を示した。¹⁴ 図3にこれを示す。表2は骨髄の分布を示す。

ある立方区画への到達線量は、電離槽によって得られた線量に、深部線量比を乗ずることによって計算した。一般に骨髄線量は骨の種類別に電離槽の測定値から計算によって求めた。もしある種類の骨に電離槽による値が得られていない場合は、その場所に最も近い電離槽による線量値を使用した。適当と考えられる場合は2つの電離槽による平均値を利用した。計算式は次のとおりである。

TABLE 2 DISTRIBUTION OF ACTIVE BONE MARROW

表2 活性骨髄の分布
(g)

Cube No. 立方区画 番号	Skull Vertex 頭蓋骨	Cranial ←頭の方へ				Transverse sections 横断層								Caudal 下方へ→		Ischium; Prox. Femur 座骨: 大腿骨頭		Cube total 立方区画 計	
		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R		S
1*																			
2								1.10	0.99	1.18	0.59	0.14							4.00
3			2.49	1.24			0.76	1.86	2.95	1.96	0.90				14.41	7.63			34.20
4			4.97	6.22				0.83	2.48	4.32	2.56	1.31	0.95	0.96	9.78	36.19			70.55
5			2.49	1.24			0.76	1.86	2.95	1.96	0.90				14.41	7.63			34.20
6								1.10	0.99	1.18	0.59	0.14							4.00
7*																			
8							2.53										1.60		4.13
9							3.83	6.71	2.93	2.11	2.48	0.34			9.32	8.56	10.00	4.00	50.28
10	2.49	8.70	4.97	2.49			3.32	0.43				0.44	0.71	0.48	26.16	24.77	13.05	5.83	93.82
11	4.97	2.49		3.01	2.00	12.17	31.37	26.60	32.19	46.52	18.75	20.23	22.17	58.32	9.05				289.90
12	2.49	8.70	4.97	2.49			3.32	0.43				0.44	0.71	0.48	26.16	24.77	13.05	5.83	93.82
13							3.83	6.71	2.93	2.11	2.48	0.34			9.32	8.56	10.00	4.00	50.28
14							2.53										1.60		4.13
15							8.60	7.26											15.86
16							9.20	3.38	2.27	2.67	1.48	0.23			8.16	6.23			33.62
17	2.49	4.97	2.49	3.50			5.15	0.13			0.10					6.23	10.72	2.33	38.11
18	4.97		2.49	13.78	19.17	18.52	0.91					0.87	1.19				7.00	4.66	73.56
19	2.49	4.97	2.49	3.50			5.15	0.13			0.10					6.23	10.72	2.33	38.11
20							9.20	3.38	2.27	2.67	1.48	0.23			8.16	6.23			33.62
21							8.60	7.26											15.86
22*																			
23								0.06	0.51	0.85									1.42
24	1.24	4.97	1.24	3.32	0.74	0.04	0.62	0.42	0.24	0.15									12.98
25	2.49	4.97	2.49	1.23	1.23	7.70	6.32	5.85	3.51										35.79
26	1.24	4.97	1.24	3.32	0.74	0.04	0.62	0.42	0.24	0.15									12.98
27								0.06	0.51	0.85									1.42
28*																			
Section totals 横断層 計		24.87	54.69	31.08	36.64	23.88	105.25	82.53	55.07	58.04	60.48	23.23	23.79	24.09	184.20	152.08	77.74	28.98	
																			Grand total: 総計 1,046.64 g

*No active bone marrow. 活性骨髄なし

British Journal of Radiology 39:735-9, 1966¹⁴

$$D_1(ij) = D \text{ chamber} \times \frac{D_m}{D_n}$$

Where $D_1(ij)$ is the dose to j^{th} type of bone in i^{th} cube at m cm depth. Some cubes contained more than one type of bone and a different formula was used for each type. D chamber is the chamber dose at n cm depth, D_n and D_m are the dose at n cm and m cm depth respectively, obtained with the plain Mix-D block phantoms.

When a chamber was not completely surrounded by bone, as was the case for rib, ilium, and sternum, absorption by bone was assumed to be 10%, regardless of bone thickness. In this study, the mean absorption of bone from 2 mm to 4 mm thickness was found to be 10% with a bone equivalent phantom material.

$D_1(ij)$ is m cm深さにおける i 番目の立方区画における j 種の骨に対する線量である。若干の立方区画は異なる種類の骨を含んでいるが、種類ごとに異なる式を用いて計算を行なった。D chamber は n cm深さにおける電離槽の線量値であり、 D_n 、 D_m は n cmおよび m cm深さにおける、無骨ブロックファントムによって得られた深部線量を示す。

電離槽が骨によって完全に囲まれていない場合、たとえば肋骨、腸骨、胸骨のような例では、骨の厚さに関係なく、骨による吸収は10%であると仮定した。本研究において骨等価物質で測定した結果、2 mmから4 mm厚さの骨による吸収の平均値は10%であった。

The ionization chamber doses at the testis and ovarian positions inside the beam were used as male and female gonadal doses.

Outside Beam Bone marrow and gonadal dose measurements outside the X-ray beam were not reliable, particularly for marrow and gonads located far from the useful beam. Bone marrow dose was therefore calculated from scattered radiation dose data, obtained with block phantoms. The formula employed was:

$$D_s(i) = D_{\text{chamber}} \times \frac{D_m}{D_n} \times \frac{D_d(m)}{D_o(m)} \times f_k$$

Where $D_s(i)$ is the dose to the i^{th} cube outside d cm from beam edge at m cm depth, D_{chamber} is the chamber dose at n cm depth inside the beam nearest the field edge, D_m and D_n are the dose at m cm and n cm depths respectively, $D_o(m)$ is the dose at m cm depth and zero cm from beam edge calculated by extrapolation of attenuation curves of the scattered beam at the specified distances from beam edge. $D_d(m)$ is the scattered dose at m cm depth and d cm distance from edge and f_k is the correction factor, the ratio of dose at zero distance from edge to dose inside the beam at m cm depth. Dose near the beam edge inside the beam should be the same as dose at zero distance from the field edge extrapolated by attenuation curves. Actually, the former is larger than the latter because of the very sharp decrease in dose at the beam edge. $D_s(i)$ was calculated at 2.5 cm and 7.5 cm from beam edge, the centers of the first two cubical compartments outside the margin of the exposure field. For the remaining cubical compartments, only the dose to the cube centers was calculated, then multiplied by the total active bone marrow weights in these compartments.

In all exposures contribution of bone marrow dose outside the beam to the total active marrow dose was less than 5%, as seen later, even with small field sizes for PA chest examinations. Therefore, dose outside the beam for PA chest examinations could be ignored, from a practical standpoint, in the present study. Scattered radiation dose, however, is important in examinations with small field sizes as in fluoroscopy and spot filming during upper GI series examinations. Gonadal dose caused by X-ray outside the direct beam was calculated by a method similar to that for bone marrow dose.

COMPUTER CALCULATION OF DOSE

Introduction The collection and presentation of the original experimental data was first done in a manner to facilitate hand calculation methods for bone marrow dose.

睾丸および卵巢位置の電離槽線量値を直接線錐内における男性、女性の生殖腺線量として用いた。

散乱線 直接線錐外における骨髄および生殖腺線量の測定値は信頼性に乏しく、特に骨髄および生殖腺が線錐から遠くに位置している場合信頼すべき値が得られなかった。それゆえ、骨髄線量はブロックファントムによって得られた散乱線の線量値から計算によって求めた。使用した計算式を次に示す。

ここで $D_s(i)$ は m cm 深さで照射野辺より d cm 離れた線錐外の i 番目の立方区画における線量、 D_{chamber} は n cm 深さで、照射野縁より最も近い線錐内の電離槽による線量値、 D_m 、 D_n はそれぞれ m cm および n cm 深さの深部線量、 $D_o(m)$ は m cm 深さで、照射野縁から特定の距離における散乱線の減弱曲線から計算された散乱距離 0 cm における線量を示している。 $D_d(m)$ は m cm 深さで、辺縁より d cm の距離における線量、 f_k は補正係数、すなわち、 m cm 深さにおける線錐内の線量に対する散乱距離 0 cm における線量の比を示している。照射野縁における線錐内の線量は、散乱線の減弱曲線を散乱距離 0 cm に外挿した値と同じであるべきである。しかし実際上は辺縁において線量が急激に減少するために前者の方が後者より大きい。 $D_s(i)$ は辺縁より 2.5 cm および 7.5 cm すなわち照射野の辺縁より線錐外の最初の 2 つの立方区画について計算した。残りの立方区画については、それらの立方区画の中心における線量を求め、立方区画中の活性骨髄量を乗ずることによって計算した。

後述するごとく、散乱線による骨髄線量の寄与は、胸部背腹方向検査の小さい照射野においてすら全骨髄線量の 5% 以下であった。それゆえ、本研究において、胸部背腹方向検査における散乱線線量は実際上の問題としては無視することができる。しかしながら、胃腸透視および狙撃撮影におけるように小さい照射野の検査では、散乱線による寄与は重要となってくる。線錐外の生殖腺線量は骨髄線量と似た考え方によって計算によって求めた。

電子計算機による線量の計算

緒言 実験によって得られたデータは骨髄線量を手で計算するのに容易な形で整理されていた。この計算方法は

Since that method of calculation was complex and required a great deal of time, and the anticipated total number of cases was large, it was desirable to make calculations by electronic computer.

In the course of the computerization of the procedure, the original hand calculation methods served as a guide and were used to check results. An IBM model 1440 electronic computer was used in this study. Certain interpolations were made to prepare graphs for manual calculations, and some of these were also used in the computer calculations. As a result, some values presented are not actual physical measurements but interpolated or extrapolated values, useful for the calculation procedure.

Collection and Reduction of Data

Chamber Data As mentioned before, experimental data was collected through use of the human and block phantoms. Observed dose values were recorded in milliroentgens per milliamperere seconds (mR/mas).

The relation between log dose and log kvp was approximately linear, as can be verified from the data in Table 3, presented as an example.

In the first phase of data collection, only three kvp values were used; 50, 70 and 90. Linear extrapolation to values

複雑で時間を要し、かつ例数が多いということが予測されたので、電子計算機による計算が望ましかった。

電子計算機の導入課程において、手による計算方法は手引きとしてまた結果の検討に用いられた。本研究で用いた電子計算機はIBM 1440型である。通常の計算のための図を作るために若干の内挿がなされ、これらのうちあるものは電子計算機による計算にも用いられた。結果として、若干の値は、物理的に実測されたものではなく、内挿または外挿によって得られたものが含まれている。もちろんこれらの値は計算に有用であった。

資料の整理

電離槽による測定値 前に述べたごとく、実験データは人体ファントムとブロックファントムを使用して得られた。これらの値はミリアンペア秒当たりのミリレントゲン (mR/mas) として記録された。

対数で目盛った線量とkvpの関係はほぼ直線であり、例として表3に示したデータからもみることができる。

測定データを得る最初の段階では、50, 70, 90の3つのkvpのみ使用した。しかし90kvpを越えた場合の値につ

TABLE 3 CHAMBER DOSE BY LOCATION, ADDED FILTRATION AND KVP IN PA CHEST EXAMINATION
(UNIT: mR/mas, FIELD SIZE: NO CONE, FFD: 183 cm)

表3 位置、濾過板およびkvpによる胸部背腹方向X線検査の電離槽線量
(単位: mR/mas, 照射野: 照射筒なし, FFD: 183cm)

Chamber 電離槽	0.5 mm Al				1.0 mm Al				2.0 mm Al			
	50 kvp	70	90	130	50	70	90	130	50	70	90	130
Skull 頭蓋骨.....	0.067	0.270	0.593	1.638	0.062	0.232	0.552	1.510	0.050	0.208	0.476	1.330
C-spine/4 頸椎(4).....	0.508	1.316	2.732	5.480	0.428	1.242	2.471	4.841	0.315	1.006	2.074	4.029
Sternum 胸骨.....	0.044	0.193	0.447	1.238	0.041	0.174	0.412	1.148	0.035	0.161	0.399	1.077
R-rib 右肋骨.....	0.355	0.932	1.765	3.564	0.304	0.787	1.421	3.238	0.221	0.653	1.264	2.664
L-rib 左肋骨.....	0.253	0.774	1.473	3.298	0.212	0.647	1.308	2.960	0.176	0.561	1.119	2.646
T-spine/6 胸椎(6).....	0.229	0.842	1.820	4.090	0.195	0.766	1.683	3.808	0.163	0.679	1.471	3.381
T-spine/12 胸椎(12).....	0.352	1.099	2.418	5.359	0.305	0.954	2.155	4.917	0.249	0.840	1.857	4.222
L-spine/5 腰椎(5).....	0.189	0.619	1.358	3.225	0.166	0.583	1.165	2.974	0.125	0.526	1.081	2.758
R-ovary 右卵巢.....	0.068	0.266	0.599	1.525	0.060	0.253	0.551	1.415	0.047	0.222	0.451	1.294
L-ovary 左卵巢.....	0.064	0.244	0.548	1.412	0.054	0.229	0.512	1.303	0.049	0.207	0.444	1.186
R-iliac 右腸骨.....	0.471	1.226	2.105	4.642	0.393	1.081	2.077	4.197	0.300	0.924	1.715	3.706
L-iliac 左腸骨.....	0.569	1.449	2.429	5.129	0.433	1.161	2.164	4.440	0.316	1.029	1.888	3.903
Pubic 恥骨.....	0.021	0.100	0.225	0.681	0.018	0.090	0.215	0.622	0.016	0.087	0.200	0.560
Testis 睾丸.....	0.006	0.031	0.072	0.230	0.006	0.027	0.070	0.216	0.005	0.024	0.066	0.196
R-femur 右大腿骨.....	0.007	0.033	0.074	0.227	0.006	0.030	0.073	0.206	0.006	0.029	0.069	0.197
L-femur 左大腿骨.....	0.007	0.032	0.072	0.222	0.006	0.029	0.068	0.204	0.006	0.028	0.066	0.194

beyond 90 kVp was not regarded necessarily valid, and in the second phase of the study additional values for 130 kVp were obtained. Most of the chamber data showed a slight convexity for dose readings plotted at all four kVp values; therefore, quadratic interpolation was used to determine dose for kVp values between the experimental ones. Comparison of total dose values based on linear and quadratic interpolation for the case of no cone, 0.5 Al showed the linear value as much as 4%, or 22 gm-mR, below the quadratic value at 60 kVp and 1.5%, or 64 gm-mR, above the quadratic value at 140 kVp. The smoothing effect of quadratic interpolation was judged more adequate for describing the experimental data. The consistency of the convexity for the experimental data suggests it is real in terms of the experimental situation, and not a convexity resulting from random errors of measurement.

Attenuation of Direct Beam The relation between log dose and depth is nearly linear for all kVp values. The slope of the linear relation decreases slightly with increasing kVp, but this effect diminishes with progressively higher kVp. This is illustrated in Figure 4. Also, the relation between log dose and log kVp was nearly linear for any depth and filtration, with only a slight departure from linearity. Because of this small departure from linearity, two linear relations were considered quite adequate to approximate the long dose vs long kVp curves; one, between 50 and 70 kVp; and one, between 70 and 100 kVp.

いて直線的に外挿を行なうことは必ずしも適当ではなかったため、第2段階では130 kVpに関する実験値を追加した。大部分の電離槽値は4つのkVpに対してプロットした場合少し凸状を示した。それゆえ、実験値間のkVpに対する線量は二次式による内挿によって決定した。一次と二次式のそれぞれについて、内挿に基づいて計算した全線量の比較を照射筒なし、0.5 Alの例についてみると60 kVpで、一次式による内挿で得られた値は二次式による値より4%または22 gm-mR低い値であり、140 kVpでは逆に1.5%または64 gm-mR高い値が得られた。二次的内挿による平滑化は実験データを処理するのにより適当であると考えられた。実験データがすべて凸状を示すことは、測定の不規則な誤差によって生じたものではなく、実験の状態によっては事実であることを示唆している。

直接線の減弱 線量の対数と深さの関係はすべてのkVp値に対してほぼ直線であった。直線関係の傾斜はkVpが高くなるにつれてわずかに減少する。しかしそれはkVpが高くなるにつれて消失していく。図4に直接線の深部減弱を示す。また線量とkVpの両対数間には、いずれの深さ、濾過板においてもわづかなずれはあるがほぼ直線であった。直線からの少しのずれがあるために、線量の対数とkVpの対数の関係曲線を近似させるのに2つの直線関係を考えれば十分であると考えられた。1つは50 kVpと70 kVpの間、他は70 kVpと100 kVpの間の関係である。

TABLE 4 DOSE AFTER ATTENUATION OF DIRECT BEAM IN PLAIN BLOCK PHANTOM BY KVP, DEPTH AND FILTRATION (UNIT: mR/100 mas, FIELD SIZE: 30 × 30 cm, FFD: 180 cm)

表4 Kvp, 深さならびに濾過板による無骨ブロックファントム中の直接線の減弱

(単位: mR/100mas, 照射野: 30×30cm, FFD: 180cm)

Added Filtration 濾過板	Depth 深さ	kvp		
		50	70	100
0.5 mmAl	5 cm	27.5	88	420
0.5	30	0.05	0.89	9
1.0	5	21	77	290
1.0	30	0.0675	0.91	6.7
2.0	5	14.6	66	238
2.0	30	0.061	0.77	7

Therefore, for computer calculation only six values (Table 4) were required to describe the direct (inside) beam attenuation for each filtration. Log-log interpolation (or extrapolation, for kVp > 100) was done for dose vs kVp to obtain dose at 5 cm and 30 cm depths. Then arith-log interpolation was done for depth vs dose, using doses from the first interpolation, to obtain dose at the

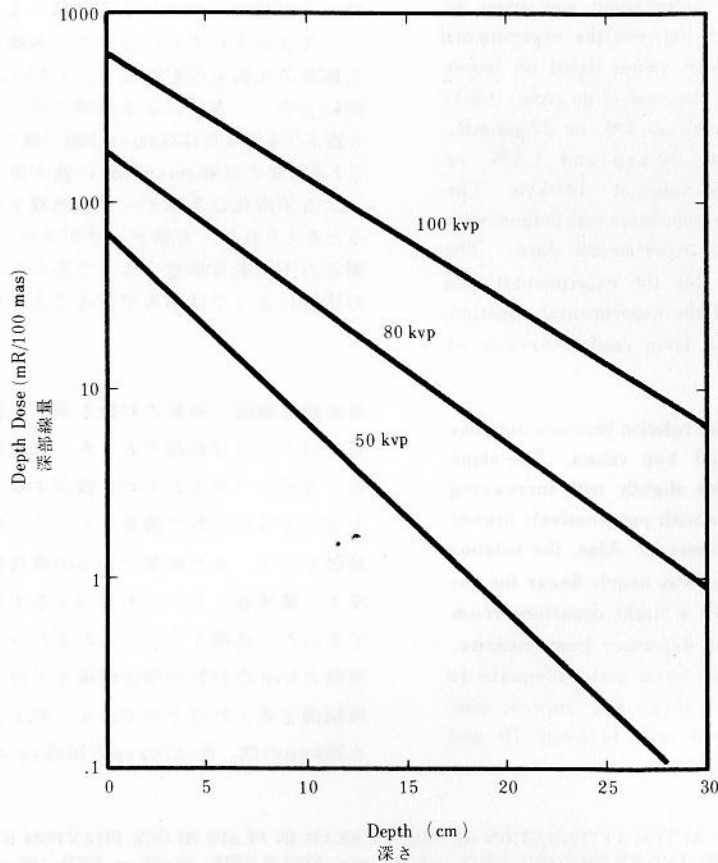
それゆえ、電子計算機による計算には、各濾過板における直接線の減弱を示すのに6つの値のみで十分であった(表4)。線量の対数とkVpの対数関係の内挿(100 kVp以上では外挿)は5 cmと30 cmの深さの線量値を使用して行なわれた。任意の深さの線量を得るために、深さに対する線量の対数を一次式により内挿した。深さ対線量の関

FIGURE 4 ATTENUATION OF DIRECT BEAM IN PLAIN BLOCK PHANTOM

(FFD: 180 cm, FILTRATION: 1.0 mmAl)

図4 無骨ブロックファントム中の直接線の減弱

(FFD: 180cm, 濾過板: 1.0mm A1)



desired depth. Due to the closeness of these relations to linearity and necessity of using only depth dose ratio at the same kVp, extrapolation for $100 < \text{kVp} < 140$ was considered adequate.

Attenuation of Scattered Radiation Previous comments concerning relations between log dose and depth and between log dose and log kVp also apply here, but the relations were even more closely linear. In addition, log dose vs distance relationship was well described as linear for all kVp. For computer calculation, only six values are required to describe attenuation outside the beam for each distance from beam edge. Log-log interpolation was done on dose vs kVp to obtain dose at 5 cm and 30 cm depths. Arith-log interpolation was done on depth vs dose to obtain dose at the desired depths. This was done at 0, 2.5 and 7.5 cm distance from beam edge used in most of the outside beam formulae; arith-log extrapolation on distance vs dose gives the final result

係が直線に近いこと、および一定のkVpでは一つの深部線量比を用いる必要があることから、100kVpより140kVpの範囲に対し外挿することは適当であると考えられた。

散乱線の減弱 線量の対数と深さおよび線量とkVpの両対数の関係は、先に述べたことがらをここでも適用することができる。しかしその関係はより直線に近かった。加えて、線量の対数と散乱距離の関係はすべてのkVpでほぼ直線であった。電子計算機による計算には、線錐縁からの各散乱距離の線量減弱には6つの値しか必要としない。線量とkVpの両対数による内挿は5 cmと30 cmの深さの線量について行なった。この内挿は散乱線の計算式で最もよく使用する線錐縁から0, 2.5 cm, 7.5 cmの距離について行なった。7.5 cmより遠い距離については、距離

for distances greater than 7.5 cm. Table 5 shows the outside beam dose used in the calculation. The correction factor (f_k) mentioned before was calculated as given in Table 6.

Since f_k vs kvp relation is approximately linear, for computer calculations the linear least-square fit to the data was used.

$$\begin{aligned} f_I &= 0.33 - 0.001 \times (\text{kvp}) \\ f_{II} &= 0.443 - 0.00178 \times (\text{kvp}) \\ f_{III} &= 0.599 - 0.00280 \times (\text{kvp}) \\ f_{IV} &= 0.744 - 0.00414 \times (\text{kvp}) \end{aligned}$$

TABLE 5 DOSE AFTER ATTENUATION OF OUTSIDE BEAM IN PLAIN BLOCK PHANTOM BY KVP, DEPTH AND DISTANCE FROM BEAM EDGE (UNIT: mR/100mas, FIELD SIZE: 30×30 cm, FFD: 180 cm)

表5 Kvp, 深さ, ならびに線維縁からの距離による無骨ブロック・ファントム中の散乱線の減弱 (単位: mR/100mas, 照射野: 30×30 cm, FFD: 180 cm)

Distance 距離	Depth 深さ	kvp		
		50	80	100
0 cm	5 cm	7.4	37.8	77
0	30	0.067	1.05	3.1
2.5	5	3.35	11.5	40
2.5	30	0.058	0.89	2.79
7.5	5	0.81	4.7	11.3
7.5	30	0.021	0.62	2.1

Field Description For FFD 183 cm, field size was identified for five cone and film sizes as shown in Table 7, according to a phantom and bone marrow distribution previously described.¹⁴ Fields 4 and 5 were used with field 3 chamber data. Diagrammatically the field size by phantom section for each cone was as shown in Figure 5.

Use of Inside Beam and Outside Beam Formulae There were 188 cubes with active bone marrow in the skeletal lattice used here, as shown by the distribution in Table 2. Some cubes contained more than one bone and a different formula was used for each bone, depending on the location of a given ionization chamber; that is, for a given bone in a cube a particular formula was used to adjust the appropriate chamber dose to represent the dose for that bone. In general, dose calculations were made at the center of each 5 cm cube. To give the general formulation for dose calculation some notation is required.

と線量の対数間で外挿すれば得られる。表5は計算に用いた散乱線の線量を示す。前述した補正係数(f_k)は計算によって、表6に示す値が得られた。

f_k と kvp との関係はほぼ直線であったために、電子計算機による計算では、データを最小二乗法によって処理した。

TABLE 6 CORRECTION FACTOR (f_k) FOR COMPUTATION OF SCATTERED RADIATION, IN PA CHEST EXAMINATION, BY KVP AND DEPTH

表6 Kvp, 深さによる胸部背腹方向X線検査の散乱線計算のための補正係数(f_k)

kvp	Depth 深さ			
	f_I 0-2 cm	f_{II} 2.5-7	f_{III} 7.5-12	f_{IV} 12.5-17
100	0.23	0.26	0.31	0.36
90	0.24	0.27	0.33	0.40
80	0.25	0.30	0.36	0.43
70	0.26	0.32	0.39	0.46
60	0.37	0.34	0.42	0.52
50	0.28	0.36	0.46	0.60

照射野 FFDが183 cmにおける照射野を、ファントムおよび前に報告した骨髄の分布に従って、表7に示すごとく、5つの照射筒またはフィルムの大きさによって決定した。照射野4と5は、照射野3で得られた電離槽値を利用した。ファントムの区分による照射野を図解すると次のごとくなる。

直接線、散乱線の計算式の使用 表2の骨髄分布に示すごとく、ここで用いた骨格の区画中に活性骨髄を含むものは188であった。ある立方区画は1種類以上の骨を含んでいたが、与えられた電離槽の位置に基づいて、各骨に対して異なった式を用いた。すなわち区画中のある与えられた骨に対しては、適当な電離槽による線量をその骨の線量を示すようにする換算のために特定の式が用いられた。一般に線量計算は各5 cm区画の中心線量として行なった。線量計算のための一般的な式を与えるのに若干の記号が必要である。

FIGURE 5 FIELD SIZE (LONGITUDINAL AXIS) ACCORDING TO SECTIONS C-S IN THE PHANTOM

図5 ファントームの区分 (C-S) による照射野 (縦軸)

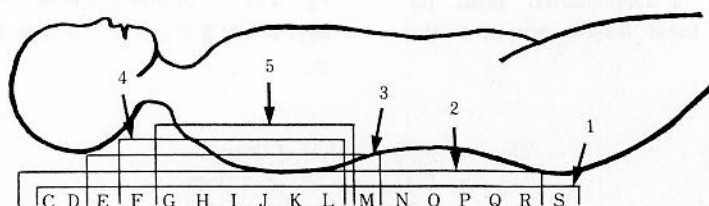


TABLE 7 IDENTIFICATION OF FIELD SIZE IN PA CHEST EXAMINATION BY CUBE
ACCORDING TO CONE AND FILM SIZE

表7 照射筒およびフィルムの大きさによって、立方区画で表わされた
胸部背腹方向X線検査の照射野

Cone Round 照射筒 丸型 (cm)	Film Size フィルムの大きさ	Field Number 照射野番号	Cubes in Skeletal Lattice 骨格子における立方区画
No cone 照射筒なし.	-	1	All 全部 C-S
19.5 cm	-	2	All 全部 C-R
13.5	14" × 17"	3	All 全部 E-M
13.5	11" × 14"	4	All 全部 F-L except ただし H-8, 14, 15, 21, I-15, 21 を除く
13.5	10" × 12"	5	All 全部 G-L except ただし H-8, 14, 15, 21, I-15, 21 を除く

Notation:

$i=1, 2, \dots, 188$ is the index of cube number.

$j=1, \dots, J_i (J_i \leq 4)$ is the index of the number of different bones with active bone marrow in the i^{th} cube

W_{ij} is the bone marrow weight (g) for the j^{th} bone in the i^{th} cube.

$D_I(i)$ is the inside beam formula described in section II.

$D_S(i)$ is the outside beam formula described in the above section.

記号:

$i=1, 2, \dots, 188$: 立方区画の番号

$j=1, \dots, J_i (J_i \leq 4)$: i 番目の区画中の活性骨髄をもつ骨の番号

W_{ij} : i 番目区画の j 番目の骨の骨髄重量 (g)

$D_I(i)$: 第II節で述べた直接線の式

$D_S(i)$: 同じく散乱線の式

In terms of this notation, bone marrow dose (in gram-milliroentgens per milliamper-second) which shall be denoted D (gm-mR/mas) is calculated as follows:

この記号で、骨髄線量（ミリアンペア秒当たりミリレントゲン）は D という記号 (gm-mR/mas) で表わす。これは次のごとく計算される。

a. Inside Beam 直接線

$$D_I = \sum_{i=1}^{188} \sum_{j=1}^{J_i} D_I(ij) W_{ij}$$

b. Outside Beam 散乱線

$$D_S = \sum_{i=1}^{188} D_S(i) W_i$$

c. Total Dose 全線量

$$D_T = D_I + D_S$$

Tables 8-10 have been prepared in this manner for five field sizes, three filtrations and for kvp from 50 to 140 at 5 kvp intervals. Figures 6-10 show the graph of $\log D_T$ vs $\log kvp$. Gonadal doses calculated by a similar method manually are listed in Table 11.

表 8-10 は、上述の方法で作製された 5 つの照射野、3 つの濾過板および 5 kvp 間隔で示された 50 から 140 kvp までの電圧に対する骨髄線量を示している。図 6 から図 10 には $\log D_T$ 対 $\log kvp$ の図を示す。生殖腺線量は似た方法で計算され表 11 にあげてある。

Accuracy of Results For various combinations of field size, filtration and kvp, manual dose calculations differed from computer calculations by less than 10 gm-mR for inside, and 1 gm-mR for outside beam exposures. The maximum relative difference in total dose for those cases by the two calculation methods was less than 1.0%. Detailed comparison of the methods showed the small discrepancies due to differences between graph-read and calculated values, and the calculated (computer) values were more accurate.

・ **結果の精度** 手で計算した値と電子計算機による値の差は、照射野、濾過板ならびに kvp の種々の組み合わせにおいて、直接線では 10 gm-mR、散乱線では 1 gm-mR 以下であった。2 つの計算方法による全線量の最大相対誤差は 1.0% 以下であった。両方法を詳細に比較するとわずかな違いがみられたが、これはグラフを読み取った値と計算による値の差によるもので、計算された（電子計算機による）値の方がより正確であった。

Due to the smoothness and approximate local linearity of the relation between D_T and kvp, quadratic interpolation for values of kvp between tabulated values was quite accurate. Quadratic interpolation between tabulated values at 10 kvp intervals resulted in values which differed at most by 4 gm-mR from the intermediate tabulated points and the error from interpolation between 5 kvp values was less.

D_T と kvp の関係を平滑化したこと、および局部的には、ほぼ直線であるために、表にした値の間の kvp に対する二次的内挿はきわめて正確であった。10 kvp 間隔で表にした値の中間を二次的内挿を行なうと、中間の値はほぼ 4 gm-mR の差となった。5 kvp の間で内挿すると誤差はさらに小さくなった。

The dose calculation was based on experimental results and on various assumptions necessary to bridge the gap between actual and experimental conditions. It is difficult to assess which may be introduced by either the experimental data or the assumptions. It is the opinion of the investigators that, based on intimate knowledge of the experimental situation and the data, the maximum possible error in D_T resulting from inaccurate assumptions and from experimental error is about 15%, with the average error less than 5%.

線量計算は、実験結果および実際の条件と実験条件の間の相違をうめるために必要な仮定を設けて行なった。それゆえ、誤差が実験データかまたは仮定によって導入されたものかを定めることは困難である。実験の状態とデータの精度から考えて、不正確な仮定および実験誤差に由来する D_T の最大誤差は 15% で、平均 5% 以下であろうと推定される。

TABLE 8 BONE MARROW DOSE IN PA CHEST EXAMINATION BY KVP, FIELD SIZE AND FILTRATION,
OBTAINED BY COMPUTER, INSIDE BEAM

表8 電子計算機によって得られたkvp, 照射野および濾過板による胸部背腹方向X線検査の骨髓線量、直接線
(gm-mR/mas)

kvp	Field 照射野 1			Field 照射野 2			Field 照射野 3			Field 照射野 4			Field 照射野 5		
	0.5mmAl	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0
50	344	281	210	335	268	201	227	187	141	173	144	108	163	135	101
55	466	388	309	440	361	286	301	248	189	231	191	146	217	179	136
60	604	513	426	560	470	386	382	318	247	294	246	192	275	229	178
65	758	652	558	696	593	501	470	395	313	363	307	244	339	285	227
70	925	804	700	846	732	630	562	480	388	436	374	304	406	347	282
75	1111	971	850	1020	889	771	672	578	474	523	451	371	486	418	345
80	1304	1145	1003	1207	1059	920	787	683	568	614	535	446	569	496	414
85	1500	1324	1153	1406	1241	1076	905	794	672	708	623	528	655	577	489
90	1698	1506	1299	1615	1433	1235	1026	910	784	804	716	617	743	664	571
95	1921	1707	1470	1832	1632	1407	1159	1032	893	911	814	704	840	754	651
100	2155	1915	1647	2055	1836	1584	1298	1159	1003	1021	915	792	942	847	732
105	2898	2131	1831	2282	2045	1765	1442	1288	1113	1136	1018	880	1047	942	813
110	2650	2353	2020	2513	2257	1949	1590	1420	1223	1254	1123	968	1155	1039	894
115	2911	2580	2213	2746	2471	2135	1742	1554	1330	1374	1230	1054	1266	1137	973
120	3181	2812	2410	2980	2685	2321	1897	1689	1434	1497	1337	1138	1380	1236	1050
125	3458	3049	2610	3215	2899	2508	2055	1824	1535	1623	1444	1219	1495	1334	1124
130	3744	3289	2813	3449	3111	2694	2215	1959	1632	1749	1550	1297	1612	1433	1196
135	4038	3533	3019	3681	3321	2879	2377	2093	1724	1877	1657	1372	1731	1530	1264
140	4340	3781	3227	3912	3528	3062	2541	2226	1811	2007	1762	1442	1851	1626	1329

TABLE 9 BONE MARROW DOSE IN PA CHEST EXAMINATION, BY KVP, FIELD SIZE AND FILTRATION,
OBTAINED BY COMPUTER, OUTSIDE BEAM

表9 電子計算機によって得られたkvp, 照射野および濾過板による胸部背腹方向X線検査の骨髓線量、散乱線
(gm-mR/mas)

kvp	Field 照射野 1			Field 照射野 2			Field 照射野 3			Field 照射野 4			Field 照射野 5		
	0.5mmAl	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0
50	0	0	0	0	0	0	4	4	3	5	5	4	4	4	3
55	0	0	0	0	0	0	6	5	4	7	7	5	6	6	5
60	0	0	0	1	1	1	7	7	5	10	9	7	9	8	6
65	0	0	0	1	1	1	10	9	7	13	11	9	11	10	8
70	0	0	0	1	1	1	12	11	9	16	14	11	14	13	10
75	0	0	0	1	1	1	15	14	11	19	17	14	17	15	13
80	0	0	0	2	1	1	18	16	14	23	20	17	20	18	15
85	0	0	0	2	2	2	21	19	16	26	23	20	24	21	18
90	0	0	0	2	2	2	25	22	19	30	27	24	27	25	22
95	0	0	0	2	2	2	28	25	22	34	30	27	31	28	25
100	0	0	0	2	2	2	32	28	25	38	34	30	35	31	28
105	0	0	0	3	3	2	35	31	28	42	37	34	38	34	31
110	0	0	0	3	2	2	38	34	31	46	41	37	42	37	34
115	0	0	0	3	3	3	41	37	33	49	44	39	45	40	37
120	0	0	0	3	3	3	44	39	35	53	47	42	49	43	39
125	0	0	0	4	3	3	47	42	37	56	50	44	52	46	41
130	0	0	0	4	3	3	50	44	39	59	52	46	55	48	43
135	0	0	0	4	3	3	52	46	40	62	54	47	57	50	44
140	0	0	0	4	4	3	54	47	41	64	56	48	59	52	45

Values increase by field number (size) except for field 5 which is lower than field 4 due to amount of active marrow near field margin.

線量は照射野5を除いて照射野の番号とともに増加している。照射野5は辺縁の近くの活性骨髓量が少いため照射野4よりも低い。

TABLE 10 BONE MARROW DOSE IN PA CHEST EXAMINATION, BY KVP, FIELD SIZE AND FILTRATION,
OBTAINED BY COMPUTER, TOTAL DOSE

表10 電子計算機によって得られたkvp, 照射野および濾過板による胸部背腹方向X線検査の骨髓線量, 全線量
(gm-mR/mas)

kvp	Field 照射野 1			Field 照射野 2			Field 照射野 3			Field 照射野 4			Field 照射野 5		
	0.5 mmAl	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0
50	344	281	210	335	268	202	231	191	144	179	148	112	168	139	104
55	466	388	309	440	361	286	306	253	193	238	198	151	223	184	141
60	604	513	426	561	470	387	390	325	252	304	254	198	284	237	184
65	758	652	558	697	594	502	479	404	320	376	318	253	350	295	235
70	925	804	700	847	733	631	575	491	397	452	388	315	420	359	292
75	1111	971	850	1021	890	772	687	591	485	542	468	385	503	434	357
80	1304	1145	1003	1208	1060	921	805	699	582	636	555	463	590	514	429
85	1500	1324	1153	1407	1242	1077	926	813	688	734	647	548	679	599	508
90	1698	1506	1299	1617	1435	1237	1050	932	803	835	743	641	771	688	593
95	1921	1707	1470	1834	1634	1409	1187	1057	915	945	844	731	871	782	676
100	2155	1915	1647	2057	1839	1586	1330	1187	1028	1059	949	822	977	878	760
105	2398	2131	1831	2285	2048	1767	1477	1319	1141	1178	1055	914	1085	976	844
110	2650	2353	2020	2516	2260	1951	1629	1454	1253	1299	1164	1004	1197	1077	928
115	2911	2580	2213	2749	2474	2137	1784	1591	1363	1424	1273	1093	1312	1178	1009
120	3181	2812	2410	2984	2688	2324	1942	1728	1470	1550	1383	1179	1429	1279	1089
125	3458	3049	2610	3218	2902	2511	2102	1865	1572	1679	1493	1263	1547	1380	1166
130	3744	3289	2813	3452	3114	2697	2265	2002	1671	1809	1603	1343	1667	1481	1239
135	4038	3533	3019	3685	3325	2882	2429	2138	1764	1939	1711	1419	1788	1580	1309
140	4340	3781	3227	3916	3532	3065	2594	2273	1853	2071	1818	1490	1910	1678	1374

TABLE 11 GONADAL DOSE IN PA CHEST EXAMINATION BY KVP, FIELD SIZE AND FILTRATION

表11 Kvp, 照射野および濾過板による胸部背腹方向X線検査の生殖腺線量
(mR/mas, FFD: 183 cm)

kvp	Field Size 照射野	0.5 mmAl		1.0 mmAl		2.0 mmAl	
		Male 男	Female 女	Male 男	Female 女	Male 男	Female 女
50	-S	.054	.076	.048	.068	.039	.057
	-R	.009	.076	.009	.068	.008	.057
	-Q	.003	.066	.002	.057	.002	.048
	-P	.001	.021	.001	.019	.001	.016
	-O	.000	.006	.000	.005	.000	.004
	-N	.000	.002	.000	.001	.000	.001
	-M	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	-L	.000	.000	.000	.000	.000	.000
70	-S	.214	.321	.191	.290	.187	.262
	-R	.045	.321	.039	.290	.035	.262
	-Q	.013	.255	.012	.241	.010	.215
	-P	.004	.093	.003	.085	.003	.075
	-O	.001	.034	.001	.032	.001	.028
	-N	.000	.009	.000	.009	.000	.008
	-M	.000	.003	.000	.002	.000	.002
	-L	.000	.001	.000	.001	.000	.001

TABLE 11 CONTINUED 表11 続き

kvp	Field Size 照射野	0.5 mmAl		1.0 mmAl		2.0 mmAl	
		Male 男	Female 女	Male 男	Female 女	Male 男	Female 女
90	-S	.423	.698	.405	.600	.380	.563
	-R	.100	.698	.097	.600	.092	.563
	-Q	.032	.574	.031	.532	.030	.448
	-P	.010	.266	.010	.253	.009	.246
	-O	.003	.079	.003	.075	.003	.073
	-N	.001	.023	.001	.022	.001	.022
	-M	.000	.007	.000	.007	.000	.007
	-L	.000	.002	.000	.002	.000	.002
130	-S	.940	1.73	.901	1.62	.786	1.37
	-R	.311	1.73	.292	1.62	.265	1.37
	-Q	.111	1.47	.104	1.36	.095	1.24
	-P	.040	.733	.037	.623	.034	.563
	-O	.014	.268	.013	.227	.012	.205
	-N	.005	.099	.005	.082	.004	.076
	-M	.002	.037	.002	.032	.002	.029
	-L	.001	.014	.001	.012	.001	.011

FIGURE 6 TOTAL BONE MARROW DOSE

Field: No Cone (Cube: C-S) FFD: 183 cm

図6 全骨髓線量

照射野: 照射筒なし (区画; C-S) FFD: 183cm

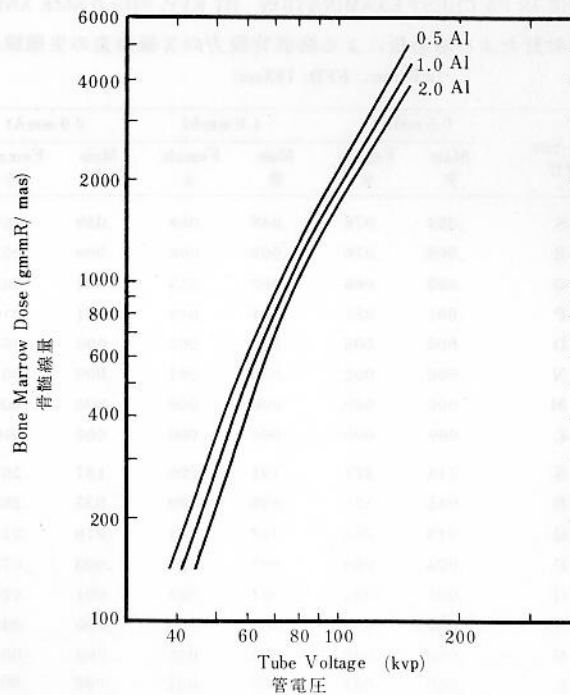


FIGURE 7 TOTAL BONE MARROW DOSE

Field: 19.5 cm Cone (Cube: C-R) FFD: 183 cm

図7 全骨髓線量

照射野: 19.5cm照射筒 (区画: C-R) FFD: 183 cm

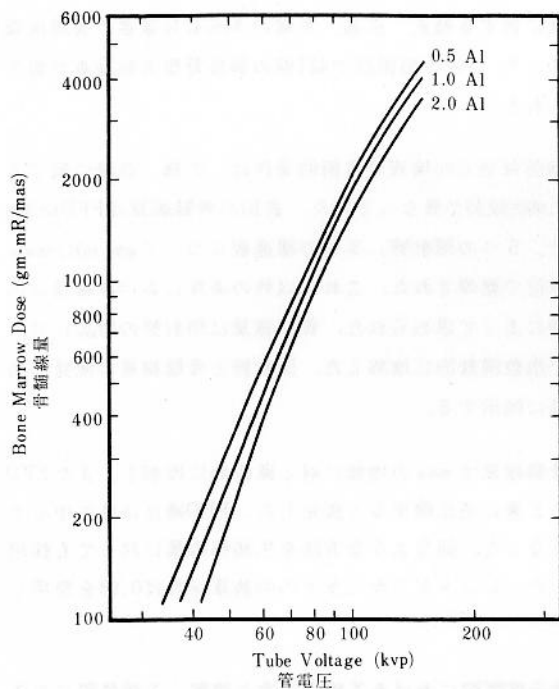


FIGURE 8 TOTAL BONE MARROW DOSE

Field: 13.5 cm Cone (Cube: E-M) FFD: 183 cm

図8 全骨髓線量

照射野: 13.5cm照射筒 (区画: E-M) FFD: 183 cm

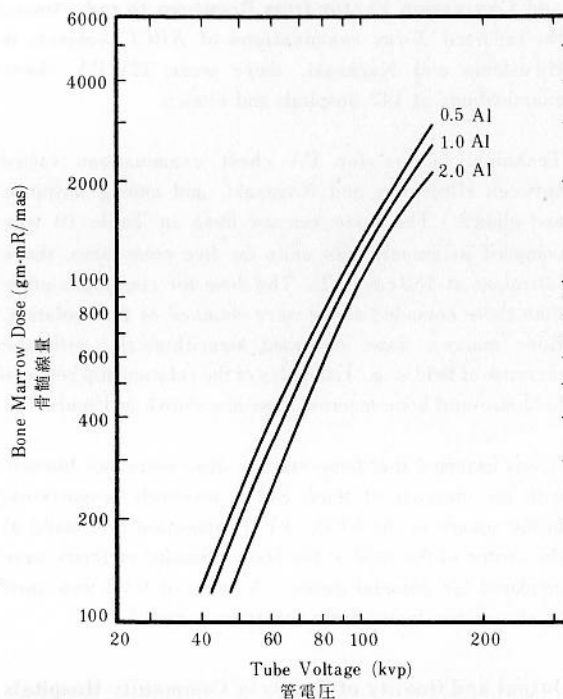


FIGURE 9 TOTAL BONE MARROW DOSE

図9 全骨髓線量

Field: 11 × 14 inches (Cube: F-L) FFD: 183 cm

照射野: 11×14インチ (区画: F-L) FFD: 183 cm

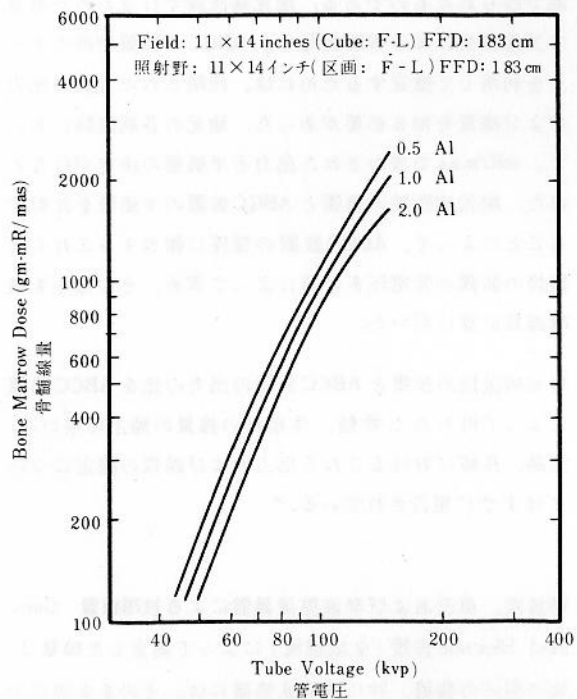
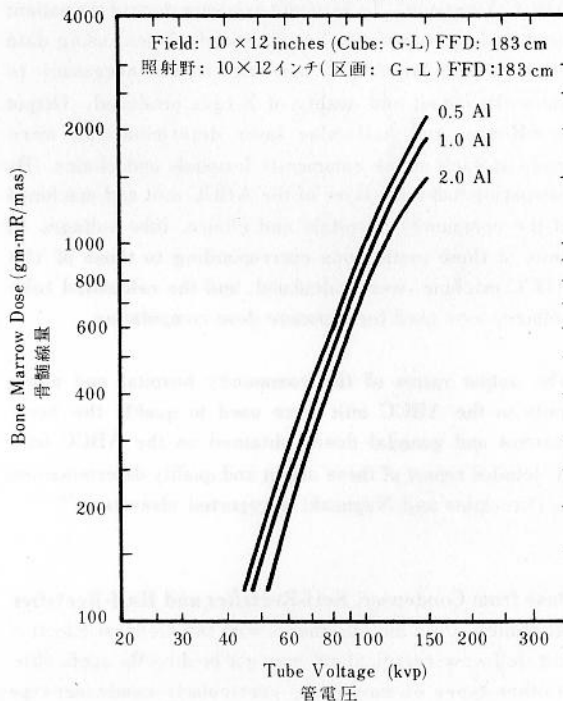


FIGURE 10 TOTAL BONE MARROW DOSE

図10 全骨髓線量

Field: 10 × 12 inches (Cube: G-L) FFD: 183 cm

照射野: 10×12インチ (区画: G-L) FFD: 183 cm



APPLICATION OF BONE MARROW AND GONADAL DOSE TABLE FOR ABCC SUBJECTS

Correction for kvp, Filtration, Field Size, FFD, mas and Conversion Factor from Roentgen to rad Among the reported X-ray examinations of ABCC subjects in Hiroshima and Nagasaki, there were 421 PA chest examinations at 142 hospitals and clinics.

Technical factors for PA chest examinations varied between Hiroshima and Nagasaki, and among hospitals and clinics. The bone marrow dose in Table 10 was compiled in gm-mR/mas units for five cone sizes, three filtrations at 183 cm FFD. The dose for conditions other than those compiled above were obtained by interpolation. Bone marrow dose increased logarithmically with the increase of field size. Examples of the relationship between field size and bone marrow dose are shown in Figure 11.

It was assumed that bone marrow dose increases linearly with the increase of mas, and is inversely proportional to the square of the FFD. FFD correction was made at the center of the field at the body. Similar methods were employed for gonadal doses. A value of 0.93 was used as conversion factor from roentgen to rad.¹⁵

Output and Quality of X-rays in Community Hospitals and Clinics The nominal tube voltage of an X-ray machine is not necessarily the true value. Bone marrow and gonadal dose hitherto mentioned were incurred with an ABCC X-ray unit. To estimate exposure dose of the patient examined at community hospitals and clinics, using data obtained with the ABCC machine, it was necessary to know the output and quality of X-rays produced. Output in mR/mas and half-value layer determinations were made at each of the community hospitals and clinics. By comparing half-value layer of the ABCC unit and machines of the community hospitals and clinics, tube voltages of units at these institutions corresponding to those of the ABCC machine were calculated, and the calculated tube voltages were used for exposure dose computation.

The output ratios of the community hospital and clinic units to the ABCC unit were used to qualify the bone marrow and gonadal doses obtained on the ABCC unit. A detailed report of these output and quality determinations in Hiroshima and Nagasaki is reported elsewhere.¹⁶

Dose from Condenser, Self-Rectifier and Half-Rectifier Machines Dose measurements with the General Electric unit (full-wave rectification) may not be directly applicable to other types of machines, particularly condenser-type

骨髓および生殖腺線量表のABCC調査対象への適用

Kvp, 濾過板, 照射野, FFD, masならびにラド換算係数に対する補正 広島, 長崎のABCC対象者のX線検査のうち, 142の病医院で421例の胸部背腹方向検査が報告された。

胸部背腹方向検査の技術的条件は, 広島, 長崎の間でまた病医院間で異なっていた。表10の骨髓線量はFFD183cmで, 5つの照射野, 3つの濾過板についてgm-mR/mas単位で整理された。これら以外の条件における線量は内挿によって求められた。骨髓線量は照射野の増加に対して指数関数的に増加した。照射野と骨髓線量の関係を図11に例示する。

骨髓線量はmasの増加に対し直線的に増加し, またFFDの2乗に逆比例すると仮定した。FFD補正は体の中心で行なった。同じような方法を生殖腺線量に対しても採用した。レントゲンからラドへの換算係数は0.93を使用した。¹⁵

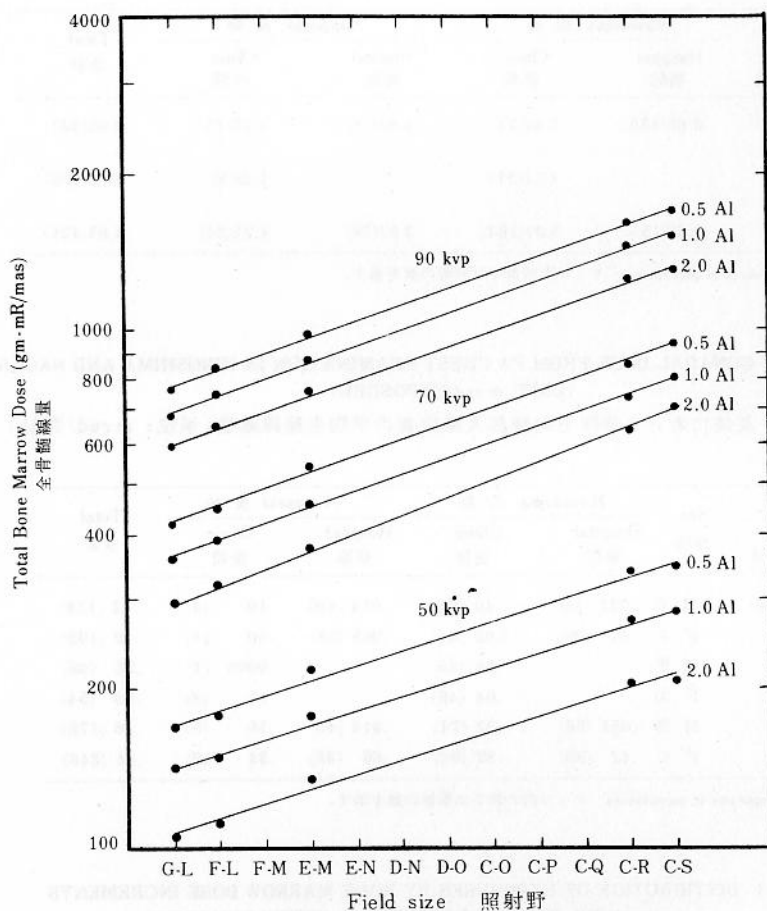
地元病医院におけるX線の出力と線質 X線装置に示された管電圧は必ずしも正しい値を示すとはかぎらない。これまで述べてきた骨髓, 生殖腺線量はABCCのX線装置で得られたものである。地元病医院で行なわれた患者のX線検査による被曝線量を, ABCCの装置で得たデータを利用して推定するためには, 使用されたX線の出力および線質を知る必要があった。地元の各病医院において, mR/masで表わされた出力と半価層の決定が行なわれた。地元病医院の装置とABCC装置の半価層を比較することによって, ABCC装置の電圧に相当するこれらの施設の装置の管電圧を計算によって求め, その電圧を被曝線量計算に用いた。

地元病医院の装置とABCC装置の出力の比をABCC装置によって得られた骨髓, 生殖腺の線量の補正に用いた。広島, 長崎におけるこれら出力および線質の測定についてはすでに報告されている。¹⁶

蓄放式, 自己および半波整流装置による被曝線量 General Electric装置(全波整流)によって測定した線量は, 他の型式の装置, 特に蓄放式装置には, そのまま適用で

FIGURE 11 RELATIONSHIP BETWEEN FIELD SIZE
AND TOTAL BONE MARROW DOSE

図11 照射野と全骨髄線量との関係



machines. However, it was found that attenuation of radiation with aluminum for these condenser types of machines produced results similar to those from full-wave rectification. Therefore, the bone marrow and gonadal doses compiled here are applicable to those other units.

Bone Marrow and Gonadal Dose from PA Chest Examination The mean bone marrow and gonadal doses in community hospitals and clinics are shown in Tables 12 and 13. These data include those of hospitals and clinics in which output and quality measurements were not performed for certain reasons.

The range of gonadal dose was very large as compared with bone marrow dose depending on whether gonads were inside or outside of the X-ray beam. The ranges of bone marrow and gonadal dose are shown in Tables 14 and 15.

きるとはかぎらない。しかしながら、これらの蓄放式装置に対するアルミニウムによる放射線の減弱は全波整流のそれと似た結果を与えることがわかった。それゆえここで作製された骨髄、生殖腺線量表は他の型式の装置にも適用できる。

胸部背腹方向X線検査の骨髄および生殖腺線量 地元病医院の平均骨髄線量および生殖腺線量を表12、13に示す。これらのデータには出力および線質の測定を行なわなかった病医院の線量値も含まれている。

生殖腺線量の範囲は、骨髄線量に比べて非常に大きい。これはX線の線錐の内か外かによるところが大きいからである。骨髄および生殖腺線量の範囲を表14、15に示す。

TABLE 12 MEAN BONE MARROW DOSE FROM PA CHEST EXAMINATION IN HIROSHIMA AND NAGASAKI
(UNIT: gm-rad/EXPOSURE)

表12 広島、長崎における胸部背腹方向X線検査の平均骨髓線量(単位: gm-rad/照射)

Type of Machine 装置の型式	Hiroshima 広島		Nagasaki 長崎		Total 合計
	Hospital 病院	Clinic 医院	Hospital 病院	Clinic 医院	
Transformer 変圧器式	3.68(155)	7.47(73)	3.87(78)	4.17(15)	4.61(321)
Condenser 蓄放式	-	4.77(91)	-	4.28(9)	4.73(100)
Total 計	3.68(155)	5.97(164)	3.87(78)	4.21(24)	4.64(421)

Number of exposures in parentheses. カッコ内の数字は照射の数を示す。

TABLE 13 MEAN GONADAL DOSE FROM PA CHEST EXAMINATION IN HIROSHIMA AND NAGASAKI
(UNIT: m rad/EXPOSURE)

表13 広島、長崎における背腹方向胸部X線検査の平均生殖腺線量(単位: m rad/照射)

Type of Machine 装置の型式	Sex 性別	Hiroshima 広島		Nagasaki 長崎		Total 合計
		Hospital 病院	Clinic 医院	Hospital 病院	Clinic 医院	
Transformer 変圧器式	M 男	.051 (56)	.40 (29)	.014 (40)	.19 (4)	.12 (129)
	F 女	.42 (99)	1.02 (44)	.065 (38)	.50 (11)	.49 (192)
Condenser 蓄放式	M 男	-	.26 (45)	-	.0008 (1)	.26 (46)
	F 女	-	.64 (46)	-	.11 (8)	.56 (54)
Total 計	M 男	.051 (56)	.32 (74)	.014 (40)	.16 (5)	.16 (175)
	F 女	.42 (99)	.82 (90)	.65 (38)	.34 (19)	.51 (246)

Number of exposures in parentheses. カッコ内の数字は照射の数を示す。

TABLE 14 DISTRIBUTION OF EXPOSURES BY BONE MARROW DOSE INCREMENTS
(gm-rad) BY TYPE OF INSTITUTION, CITIES COMBINED

表14 両市の施設別に表わされた一定範囲の骨髓線量に対する照射数の分布
(gm-rad)

Dose Range (gm-rad) 線量範囲	Number of exposures 照射数		
	Hospital 病院	Clinic 医院	Total 合計
- .9	4	2	6
1.0-1.9	32	28	60
2.0-2.9	61	32	93
3.0-3.9	60	18	78
4.0-4.9	29	21	50
5.0-5.9	18	29	47
6.0-6.9	10	7	17
7.0-7.9	7	14	21
8.0-8.9	8	7	15
9.0-9.9	0	6	6
10-19	4	18	22
20-29	0	6	6
Total 計	233	188	421

TABLE 15 DISTRIBUTION OF EXPOSURES BY GONADAL DOSE INCREMENTS
BY TYPE OF INSTITUTION, CITIES COMBINED

表15 両市の施設別に表わされた一定範囲の生殖腺線量に対する照射数の分布

Dose Range (m rad) 線量範囲	Number of Exposures 照射数					
	Male 男		Female 女		Total 合計	
	Hospital 病院	Clinic 医院	Hospital 病院	Clinic 医院	Male 男	Female 女
<.001	67	9	27	0	76	27
.001- .0099	11	14	58	7	25	65
.01 - .099	14	28	13	22	42	35
.1 - .99	3	21	24	51	28	75
1.0 -9.9	1	7	15	29	8	44
Total 計	96	79	137	109	175	246

DISCUSSION

We encountered wide parameters of technical factors used in roentgenological examinations in community hospitals and clinics.⁷ Accordingly, bone marrow and gonadal doses varied widely in the present study. Exposure doses to patients vary by field size, field contour, intensifying screens, X-ray films and methods of processing them, effective tube voltages, mas, and patient size. In the present study, size of patients was assumed the same as that of the phantom. In a previous study,⁵ we obtained extreme variations in dose; such a degree of variation was not encountered in the present study, suggesting that improper indications of tube voltage and current on the X-ray machines in community hospitals and clinics were responsible for the earlier variations. Nearly all X-ray machines in community hospitals and clinics were assessed for radiation output, and the quality of X-rays produced was determined.

Although no definite difference in ranges of bone marrow dose was seen by institution (Table 14), more frequent exposures incurring smaller gonadal doses were encountered in hospitals, rather than clinics. Clinics incurred a larger mean bone marrow and gonadal dose, especially gonadal, than did hospitals. This presumably was due to the use of smaller and better collimated fields in the hospitals, though other factors might have been operative.

There was no significant difference in mean bone marrow and gonadal doses between Hiroshima and Nagasaki institutions as a whole.

考 察

地元病医院のX線検査に用いられている技術条件に、大きなばらつきがあることがみいだされた。⁷ 結果として、本研究における骨髄、生殖腺線量は大きく変動した。患者の被曝線量は照射野の大きさや形、増感紙、X線フィルム、その現像の方法、実効電圧、mas、患者の大きさによって変わる。ここでは患者の大きさは、ファントムと同じと仮定した。前回の研究⁵において、極端にばらついた線量値が得られたが、このようなばらつきは本研究ではみられなかった。これは地元病医院におけるX線装置の管電圧、電流の指示値が、適当でないことが、前回の線量値のばらつきの原因であったことを示唆している。今回は地元病医院のほぼすべてのX線装置について、X線出力およびX線の線質の測定が行なわれた。

骨髄線量の範囲は、施設によって顕著な差はみられなかったが(表14)、生殖腺の線量については病院の方が医院より小さかった。医院は病院に比べて平均骨髄および生殖腺線量が大きかった。特に生殖腺線量ではその差が大きかった。他にいろいろな因子がありうるが、おそらく病院の方が小さくかつよく絞った照射野を使用しているためであろう。

総体的にみて、広島と長崎の間の平均骨髄および生殖腺線量には著明な差はなかった。

Results obtained in the present study were compared with those of the comprehensive study of Epp et al.¹⁷ because apparatus and methodology used were similar, and the results were more suitable for such comparison (Tables 16 and 17). Strict comparison is difficult because field size, filtration and phantom used were not the same. There was good agreement of ovarian doses over wide ranges of tube voltage and field size. Testis doses in this study were 1-1/10 of those obtained by Epp et al.¹⁷ Differences in location and depth of chambers for testis may have been responsible for the differences. Position of the anode of the X-ray tube was evaluated. With the anode located inferiorly, a relatively low dose was incurred to the lower portion of the body, particularly to the testis. With the anode superiorly, testis dose was greater by a factor of 3-5 at lower tube voltages.¹⁸ Ovarian doses were not affected by anode position as much as were testis doses.

ファントーム実験によって得られた結果は、Eppらの広範な研究結果¹⁷と比較された。というのは、機器と方法が似ており、結果を比較するのに都合がよいからである(表16, 17)。照射野、濾過板、ファントームが同じでないから正確な比較は困難である。卵巣線量は管電圧および照射野の広い範囲にわたってよい一致がみられた。睪丸線量はEppらの値¹⁷に比べて1-1/10であった。睪丸場所の電離槽の位置や深さが差異の原因であろう。X線管球の陽極位置による影響について研究を行なった。陽極が足側にある場合、身体の下方向部分、特に睪丸への線量は比較的小さい。陽極が頭側にある場合、睪丸線量は低い電圧で3-5倍大きかった。¹⁸卵巣線量は睪丸に比べ陽極位置によって大きな影響は受けなかった。

TABLE 16 COMPARISON OF GONADAL DOSE DATA WITH THOSE OF EPP ET AL.

表16 生殖腺線量についてEppらの値との比較

(mR/mas)

Field Size 照射野	Gonads 生殖腺	60 kvp		80 kvp		100 kvp		120 kvp
EPP								
		1.0 Al (1.10)	2.0 Al (2.1)	1.0 Al (1.3)	2.0 Al (2.1)	1.0 Al	3.0 Al	3.0 Al
A	Ovaries 卵 巢 .....	.001	.001	.005	.004	.011	.010	.027
	Testis 睪 丸 .....	.001	.001	.003	.002	.005	.004	.007
B	Ovaries 卵 巢 .....	.040	.033	.12	.10	.23	.19	
	Testis 睪 丸 .....	.006	.006	.015	.015	.029	.028	
C	Ovaries 卵 巢 .....	.13	.11	.34	.30	.67	.55	
	Testis 睪 丸 .....	.010	.010	.025	.023	.048	.046	
D	Ovaries 卵 巢 .....				.31			1.2
	Testis 睪 丸 .....				.92			1.7
ABCC								
		1.0 Al	2.0 Al	1.0 Al	2.0 Al	1.0 Al	2.0 Al	2.0 Al
-M	Ovaries 卵 巢 .....	.001	.0009	.0041	.0038	.011	.010	.021
	Testis 睪 丸 .....	.00004	.00003	.0002	.0002	.0005	.0005	.0011
-P	Ovaries 卵 巢 .....	.043	.042	.15	.14	.33	.31	
	Testis 睪 丸 .....	.0015	.0014	.0061	.0055	.015	.014	
-Q	Ovaries 卵 巢 .....	.13	.11	.36	.32	.69	.60	
	Testis 睪 丸 .....	.0055	.0055	.020	.019	.045	.042	
-S	Ovaries 卵 巢 .....				.40			1.2
	Testis 睪 丸 .....				.27			.67

A: Testis and ovaries outside the beam

B: Testis outside the beam but ovaries in penumbra of the beam

C: Testis outside the beam, but ovaries inside the beam

D: Testis and ovaries inside the beam

These correspond to sections -M, -P, -Q and -S in the lattice system.¹⁴

A: 睪丸、卵巣ともに線量外

B: 睪丸は線量外、卵巣は線量の辺縁上

C: 睪丸は線量外、卵巣は線量内

D: 睪丸、卵巣ともに線量内

これらは格子系の-M, -P, -Q, -Sに相当する。¹⁴

TABLE 17 COMPARISON OF BONE MARROW DOSE DATA WITH THOSE OF EPP ET AL

表17 骨髓線量についてEppらの値との比較

(gm·rad/mas)

Field Size 照射野	60 kvp		80 kvp		100 kvp		120 kvp
	1.0 Al	2.0 Al	EPP 1.0 Al	ET AL 2.0 Al	1.0 Al	3.0 Al	3.0 Al
A	.13	.11	.29	.25	.55	.42	.68
B	.27	.21	.65	.54	1.2	.89	
C	.29	.23	.68	.57	1.3	.98	

	ABCC						
	1.0 Al	2.0 Al	1.0 Al	2.0 Al	1.0 Al	2.0 Al	2.0 Al
E-M	.33	.25	.70	.58	1.2	1.0	1.5
C-P	.43	.35	.94	.82	1.6	1.4	
C-Q	.46	.37	1.0	.87	1.7	1.5	

A, B and C correspond to E-M, C-P and C-Q in the lattice system, respectively.

A, B, Cは本研究の立方区画系でそれぞれE-M, C-P, C-Qに相当する。

Dosimetry methods vary widely among different investigators; some have reported gonadal dose as being undetectable in PA chest and other examinations.¹⁹ Mean gonadal dose of ABCC subjects was 0.16 mrad for males and 0.51 mrad for females. Technical factors of exposure varied widely in the community hospitals and clinics, but these values are of the same magnitude as obtained by other investigators.

The mean bone marrow dose in this study was about twice as great as that reported by Epp et al,¹⁷ as shown in Table 17, though radiation output of the X-ray machines used by their group and ours was nearly the same, and the dosimetric apparatus were of the same type and manufacture. Size of phantom, bone marrow weight, and calculation methods were somewhat different, however. These latter factors could be responsible for the differences.

A value of 40 mrem has appeared in the United Nations report²⁰ for PA and lateral chest examinations, obtained by calculation after measuring skin dose and percentage depth dose. Epp et al¹⁷ calculated this to be 15-17 mrem. The value obtained in the present study was 12-24 mrem.

SUMMARY

Measurements of bone marrow and gonadal dose from PA chest X-ray examination have been made with a phantom.

線量測定の方法は研究者によって異なっており、ある研究者は、胸部背腹方向検査および他の検査の生殖腺線量は検出できないと報告している。¹⁹ ABCC対象者の平均生殖腺線量は、男性で0.16 mrad、女性で0.51 mradであった。地元病医院における照射の技術的条件が広く変動しているが、ここで得られた値は他の研究者によって得られたものとほぼ同じであった。

本研究の平均骨髓線量は表17に示すとおりEppらによって報告された値¹⁷の約2倍であった。用いたX線装置のX線出力は両者の間で、ほぼ同じであり、線量測定器は同じ型式で、同じ製作会社によって作られたものを使用した。しかしながらファントムの大きさ、骨髓重量、計算方法が若干異なっていた。この後述の因子が差異の原因であろう。

国連報告²⁰には、背腹および側方向胸部X線検査の線量として40 mremという値があげてある。これは表面線量を測定し、深部線量百分率から計算によって得られたものである。Eppら¹⁷はこれに対し15-17 mremと計算している。本研究によって得られた値は12-24 mremであった。

要 約

背腹方向胸部X線検査による骨髓、生殖腺線量をファントムによって測定した。

An electronic computer was used to calculate the bone marrow dose, and calculated dose was applied to X-ray examinations of ABCC subjects received in community hospitals and clinics.

Mean bone marrow dose of ABCC subjects for PA chest examinations was 4.64 gm-rad, and that of gonadal dose was 0.16 mrad for male and 0.51 mrad for female.

骨髄線量の計算には電子計算機を用い、得られた線量は病医院において受けたABCC対象者のX線検査に適用した。

背腹方向胸部X線検査におけるABCC対象者の平均骨髄線量は、4.64gm-rad、生殖腺線量は男性0.16mrad、女性0.51mradであった。

REFERENCES

参考文献

1. RITCHIE RH, HURST GS: Penetration of weapons radiation: Application to the Hiroshima-Nagasaki studies. *Health Phys* 1:390-404, 1959; *Hiroshima Igaku-J Hiroshima Med Ass* 16:602-21, 1963
(核兵器放射線の透過性、広島-長崎調査への応用)
2. ARAKAWA ET: Radiation dosimetry in Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors. *New Eng J Med* 263:488-93, 1960; *Hiroshima Igaku-J Hiroshima Med Ass* 14:338-46, 1961
(広島および長崎の被爆生存者に関する放射線量測定)
3. Research plan for joint ABCC-JNIH Adult Health Study in Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 11-62
(広島および長崎におけるABCCと国立予防衛生研究所が共同で実施する成人健康調査に関する研究企画書)
4. 原子爆弾被爆者の医療等に関する法律。厚生省、1957年3月施行(法第41号); 1960年8月1日改正(法第1365号); 1961年3月3日改正(政令第89号)
(A-bomb Survivors Medical Treatment Law, Health and Welfare Ministry. Enacted 3 March 1957 (Law No. 41); Amended 1 August 1960 (Law No. 1365); Amended 3 March 1961 (Government Ordinance No. 89))
5. ANTOKU S, YOSHINAGA H, et al: Dosimetry, diagnostic medical X-ray; exposure of ABCC subjects in community hospitals and clinics. ABCC TR 6-65
(診断用X線の線量調査、ABCC調査対象が地元病医院で受ける線量)
6. SAWADA S, WAKABAYASHI T, et al: Exposure to medical X-ray in community hospitals and clinics, Hiroshima and Nagasaki. Survey of subjects, January 1964-January 1965. ABCC TR 24-67
(地元病医院における医療用X線照射、広島・長崎、対象者の調査、1964年1月-1965年1月)
7. SAWADA S, RUSSELL WJ, WAKABAYASHI T: Radiography and fluoroscopy techniques in hospitals and clinics, 1964-65, Hiroshima-Nagasaki. ABCC TR 2-68
(広島・長崎の病医院における直接X線検査法および透視検査法、1964-65年)
8. LAUGHLIN JS, MEURK ML, et al: Bone, skin, and gonadal doses in routine diagnostic procedures. *Amer J Roentgen* 78:961-82, 1957
(通常のX線診断方法による骨、皮膚ならびに生殖腺線量)
9. LAUGHLIN JS: Ionization chambers for diagnostic X-ray exposure studies. In *Technological Needs for Reduction of Patient Dosage from Diagnostic Radiology*, Ed by JANOWER ML, Springfield, Ill, CC Thomas, 1963. pp 11-40
(診断用X線被曝線量の測定のための電離槽)
10. GARRETT R, LAUGHLIN JS: A diagnostic X-ray exposure dose chamber. *Health Phys* 2:189-94, 1959
(診断用X線の線量測定のための電離槽)
11. STUART S, OSBORN SB: A wide range direct reading X-ray dosimeter. *Phys Med Biol* 3:255-63, 1959
(広範囲直読型X線量計)
12. OSBORN SB, BURROWS RG: An ionization chamber for diagnostic X-radiation. *Phys Med Biol* 3:37-43, 1958
(診断X線用電離槽)
13. YOSHINAGA H, IHNO Y, et al: Equipment and techniques in medical X-ray dosimetry studies, ABCC. ABCC TR 29-66
(医療用X線照射線量調査における装置と技術)
14. RUSSELL WJ, YOSHINAGA H, et al: Active bone marrow distribution in the adult. *Brit J Radiol* 39:735-9, 1966
(成人における赤色髄の分布)

15. National Bureau of Standards Handbook 62, 1956. p 16
(米国標準局ハンドブック)
16. ANTOKU S, MIZUNO M, et al: Radiation output and quality of diagnostic X-ray apparatus in community hospitals and clinics, Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 23-67
(広島・長崎の地元病医院における診断用 X 線の放射線出力と線質, 広島・長崎)
17. EPP ER, WEISS H, LAUGHLIN JS: Measurement of bone marrow and gonadal dose from the chest X-ray examination as a function of field size, field alignment, tube kilovoltage and added filtration. Brit J Radiol 34:85-100, 1961
(管電圧ならびに濾過板を関数とした胸部 X 線検査の骨髄および生殖腺線量の測定)
18. ANTOKU S, SAWADA S, et al: Quantitative estimate of anode effect in diagnostic X-rays, ABCC TR 26-67
(診断用 X 線の陽極効果について)
19. RITTER VW, WARREN SR Jr, PENDERGRASS EP: Roentgen doses during diagnostic procedures. Amer J Roentgen 71:180, 1954
(abstract)
(診断検査によって受ける X 線線量)
20. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. General Assembly, Official Records: Seventeenth Session, Supplement No. 16 (A/5216), New York, 1962. p 407
(放射線の影響に関する国連科学委員会報告)