

DOSIMETRY, DIAGNOSTIC MEDICAL X-RAY

診断用 X 線の線量調査

EXPOSURE OF ABCC SUBJECTS IN COMMUNITY HOSPITALS
AND CLINICS

ABCC 調査対象者が地方病医院で受ける線量

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. 安徳重敏

HARUMA YOSHINAGA, Ph.D. 吉永春馬

WALTER J. RUSSELL, M.D.

YU IHNO, M.D. 飯野 祐



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。

DOSIMETRY, DIAGNOSTIC MEDICAL X-RAY

診断用 X 線の線量調査

EXPOSURE OF ABCC SUBJECTS IN COMMUNITY HOSPITALS
AND CLINICS

ABCC 調査対象者が地方病医院で受ける線量

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D.^{1*} 安徳重敏HARUMA YOSHINAGA, Ph.D.^{2**} 吉永春馬WALTER J. RUSSELL, M.D.³YU IHNO, M.D.⁴ 飯野 祐*

Approved 承認 26 August 1965

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

Research Institute for Nuclear Medicine and Biology, Hiroshima University, ¹ Faculty of Medicine, Kyushu University, ²
Department of Radiology, ABCC, ³ and Faculty of Medicine, University of Tokyo ⁴

広島大学原爆放射能医学研究所,¹ 九州大学医学部,² ABCC放射線部,³ および東京大学医学部⁴

* Visiting Research Associate 客員研究員

** Consultant 顧問

ACKNOWLEDGMENT

感謝のことば

Grateful appreciation is extended to Dr. Shozo Sawada and Mr. Masayoshi Mizuno whose special efforts greatly aided the completion of this study. The authors are indebted to the Biophysics Division, Sloan-Kettering Institute for furnishing some of the dosimetry apparatus used in this study.

本調査の達成に多大のご援助をいただいた沢田昭三博士および水野正義氏，ならびに本調査で使用した線量測定器を提供された Sloan-Kettering 研究所生物物理部に深甚なる謝意を表する。

CONTENTS
目次

Background	背景	1
Dosimetry Program	線量測定計画	3
Earlier Studies	予備調査	3
Method	方法	4
Dose Calculations	線量計算	4
Results	成績	5
Discussion	考察	6
Summary	総括	11
References	参考文献	15

TABLES 表

1. PA chest examination dose range (gonadal dose)	胸部背腹方向 X 線検査線量の範囲 (生殖腺線量)	5
2. PA chest examination dose range (bone marrow dose)	胸部背腹方向 X 線検査線量の範囲 (骨髄線量)	5
3. PA chest examinations, mean gonadal and bone marrow dose per exposure	胸部背腹方向 X 線検査, 曝射 1 回当たりの平均生殖腺線量および骨髄線量	6
4. Gonadal and bone marrow dose	生殖腺線量および骨髄線量	7
5. Conditions for PA chest exposures	胸部背腹方向 X 線照射の諸条件	8
6. General diagnostic radiology: National Survey, 1957-58 mean gonad dose per examination	一般診断用放射線照射: 全国的調査, 1957-58 年検査 1 回当たりの平均生殖腺線量	9
7. Gonadal doses as submitted by countries and examinations	報告に基づく国別および検査の種類別生殖腺線量	10
8. Mean bone marrow doses from diagnostic X-ray exposure	診断用 X 線照射による平均骨髄線量	11
9. PA chest examination	胸部背腹方向 X 線検査	12

FIGURES 図

1. Technique card 検査法カード	2
2. PA chest examination -bone marrow dose 胸部背腹方向X線検査 - 骨髓線量	13
3. PA chest examination gonadal dose 胸部背腹方向X線検査 - 生殖腺線量	14

EXPOSURE OF ABCC SUBJECTS IN COMMUNITY HOSPITALS AND CLINICS
ABCC 調査対象者が地方病医院で受ける線量

BACKGROUND

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. Contribution of diagnostic medical X-ray has also been 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. 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 instances exceeds 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 care¹ or because of anxiety or both.

The frequency with which subjects in the follow-up studies conducted at ABCC receive examinations in community hospitals and clinics in Hiroshima and Nagasaki and the degree to which radiation therapy and occupational exposure contribute to the cumulative dose among the various exposure groups were unknown. To evaluate these potentially complicating factors, a dosimetry program was jointly undertaken by the ABCC Department of Radiology and the Department of Radiation Biology of the Research Institute for Nuclear Medicine and Biology, Hiroshima University. An additional aim adopted later was to determine individual doses by diagnostic medical X-ray for A-bomb survivors and nonexposed persons, and to compile tables by the method of Epp, et al^{2,3} relating bone marrow and gonadal dose to the technical factors used in such examinations in the community hospitals and clinics. Data obtained in both cities concerning radiation therapy and occupational exposure during this program will be reported separately.

背景

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。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。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ろう。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ところから、¹あるいはまた不安をもつところから、またはこの2つの理由が相まって、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。

ABCC における追跡調査の対象者が広島および長崎の地元病医院で受けるこのような検査の頻度、ならびに各被曝区分群における集積線量に対する放射線療法ないし職業的被曝の寄与の程度は、従来不明であった。これら不明の複雑な要因の検討を目的として、ABCC 放射線部と広島大学原爆放射能医学研究所障害基礎研究部門による共同の線量測定計画が発足した。この計画にはその後さらに、被爆者および非被爆者各人の診断用 X 線による被曝線量の測定、ならびに骨髄線量および生殖腺線量と地元病医院がこのような検査に用いる技術的条件との関係を示す表を、Epp ら^{2,3}の方法により求めることが付け加えられた。両市で得た放射線療法および職業的被曝に関する資料については別に報告する。

TECHNIQUE CARD 検査法カード

Name 氏名		M.F.No. 基本名簿番号 X-ray No. 放射線科番号									
Address 住所											
Referred by Dr. 紹介医											
Address 住所							Age 年齢		Sex 性		
Examinations 検査内容											
Date 年月日	No. Exp. 撮影回数	Examiner 検査担当者	M.A. ミリ アンペア	Sec. 秒	Fluor. Min. 透視時間	Views 撮影部位	K.V. 電圧	Thickness Part (cm) 検査部位の厚さ	FID (in) 距離	Dose 線量	
										Skin 皮膚	Gonad 生殖器

RADS 1261

Nearly 20,000 subjects participate regularly in the ABCC-JNIH Adult Health Study.⁴ This group comprises part of the JNIH-ABCC Life-Span Study sample totaling 100,000 people selected from the populations of Hiroshima and Nagasaki. The Adult Health Study sample was originally divided into 24 groups which were scheduled for examination so that each individual is regularly examined at least every 2 years, and more frequently if clinically indicated. During these biennial visits, the subjects receive complete physical examinations, a number of routine laboratory tests, and additional tests as indicated. Each subject receives a chest roentgenological examination with 14"×17" posteroanterior (PA) and left lateral projections. Additional roentgenological studies clinically indicated are also included, and are performed so as to contribute minimal dose to the patient. The technical factors of each exposure are recorded by the radiologic technician on special forms filed in the ABCC Department of Radiology so that cumulative dose estimates can eventually be made for each subject (Figure 1). Average dose values based on the data of Epp, et al,⁵ have already been made, and more definitive dose estimates will eventually be calculated.

No such data were available to apply to examinations in the community hospitals and clinics in Hiroshima and Nagasaki. A study was therefore conducted to determine technical exposure factors and to eventually estimate dose from medical X-ray.

ABCC - 予研の成人健康調査では20,000人に近い被検者が定期的に検査を受けている。⁴ この群は広島および長崎在住者から抽出された合計100,000人による予研-ABCCの寿命調査対象群の一部である。成人健康調査対象群は本来24群に区分され、各人が少なくとも2年に1回、臨床的に必要と認められるものについてはさらにその回数を増して、定期検診を受けるように計画されている。この2年ごとの検査では、被検者は健康診断、幾種かの定例臨床検査、ならびに必要に応じて各種の追加検査を受ける。各人について14×17インチフィルム(半切)を用いて背腹方向および側方向胸部X線検査を実施する。これにはさらに臨床的に必要とされるいっさいの追加X線検査が加えられ、それは被検者の被曝線量を最少限にとどめるように実施される。放射線部技術員は検査の都度その技術的条件を放射線部で保管する特別用紙に記入して、各被検者における集積線量が必要に応じて推定できるようにする(図1)。Eppら⁵の資料に基づく平均被曝線量の算定はすでに行なわれているが、さらに正確な線量の算定がやがて行なわれるであろう。

広島および長崎の地元病医院で行なわれたX線検査についてはこのような資料がない。そのため照射の技術的条件を明確にし、診断用X線による線量が推定できるようにしようという調査が行なわれた。

ABCC DOSIMETRY PROGRAM

To determine frequency and location of exposure, and individual doses to Adult Health Study participants in community hospitals and clinics, a three-phase plan was adopted:

- 1 Interrogation of patients to ascertain location and time of exposure 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 patients in phase 1; and
- 3 Dosimetry studies in the ABCC Department of Radiology to duplicate these exposures using dosimetric apparatus and phantom material to measure bone marrow and gonadal dose.

EARLIER STUDIES

For phase 1, a preliminary survey of Adult Health Study subjects in the ABCC medical clinics, Hiroshima and Nagasaki, determined frequency and location of their exposure to medical X-ray in other hospitals and clinics, between examinations at ABCC.⁶ Reliability of subjects' responses concerning ABCC examinations was determined. The data were unreliable, because subjects could not recall detailed information over a relatively long period. In that survey, 10 or 12 interrogators were employed, and interrogation method and response therefore varied. Similar poor reliability of response has also been reported in subsequent studies elsewhere.⁷

Adult Health Study subjects were later resurveyed for the first phase of this program, with one principal and one alternate interrogator in the ABCC Department of Radiology, Hiroshima and Nagasaki.⁸ A total of 2503 subjects were interrogated concerning diagnostic medical X-ray during a 3-month period prior to interrogation; any past exposure by radiation therapy; and any occupational exposure. Four hundred subjects reported medical exposure in about 100 hospitals and clinics in Hiroshima and Nagasaki, and a large number of exposures by stationary and mobile photofluorographic units.

In the second part of the program, responsible hospitals and clinics were surveyed for technical factors of exposure used in the examinations reported by the subjects.⁹ In spite of good cooperation, some details of exposure were not recorded and could not be recalled by personnel in

ABCC の線量測定計画

成人健康調査対象者が地元病医院で受けた X 線照射の頻度, その場所, および各人の被曝線量を明らかにするため, 次の 3 段階の調査計画が採用された。

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てこれらの照射状況を ABCC 放射線部で再現し, 骨髄線量および生殖腺線量の測定を行なう。

予備調査

第 1 段階の調査については, 広島および長崎の ABCC 臨床部で予備的調査を実施し, 成人健康調査対象者が ABCC で受ける各定期検査の間で地元病医院で受けた放射線照射の回数, ならびにその病医院名を明らかにした。⁶ 被検者の回答の信頼性の有無を ABCC で受けた検査について調べた。被検者にとって比較的長期にわたる事項を詳細にわたって思い起こすことは不可能であったから, この資料には信頼性が欠けていた。調査には 10 名ないし 12 名の質問係が当たったから, 質問の方法も, またそれによって得た回答も, 多様であった。その後行なわれた他の土地の調査でも, その回答には同様に信頼性が乏しかったという。⁷

第 1 段階の調査ではその後, 広島および長崎の ABCC 放射線部にそれぞれ調査員 1 名および補佐員 1 名をおいて, 成人健康調査対象群の再調査を実施した。⁸ 総計 2503 名の調査対象者に質問の時から過去 3 か月以内に受けた診断用 X 線による被曝, 過去におけるいっさいの放射線療法による被曝, ならびに職業的被曝について質問した。このうち 400 名が広島および長崎の病医院約 100 か所で医療用 X 線による照射を受けており, また病医院または移動診療車において間接撮影を受けた例が相当数報告された。

計画の第 2 段階においては, 被検者が報告した検査に用いられた照射の技術的条件を関係病医院について調査した。⁹ 協力は十分に得られたのであるが, 照射条件の中には記録がなく, 当該施設の職員の記憶にも残っていないものがあつた。これは小医院において, 特に透視検査

these institutions. This occurred more often in smaller clinics, particularly for fluoroscopic examinations. The study showed a wide range of technical factors was used in radiological practice, and dose data of investigators in other countries^{2,3} could not be readily applied to situations of exposure in these hospitals and clinics.

Available Japanese data concerned only gonadal dose for the general population.¹⁰ The dosimetry study, step 3, was therefore undertaken using the data obtained from the patient⁸ and hospital⁹ surveys.

METHOD

Using dosimetric equipment described elsewhere,¹¹ bone marrow dose and gonadal doses were measured according to the method of Laughlin et al.² It was necessary to make a number of alterations of a phantom available in the ABCC Department of Radiology and to construct additional phantom material to adapt to this methodology. Skin dose was measured with a portable X-ray dose meter and 35 cc capacity ionization chambers. The alterations of the phantom and basic procedures are also described in another report.¹¹ Using data obtained from the hospital and clinic survey,⁹ X-ray examinations of the interrogated subjects were duplicated at ABCC using the 'human' phantom. The following radiographic examinations were so assessed:

の場合に多く見受けられた。調査の結果によれば、放射線診療において採用されている技術的条件はきわめて広範囲にわたっており、他の諸国で求めた線量データ^{2,3}をそのまま広島・長崎両市の地元病医院における患者の被曝線量推定に利用することはできなかった。

日本国内で入手し得た資料は、わずかに国民全体について調べた生殖腺線量に関するものだけである。¹⁰したがって、第3段階の線量測定は、ABCCにおける被検者の調査⁸ならびに広島・長崎両市の病医院の調査⁹で得た資料を用いて実施した。

方法

別に報告する線量測定器¹¹を用い、Laughlinらの方式²によって、骨髄線量および生殖腺線量の測定を行なった。この方法に適合するようにABCC放射線部で用いる人体模型にはいくつかの改造を加え、さらに新たな人体模型も作る必要があった。皮膚線量は携帯用X線線量計ならびに35cc容量の電離槽を用いて測定した。人体模型に加えた改造と実験方法についても別に報告が行なわれている。¹¹病医院から得た調査資料に基づき、⁹調査対象者が受けたX線検査の状態を人体模型を用いて再現した。かくして次の諸検査に関する評価が行なわれた。

Examination	検査の種類	Subjects 例数
Chest, PA	胸部, 背腹方向	103
Chest, lateral	胸部, 側方向	4
Rib examination, AP	肋骨, 腹背方向	3
Intravenous pyelogram	腎盂, 静脈性	4
Pelvis, AP	骨盤, 腹背方向	2
Scapula	肩甲骨	3
Skull	頭蓋	21
Thoracic spine	胸椎	4
Gallbladder	胆嚢	10
Knee	膝関節	9
Lumbar spine	腰椎	20

DOSE CALCULATIONS

Gonadal and bone marrow doses were calculated for the above examinations. Field or direct beam size was based on film size and by calculating focal-film-distance, cone size, etc. The body parts located in the direct beam were determined according to a lattice system described

線量計算

上記の検査について生殖腺線量および骨髄線量の算定を行なった。照射野ないし利用線錐の大きさは、フィルム大きさならびに焦点-フィルム間距離、照射筒の大きさ、その他の算定値に基づいて決定した。直接線錐内にある身体の部分は別に報告されている格子法によって決

elsewhere.¹² The location of the gonads was also specified in that phantom.

Bone marrow dose was measured by chambers within bone marrow cavities; female gonadal dose at ovary position, and male gonadal dose at testis position. Active bone marrow dose in gram-rad was calculated according to the previously described bone marrow distribution.¹² Gonadal dose was expressed in milliroentgens (mR).

RESULTS

The largest number of examinations experienced by the subjects were PA chest examinations. Individual gonadal and bone marrow doses for PA chest examinations are presented in Table 9.

The ranges of gonadal dose are shown in Table 1. The majority of male subjects received from 0.001-0.099 mR; the majority of female subjects received 0.01-0.99 mR.

The range of bone marrow dose for PA chest examinations is shown in Table 2. The majority of subjects received from 1.00-3.99 gram-rad per exposure.

TABLE 1 PA CHEST EXAMINATION DOSE RANGE
表1 胸部背腹方向 X 線検査線量の範囲

GONADAL DOSE 生殖腺線量		
Dose Range (mR) 線量	Male 男	Female 女
< 0.001	14	3
0.001-0.0099	18	6
0.01 -0.099	12	23
0.1 -0.99	5	18
1.0 -9.9	-	4
Total 計	49	54

The mean gonadal and bone marrow doses received by subjects are shown in Table 3 by sex and by type of institution. Gonadal dose is shown according to whether the gonads were located within or outside the direct beam of X-ray. When in the direct beam, female gonadal dose was higher than male gonadal dose, for both large and small institutions. This is consistent with shielding

定した.¹² 男女生殖腺もこの人体模型の中の定位置におかれた。

骨髄線量は骨髄腔内に置かれた電離槽によって、女子生殖腺線量は同じく卵巣の位置で、男子生殖腺線量は睪丸の位置でそれぞれ測定した。赤色髄線量はあらかじめ調べておいた骨髄分布に基づいて gram-rad 単位で算出した。¹² 生殖腺線量は milliroentgen (mR) 単位で表わした。

成績

調査対象者が受けた各種検査の中で最も検査回数の多かったのは胸部背腹方向 X 線検査であった。この胸部背腹方向 X 線検査における各人の生殖腺線量および骨髄線量算定値を表 9 に掲げた。

生殖腺線量の値は表 1 に示すとおりである。男子はその大部分が 0.001 - 0.099 mR の範囲、女子は大部分が 0.01 - 0.99 mR の範囲で照射を受けている。

背腹方向胸部 X 線検査における骨髄線量の値は表 2 に示すとおりである。調査対象者の大部分に 1 回の照射当たり 1.00 から 3.99 gram-rad の範囲の線量が認められる。

TABLE 2 PA CHEST EXAMINATION DOSE RANGE
表2 胸部背腹方向 X 線検査線量の範囲
BONE MARROW DOSE
骨髄線量

Dose Range (g-rad) 線量	Subjects 被検者数
- 0.99	14
1.00- 1.99	21
2.00- 2.99	22
3.00- 3.99	20
4.00- 4.99	8
5.00- 5.99	11
6.00- 6.99	1
7.00- 7.99	-
8.00- 8.99	-
9.00- 9.99	2
10.00-19.99	3
20.00-29.99	1
Total 計	103

照射によって受けた調査対象者の平均生殖腺線量および骨髄線量を、性別および医療機関の種類別に表 3 に示す。生殖腺線量は生殖腺が線錐の内であったか外にあったかによって示した。線錐内であった場合は大病院においても小医院においても女子生殖腺線量が男子のそれよりも大であった。これは背腹方向の照射では男子においては

TABLE 3 PA-CHEST EXAMINATIONS, MEAN GONADAL AND BONE MARROW DOSE PER EXPOSURE

表3 胸部背腹方向X線検査, 曝射1回当たりの平均生殖腺線量および骨髄線量

Dose 線量		Hospitals 病院		Clinics 医院		
		Male 男	Female 女	Male 男	Female 女	
Gonadal (mR) 生殖腺線量	Inside beam 線錐内	Mean dose 平均線量	0.023	0.27	0.33	0.66
	Exposures 曝射回数		3	9	4	16
	Outside beam 線錐外	Mean dose 平均線量	0.0029	0.053	0.034	0.0046
	Exposures 曝射回数		20	18	22	11
Bone marrow (g-rad) 骨髄線量	Mean dose 平均線量	3.70	3.22	4.09	2.86	
	Exposures 曝射回数	23	27	26	27	

by a greater thickness of tissue in male subjects in the PA projection. In cases where gonads were located outside the useful beam, it was the larger institutions which incurred the greater gonadal doses. This is attributed to the 'harder' quality X-ray of the larger institutions. However, smaller installations incurred a larger bone marrow dose, and this is probably due to a better collimation generally used in the larger institutions.

Table 4 shows gonadal and bone marrow doses for other than PA chest examinations. No reliable dose ranges were compiled, because of the small number of exposures for each type of examination.

Sufficient numbers of PA chest exposures allowed compilation of curves for gonadal dose and integral absorbed bone marrow dose by the method of Epp et al.² These doses were a function of filtration, peak kilovoltage, cone and field size. Technical factors are shown in Table 5.

The curves are shown in Figure 2, plotted on log paper for integral absorbed bone marrow dose, in gram-rad per milliamper-second (mas). Gonadal dose in mR per mas is shown in Figure 3.

These data are intended for application to practice in the Hiroshima and Nagasaki community hospitals and clinics.

DISCUSSION

Gonadal and bone marrow dose values for all examinations in this study are generally lower than those reported elsewhere. For comparison, gonadal dose in milliroentgens in the Second Report of the Committee, Ministry of Health, Scotland,¹³ are shown in Table 6 and gonadal doses submitted to the UN Scientific Committee on the

厚い組織によって遮蔽されているという事実と一致する。生殖腺が線錐外にあった場合は、男女ともに大病院の方が生殖腺線量が高い。これは大病院では「硬い」X線を用いているためと思われる。ただし、骨髄線量は大病院よりも小医院の方が高かった。これはおそらく大医療機関で一般に用いられている絞りがすぐれていることに基づくものであろう。

表4は背腹方向の胸部X線検査以外について求めた生殖腺線量および骨髄線量を示す。いずれの検査方式も検査の回数が少ないため信頼に値する線量範囲を求めることができなかった。

胸部背腹方向X線検査例は十分な数が入りてきて、生殖腺線量曲線および骨髄の積算吸収線量曲線とともにEppらの方式²によって求めることができた。これらの線量は濾過板、管電圧、照射筒または照射野の関数である。これらの技術的条件は表5に示した。

骨髄の積算吸収線量をmas(ミリアンペア秒)当たりのgram-rad単位で対数紙に描いて図2に示し、生殖腺線量をmas当たりのmR単位で図3に示す。

上記の資料は広島および長崎の病医院で行なわれている放射線検査に適用することを目的とする。

考 察

この調査で対象とした検査では、すべて生殖腺線量および骨髄線量が、他所で報告されたものに比べて一般に低い。スコットランド保健省の調査委員会による第2報¹³に示されたmR単位生殖腺線量を、比較のため表6に示す。また原子放射線の影響に関する国連科学委員会に提出された生殖腺線量に関する資料¹⁰を表7に示す。診断

TABLE 4 GONADAL AND BONE MARROW DOSE

表4 生殖腺線量および骨髄線量

MF Number 基本名簿番号	Examination 検査	Projection 撮影方向	Gonadal Dose 生殖腺線量		Bone Marrow Dose 骨髄線量 (g-rad)
			Male 男 (mR)	Female 女	
	Chest 胸部	Lateral 側方向	0.015	-	1.50
		Lateral 側方向	0.08	-	9.27
		Lateral 側方向	0.225	-	10.0
		Lateral 側方向	-	1.81	1.19
Rib 肋骨	AP 腹背方向	AP 腹背方向	0.09	-	50.2
		AP 腹背方向	-	0.11	17.3
		AP 腹背方向	-	0.11	17.3
IVP 靜脈性腎盂	AP 腹背方向	AP 腹背方向	2.55	-	20.3
		AP 腹背方向	2.55	-	20.3
		AP 腹背方向	-	29.1	20.8
		AP 腹背方向	-	29.1	20.8
Pelvis 骨盤	AP 腹背方向	AP 腹背方向	314	-	32.3
		AP 腹背方向	314	-	32.3
Scapula 肩甲骨	AP 腹背方向	AP 腹背方向	0.108	-	31.8
		AP 腹背方向	0.108	-	31.8
		PA 背腹方向	-	0.00162	0.355
T-Spine 胸椎	AP 腹背方向	AP 腹背方向	0.4	-	26.1
		AP 腹背方向	-	0.35	28.3
		Lateral 側方向	0.3	-	52.8
		Lateral 側方向	-	0.015	37.1
Gallbladder 胆嚢	PA 背腹方向	PA 背腹方向	-	1.25	3.57
		PA 背腹方向	-	1.25	3.57
		PA oblique 背腹斜方向	-	3.20	7.99
		PA oblique 背腹斜方向	-	3.20	7.99
		PA oblique 背腹斜方向	-	8.25	21.5
		PA oblique 背腹斜方向	-	8.25	21.5
		PA oblique 背腹斜方向	-	8.25	21.5
		PA oblique 背腹斜方向	-	9.60	14.5
		PA oblique 背腹斜方向	-	9.60	14.5
		PA oblique 背腹斜方向	-	10.90	14.5
Knee 膝關節	AP 腹背方向	AP 腹背方向	-	0.011	0.000146
		AP 腹背方向	-	0.035	0.000146
		AP 腹背方向	-	0.085	0.0327
		AP 腹背方向	-	0.138	0.0489
		AP 腹背方向	-	0.384	0.122
		Lateral 側方向	-	0.003	0.00000418
		Lateral 側方向	-	0.011	0.00000418
		Lateral 側方向	-	0.138	0.0498
		Lateral 側方向	-	0.384	0.0498
Skull 頭蓋	PA 背腹方向	PA 背腹方向	-	-	5.52
		PA 背腹方向	-	-	8.50
		PA 背腹方向	-	-	16.8
		PA 背腹方向	0.06	-	15.8
		PA 背腹方向	-	-	24.5
		PA 背腹方向	-	0.41	4.74
		AP 腹背方向	-	-	4.19
		AP 腹背方向	-	-	7.70
		AP 腹背方向	-	-	16.5
		AP 腹背方向	-	-	19.0
		AP 腹背方向	-	-	1.31
		AP 腹背方向	-	-	8.60

MF Number 基本名簿番号	Examination 検査	Projection 撮影方向	Gonadal Dose 生殖腺線量		Bone Marrow Dose 骨髄線量 (g-rad)	
			Male 男 (mR)	Female 女		
[REDACTED]	Skull 頭蓋	Lateral 側方向	-	-	5.18	
		Lateral 側方向	-	-	6.53	
		Lateral 側方向	-	-	7.26	
		Lateral 側方向	-	-	16.5	
		Lateral 側方向	-	-	1.90	
		Lateral 側方向	-	-	4.69	
		Lateral 側方向	-	-	4.69	
		Lateral 側方向	-	-	8.47	
	L-Spine 腰椎	Lateral 側方向	-	0.156	-	21.1
		AP 腹背方向	2.2	-	-	20.2
		AP 腹背方向	4.5	-	-	25.0
		AP 腹背方向	-	30	-	19.5
		AP 腹背方向	-	69.6	-	2.16
		AP 腹背方向	-	103	-	36.8
		AP 腹背方向	-	120	-	23.9
		AP 腹背方向	-	170	-	65.7
		AP 腹背方向	-	180	-	34.7
		AP oblique 腹背斜方向	-	145	-	27.1
		AP oblique 腹背斜方向	-	145	-	27.1
		AP oblique 腹背斜方向	-	147	-	57.1
		AP oblique 腹背斜方向	-	147	-	57.1
		Lateral 側方向	0.5	-	-	10.4
		Lateral 側方向	14.9	-	-	46.9
		Lateral 側方向	-	17.3	-	53.8
		Lateral 側方向	-	22.7	-	37.8
		Lateral 側方向	-	28.2	-	32.0
		Lateral 側方向	-	39.0	-	32.6
		Lateral 側方向	-	66.8	-	35.1
Lateral 側方向	-	67.2	-	38.1		

TABLE 5 CONDITIONS FOR PA CHEST EXPOSURES

表5 胸部背腹方向 X線照射の諸条件

Arrangement 配列	Filtration 濾過 (mm Al)	Cone Size 照射筒の大きさ (cm φ)	Field Size 照射野の大きさ (cm φ)	Remarks 注
A ₁	0.5	No cone 照射筒なし	110.0	Testis and ovary inside beam 睾丸および卵巣ともに線錐内
A ₂	1.0	No cone 照射筒なし	110.0	Testis and ovary inside beam 睾丸および卵巣ともに線錐内
A ₃	2.0	No cone 照射筒なし	110.0	Testis and ovary inside beam 睾丸および卵巣ともに線錐内
B ₁	0.5	18.5	79.3	Testis outside but ovary inside 睾丸は線錐外, 卵巣は線錐内
B ₂	1.0	18.5	79.3	Testis outside but ovary inside 睾丸は線錐外, 卵巣は線錐内
B ₃	2.0	18.5	79.3	Testis outside but ovary inside 睾丸は線錐外, 卵巣は線錐内
C ₁	0.5	13.5	58.0	Testis and ovary outside beam 睾丸および卵巣ともに線錐外
C ₂	1.0	13.5	58.0	Testis and ovary outside beam 睾丸および卵巣ともに線錐外
C ₃	2.0	13.5	58.0	Testis and ovary outside beam 睾丸および卵巣ともに線錐外

Focus-Film-Distance 焦点・フィルム間距離: 183 cm

Conversion factor 換算係数: 0.93 rad/R

TABLE 6 GENERAL DIAGNOSTIC RADIOLOGY: NATIONAL SURVEY, 1957-58
MEAN GONAD DOSE PER EXAMINATION (mR)

表6 一般診断用放射線照射：全国的調査，1957-58年検査1回当たりの平均生殖腺線量 (mR)

Type of Examination 検査の種類	Male 男	Female 女	Foetus 胎児
1. Chest, heart, lung (excluding mass miniature radiography) 胸部，心臓，肺臓(集団間接撮影を除く)	2.75	5.4	5.5
2. Barium meal バリウム嚥下法.....	44	333	448
3. Abdomen 腹部.....	105	183	281
4. Obstetrical abdomen 腹部産科.....	-	367	723
5. Intravenous pyelography 静脈性腎盂造影.....	765	585	843
6. Pelvimetry 骨盤計測.....	-	745	885
7. Pelvis, lumbar spine, lumbosacral joint 骨盤，腰椎，腰仙関節.....	370	392	536
8. Hip, upper femur 寛骨，大腿骨上部.....	740	102	154

Radiological hazards to patients¹³
患者における放射線危害

Effects of Atomic Radiation¹⁰ are shown in Table 7. Some reported marrow doses by diagnostic examinations are shown in Table 8 for comparison.¹⁰

The equipment, materials and methods used in this study were reevaluated because of the relatively low bone marrow and gonadal doses, but no source of error was detected. Phantom thickness or density could conceivably decrease dose, but the phantom material closely approximates the density of a patient on radiography. Position of the anode of the X-ray tube was also considered as a possible source of error, but this could not be substantiated. In addition, the bone marrow dose, and not only the gonadal dose, was relatively low. Wide variations in dose have been found by various investigators¹⁴ elsewhere; in many cases dose in such studies is not sufficient to be detectable, for examinations, such as those of the chest.

Plans for a more extensive study have been made, so that a wider range of dose values may be obtained. Data for a greater number of diagnostic exposures are especially desirable for Nagasaki subjects, particularly for other than PA chest examinations. A longer survey of subjects than the one which was used as a basis for the present dosimetry study will provide this. In future studies, dose estimations for photofluorographic examinations are planned. Frequency of radiation therapy and characteristics of radiological practice will be determined.

用X線検査に基づく骨髄線量の若干例を比較のため表8に示す。¹⁰

骨髄線量および生殖腺線量が相対的に低かったため、この調査で用いた装置、材料および方法に再検討を加えたが、過誤の原因とみるべきものは認められなかった。人体模型の厚みまたは密度が線量を減ずることも考えられるが、X線写真によって調べたところでは人体模型の材質は、人体の密度にきわめて近似したものであった。X線管球の陽極の位置も過誤の原因と成りうると考えられるが、これも実証されるに至らなかった。生殖腺線量はもとより骨髄線量も相対的に低かった。他所においても研究者が異なれば線量値に広範囲にわたる相違が認められる。¹⁴ 胸部X線検査などの例にみられるように、この種の調査では線量が低くて検索の不可能な場合が多い。

線量値資料がもっと広い範囲にわたって入手できるようにさらに広範な調査計画がたてられている。ことに長崎の調査対象者については診断用X線照射資料がもっと多くほしい。特に胸部背腹方向X線検査以外の検査例についてそうである。今回の線量調査の基盤とした場合よりも長期にわたって被検者を調べることによって、これができるであろう。今後の調査ではX線間接撮影による照射線量の推定も実施する計画である。放射線療法が行なわれた頻度および放射線診療手技の違いも明らかにされるであろう。

TABLE 7 GONAD DOSES AS SUBMITTED BY COUNTRIES AND EXAMINATIONS

表7 報告に基づく国別および検査の種類別生殖腺線量

MALE 男		(mrem)												
	Mass survey, Chest 胸部 集団検査	Chest, Heart, Lung 胸部, 心臓, 肺臓	Cholecystography 胆嚢造影	Stomach, Barium meal 胃, バリウム嚥下法	Urography descending 尿路造影 下行式	Retrograde Pyelography ^e 腎盂造影 逆行性	Abdomen 腹部	Colon, Barium enema 大腸, バリウム注腸法	Pelvis 骨盤	Lumbar spine 腰椎	Lumbosacral 腰仙骨	Hip, Upper femur 寛骨, 大腿骨上部	Femur 大腿骨	
Argentina (Buenos Aires) ^a アルゼンチン (Buenos Aires).....	10	5	60	60	700	600	150	300	600	200	230	600		
Denmark デンマーク.....	0.3	0.4	2	20	1019	2580	610	40	567	104		980		
Federal Republic of Germany (Hamburg) ドイツ連邦共和国 (Hamburg).....	0.2	0.5	4	65	241	311	88	890	275	63	555	1520		
France フランス.....		30 ^d	45	90	390	1900	250	134	1500	250		1200		
Italy イタリア.....	6	0.5	12	123	940		141	239	1130	234		—586—		
Japan 日本.....	0.1	1	2	13	631		220	1310	1490	767	1700	691		
Netherlands (Leiden) オランダ (Leiden).....	0.4	2	3	4	512	423	92	25	157	16	60	3233		
Norway ノルウェイ.....	0.1	1	3	3	15	217	65	185	376	—130 ^b —		384	407	
Sweden ^c スウェーデン.....	0.8	2	6	14	1240	3700	1360	310	870	—940 ^b —		1090	830	
Switzerland スイス.....	0.4	10		20	1000	1000		150	1200	150		100		
United Arab Republic アラブ連合.....	5	5		70	500			100			255			
United Kingdom 英国.....	0.1	3	8	44	—765—		105	146		—370—		740		

FEMALE 女		(mrem)													
	Mass Survey, Chest 胸部 集団検査	Chest, Heart, Lung 胸部, 心臓, 肺臓	Cholecystography 胆嚢造影	Stomach, Barium meal 胃, バリウム嚥下法	Urography descending 尿路造影 下行式	Retrograde Pyelography ^e 腎盂造影 逆行性	Abdomen 腹部	Obstetrical abdomen 腹部産科	Pelvimetry 骨盤計測	Colon, Barium enema 大腸, バリウム注腸法	Pelvis 骨盤	Lumbar spine 腰椎	Lumbosacral 腰仙骨	Hip, Upper femur 寛骨, 大腿骨上部	Femur 大腿骨
Argentina (Buenos Aires) ^a アルゼンチン (Buenos Aires).....	15	10	90	90	900	800	200	800	900	450	700	400	600	600	
Denmark デンマーク.....	0.2	0.1	16	9	565	1136	85	190	822	20	210	222		58	
Federal Republic of Germany (Hamburg) ドイツ連邦共和国 (Hamburg).....	0.3	0.7	35	67	439	657	128	680	600	2530	94	183	402	214	
France フランス.....		30 ^d	105	300	4500	1800	375	1600	1200	264	1300	700		180	
Italy イタリア.....	11	1.0	156	411	1060		210	399	1250	1050	330	570		—223—	
Japan 日本.....	0.4	13	80	1108	92		49	162	322	2200	80	121	116	31	
Netherlands (Leiden) オランダ (Leiden).....	0.4	2	4	6	604	1608	132	100		613	142	47	790	140	
Norway ノルウェイ.....	1	2	8	18	125	403	178	400	800	2050	135	—592 ^b —		159	10
Sweden ^c スウェーデン.....	1.6	4	17	29	925	1940	1150	265	1080	1520	200	—490 ^b —		260	35
Switzerland スイス.....	1.0	5		50	1000	1000		1500	1500	200	300	500		300	
United Arab Republic アラブ連合.....	5	5		470	320					600			270		
United Kingdom 英国.....	0.1	5	299	333	—585—		183	367	745	464		—392—		102	

a Radiographs, not examinations 直接撮影。検査ではない

b In these countries the two types of examinations are combined これらの国では二つの様式の検査法を組み合わせで行っている

c Hip only; femur only 寛骨のみ; 大腿骨のみ

d Estimate from contribution due to fluoroscopic examinations in private practice 開業医の透視法検査に基づいて生じた線量の推定

e Including urethrocytography 尿道膀胱造影を含む

TABLE 8 MEAN MARROW DOSES FROM DIAGNOSTIC X-RAY EXPOSURE (excluding Mass Surveys of the Chest)

表 8 診断用 X 線照射による平均骨髓線量 (集団胸部 X 線検査の場合を除く)

Examination 検査の種類	Mean Marrow Dose (mrem) 平均骨髓線量		Epp et al. U.S.A.*** 米国. Epp らによる	
	1958 Report of the Committee* 1958年委員会報告	Buhl Denmark**	AP 腹背	Lat. 側方
	Head 頭部	50	-	-
Spine Cervical 頸椎	50	-	10	3
脊椎 Dorsal 胸椎	400	200	30	90
Lumbar 腰椎	400	100	50	180
Lumbosacral region 腰仙骨	300	-	-	-
Pelvis 骨盤	20	30	70	180
Hip, including upper femur 寛骨および大腿骨上部	30	20	35	-
Arm and hand 腕および手	2	0.2	-	-
Thorax (ribs and sternum) 胸廓(肋骨および胸骨)	200	150	-	-
Chest (regular) 胸部(普通撮影)	40	20	PA 1.3	4.5
Gallbladder 胆嚢	400	150	-	-
Stomach (barium meal), upper GI 胃(バリウム嚥下法), 上部胃腸管	500	200	-	-
Colon (barium enema), lower GI 大腸(バリウム注腸法), 下部胃腸管	700	200	-	-
Abdomen 腹部	50	30	-	-
Urography 尿路造影	200	80	-	-
Retrograde pyelography 逆行性腎盂造影	100	30	-	-
Urethrocytography 尿道膀胱造影	300	-	-	-
Pelvimetry 骨盤計測	800	-	-	-
Obstetrical abdomen 腹部産科	100	-	-	-
Hysterosalpingography 子宮卵管造影	100	25	-	-
Dental 歯科	20	-	-	-

* Radiography only. 直接撮影のみ。

** In Buhl's investigation the dose calculations are based upon the figures for the distribution of active marrow presented by the Committee. Buhl の調査では線量計算は委員会提出にかかる赤色髄の分布に関する数字に基づいて行なわれた。

*** The technical factors used are those of the Memorial Hospital, New York. The doses are those that arise from well collimated and aligned fields. The dose due to the scatter outside the direct beam has been included but not the effect due to the photo-electrons from the bone. ここで用いられた技術的条件は New York 記念病院で採用しているもの。線量は絞りならびに配置のすぐれた照射野によって生じたもので、線維以外の外部散乱線による線量も含まれるが、骨から来る光電子による影響は含まない。

United Nations¹⁰ 国連

SUMMARY

A dosimetry study involving the exposure of participants in the ABCC-JNIH Adult Health Study to medical X-ray in Hiroshima and Nagasaki community hospitals is described. Bone marrow and gonadal doses for a variety of diagnostic examinations are given, as well as ranges of dose for PA chest examinations. Also included are graphs from which bone marrow and gonadal doses can be computed according to certain exposure factors used in community hospitals and clinics. Individual doses by PA chest examinations are appended (Table 9).

総括

ABCC - 予研の成人健康調査計画の対象者が、広島および長崎の地元病医院で照射を受けた放射線量の調査について報告した。各種の診断用 X 線検査における骨髓線量および生殖腺線量を、胸部背腹方向 X 線検査における被曝線量の範囲とあわせ報告した。地元病医院で採用する一定の照射条件に基づく骨髓線量および生殖腺線量の算出用グラフも掲げた。胸部背腹方向 X 線検査における各人の被曝線量も付表に示した(表 9)。

TABLE 9 PA-CHEST EXAMINATION
表9 胸部背腹方向X線検査

Master File Number 基本名簿番号	Dose 線量	
	Gonad (mR) 生殖腺	Bone Marrow (g-rad) 骨髓
	Male 男	
	< 0.001	0.230
	< 0.001	0.637
	< 0.001	0.867
	< 0.001	1.01
	< 0.001	1.11
	< 0.001	1.19
	< 0.001	0.564
	< 0.001	0.732
	< 0.001	0.732
	< 0.001	0.742
	< 0.001	1.99
	< 0.001	3.15
	< 0.001	3.02
	< 0.001	1.31
	0.00125	2.36
	0.0013	4.78
	0.0020	2.28
	0.0025	1.18
	0.0027	4.80
	0.0027	4.80
	0.0028	4.36
	0.0028	4.36
	0.0029	3.51
	0.0035	5.45
	0.0036	6.00
	0.0039	1.33
	0.0045	4.23
	0.0047	5.77
	0.0069	3.20
	0.0079	3.97
	0.0079	3.96
	0.0083	3.27
	0.015	2.20
	0.015	2.20
	0.015	2.20
	0.018	14.0
	0.020	2.00
	0.021	5.29
	0.022	10.3
	0.024	3.00
	0.025	3.00
	0.035	11.5
	0.035	1.53
	0.085	4.02
	0.10	22.5
	0.36	2.22
	0.37	2.75
	0.42	9.58
	0.58	6.37

Master File Number 基本名簿番号	Dose 線量	
	Gonad (mR) 生殖腺	Bone Marrow (g-rad) 骨髓
	Female 女	
	< 0.001	1.11
	< 0.001	0.878
	< 0.001	0.867
	< 0.001	1.01
	0.0015	1.23
	0.0015	1.23
	0.0015	1.23
	0.0021	1.19
	0.0038	2.55
	0.011	2.24
	0.012	1.81
	0.012	1.81
	0.015	0.888
	0.016	3.09
	0.017	3.43
	0.021	2.28
	0.021	2.28
	0.022	3.26
	0.028	1.14
	0.029	4.37
	0.032	3.99
	0.033	0.899
	0.046	5.77
	0.046	5.77
	0.046	5.77
	0.046	5.77
	0.046	5.77
	0.058	2.97
	0.089	0.961
	0.096	1.87
	0.096	1.87
	0.096	1.87
	0.11	2.84
	0.11	3.18
	0.14	1.87
	0.17	3.38
	0.22	3.38
	0.29	1.56
	0.34	2.70
	0.38	3.35
	0.39	3.00
	0.41	3.00
	0.46	5.77
	0.46	2.83
	0.56	4.37
	0.59	2.55
	0.76	3.51
	0.76	2.84
	0.78	3.15
	0.79	3.77
	1.00	3.26
	1.00	3.26
	1.50	5.80
	1.80	13.1

FIGURE 2 PA - CHEST EXAMINATION - BONE MARROW DOSE
 図2 胸部背腹方向X線検査 - 骨髓線量

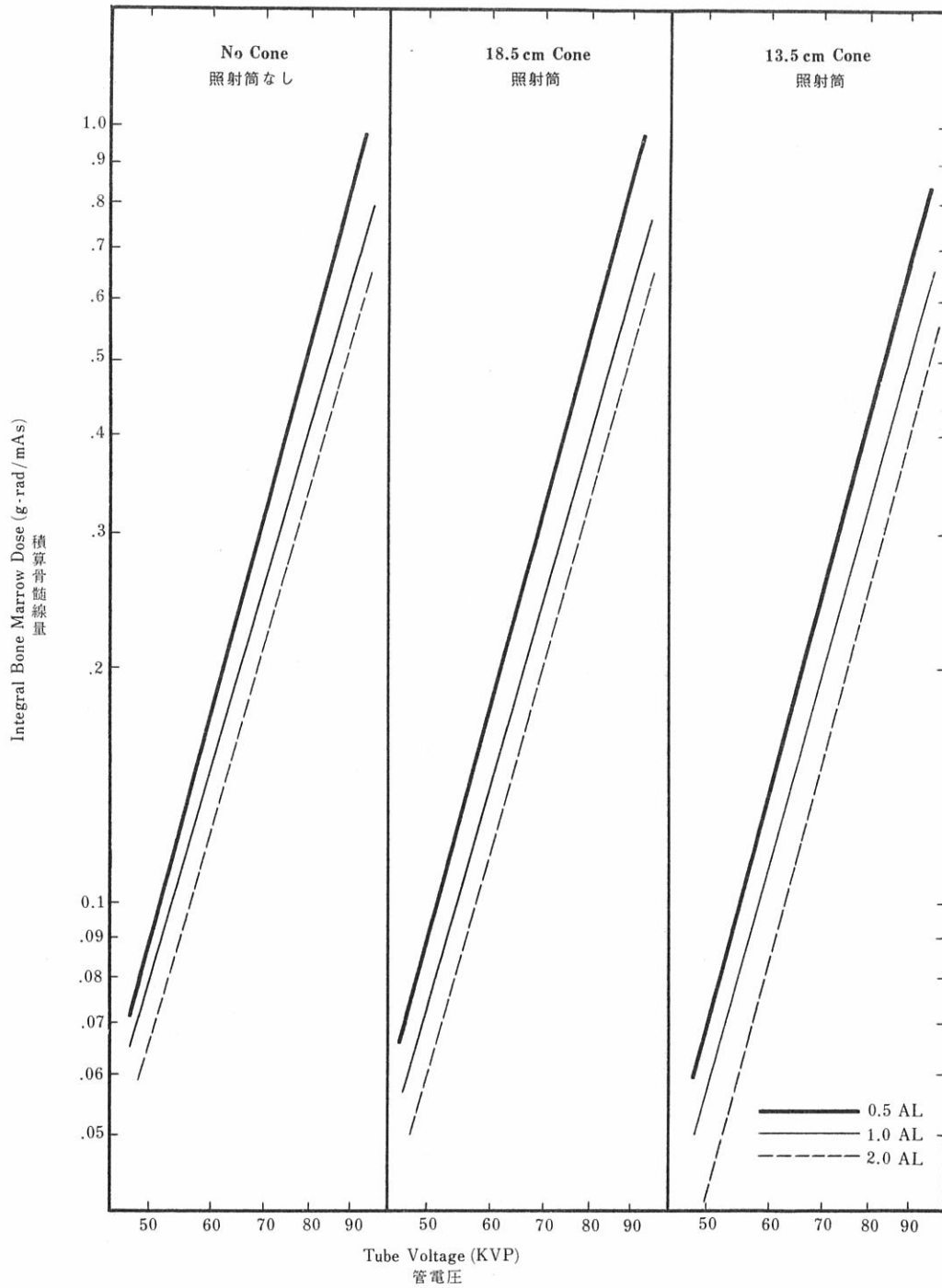
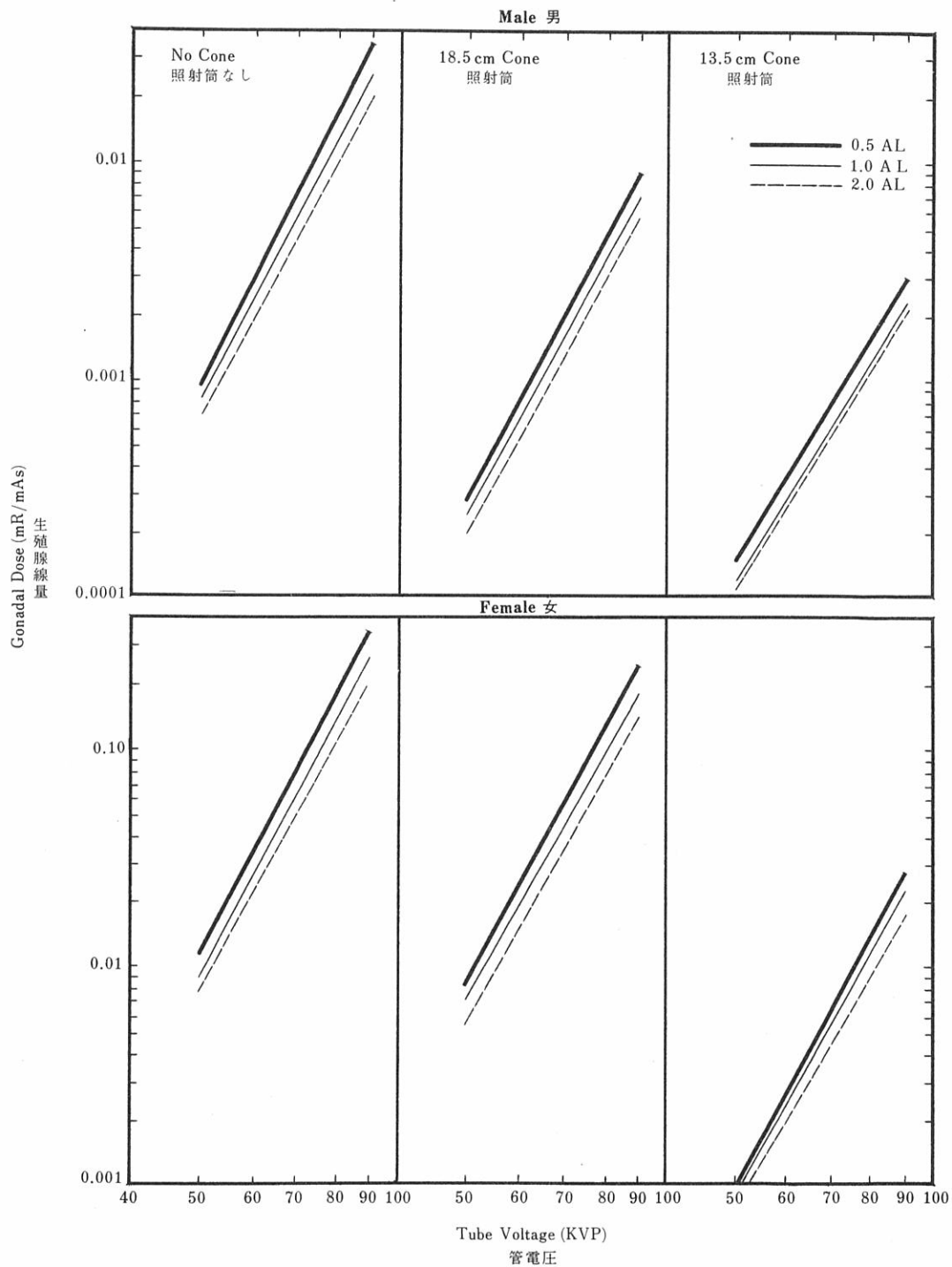


FIGURE 3 PA - CHEST EXAMINATION GONADAL DOSE
 図3 胸部背腹方向X線検査 - 生殖腺線量



REFERENCES

参考文献

1. 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))
2. EPP ER, WEISS H, LAUGHLIN JS: Measurement of bone marrow and gonadal dose from the chest X-ray examinations as a function of field size, field alignment, tube kilovoltage and added filtration. *Brit J Radiol* 34:85-100, 1961
(照射野の大きさ, その配列, 管電圧, および付加濾過板の関数として見た胸部X線検査における骨髄線量および生殖腺線量の測定)
3. EPP ER, HESLIN JM et al: Measurement of bone marrow and gonadal dose from X-ray examinations of the pelvis, hip and spine as a function of field size, tube kilovoltage and added filtration. *Brit J Radiol* 36:247-64, 1963
(照射野の大きさ, その配列, 管電圧, および付加濾過板の関数として見た骨盤, 寛骨と脊椎X線検査における骨髄線量および生殖腺線量の測定)
4. 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)
5. IHNO Y, RUSSELL WJ: Dose to the gonads and bone marrow in radiographic examinations at ABCC. ABCC TR 24-63
(ABCC X線検査における生殖腺線量および骨髄線量)
6. ISHIMARU T, RUSSELL WJ: ABCC-JNIH Adult Health Study Hiroshima and Nagasaki 1961. Exposure to medical X-ray, preliminary survey. ABCC TR 7-62
(ABCC - 予研 成人健康調査, 広島・長崎, 1961年. 医療用X線照射に関する予備調査)
7. U.S. National Health Survey: Health Statistics from the U.S. National Health Survey; volume of X-ray visits U.S. July 1960-61. Washington, U.S. Dept. of Health, Education and Welfare; Public Health Service Publication No. 584-B 38, October 1962
(米国の全国健康調査による衛生統計: X線検査の部)
8. RUSSELL WJ, ISHIMARU T, IHNO Y: ABCC-JNIH Adult Health Study Hiroshima and Nagasaki July-November 1962. Exposure to medical X-ray, survey of subjects. ABCC TR 9-63
(ABCC - 予研 成人健康調査, 広島・長崎, 1962年7月-11月. 診断用X線照射, 対象者の調査)
9. IHNO Y, RUSSELL WJ, ISHIMARU T: ABCC-JNIH Adult Health Study Hiroshima and Nagasaki November 1962-January 1963. Exposure to medical X-ray, community hospital and clinic survey. ABCC TR 11-63
(ABCC - 予研 成人健康調査, 広島・長崎, 1962年11月-63年1月. 診断用X線照射, 病院および医院についての調査)
10. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. General Assembly Official Records. Seventeenth Supplement No. 16 (A/5216). Ed by United Nations
(国連原子放射線の影響に関する委員会総会の公式記録. 第17回総会付属文書16号)
11. YOSHINAGA H, IHNO Y, RUSSELL WJ: Equipment and techniques in dosimetry studies, ABCC. ABCC TR 29-66
(ABCC線量調査における装置と技法)
12. RUSSELL WJ, YOSHINAGA H, et al: A method for determining active bone marrow distribution. *Brit J Radiol* 39:735-9, 1966
(赤色髄分布の測定法)
13. Ministry of Health Department of Health for Scotland. Radiological Hazards to Patients. Second Report of the Committee. Ed by Her Majesty's Stationery Office, London, 1960
(患者における放射線危害)
14. LAUGHLIN JS, MEURK MI, et al: Bone, skin, and gonadal doses in routine diagnostic procedures. *Amer J Roentgen* 78:961-82, 1957
(通常X線診断における骨髄, 皮膚, 生殖腺線量)