

DOSE TO THE ACTIVE BONE MARROW, GONADS, AND SKIN FROM
ROENTGENOGRAPHY AND FLUOROSCOPY

X線撮影および透視検査による活性骨髄線量，
生殖腺線量および皮膚線量

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. 安徳重敏

WALTER J. RUSSELL, M.D.



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION

国立予防衛生研究所—原爆傷害調査委員会

JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH OF THE MINISTRY OF HEALTH AND WELFARE

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 THE ACTIVE BONE MARROW, GONADS, AND SKIN FROM
ROENTGENOGRAPHY AND FLUOROSCOPY

X線撮影および透視検査による活性骨髄線量，
生殖腺線量および皮膚線量

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. 安徳重敏

WALTER J. RUSSELL, M.D.



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

DOSE TO THE ACTIVE BONE MARROW, GONADS, AND SKIN FROM
ROENTGENOGRAPHY AND FLUOROSCOPY
X線撮影および透視検査による活性骨髄線量
生殖腺線量および皮膚線量

ACKNOWLEDGMENT

謝 辞

We are indebted to Drs. John S. Laughlin, Chief of Biophysics, Sloan-Kettering Institute for Cancer Research; Haruma Yoshinaga, Professor of Experimental Radiology, Faculty of Medicine, Kyushu University; and Kenji Takeshita, Professor of Radiation Biology, Research Institute for Nuclear Medicine and Biology, Hiroshima University for their criticisms and suggestions; and to Messrs. Masayoshi Mizuno and Shoji Nishio for their technical assistance throughout this study. We are grateful to Mrs. Grace Masumoto for her help in preparing this report.

本報告作成にあたり、種々批判と提案をいただいた Sloan-Kettering Institute for Cancer Research の Dr. John S. Laughlin, 九州大学医学部放射線基礎医学教室吉永春馬教授、および広島大学原爆放射能医学研究所障害基礎研究部門竹下健児教授に感謝する。また、本調査期間中技術面で助力をいただいた水野正義氏および西尾正二氏に感謝する。さらに、原稿作成にあられた舛本幸江氏に感謝する。

A paper based on this report was published in the following journal.

本報告に基づく論文は下記の雑誌に発表した。

Radiology 101:669-78, 1971

Approved 承認 22 July 1979

CONTENTS

目次

Summary	要約	.....	1
Background	背景	.....	1
Equipment	装置	.....	2
Method	方法	.....	4
Results	結果	.....	5
Discussion	考察	.....	5
Appendix	付録	.....	12
References	参考文献	.....	13

Table 1. Dose from roentgenography & fluoroscopy

表	X線撮影および透視検査による線量	.....	6
2.	Comparison of mean bone marrow doses 平均骨髄線量の比較	.....	10
3.	Skin & gonadal doses 皮膚および生殖腺線量	.....	11

Figure 1. Technique card

図	検査法カード	.....	3
2.	Entire Mix-D phantom containing skeleton 骨格を含むMix-D全身ファントム	.....	4
3.	Skull, thorax, & abdomen of phantom with insert containing simulated stomach and duodenum 胃および十二指腸の模型をもつファントムの頭部、胸部ならびに腹部	.....	4

Approved 承認 23 July 1970

CONTENTS

DOSE TO THE ACTIVE BONE MARROW, GONADS, AND SKIN FROM ROENTGENOGRAPHY AND FLUOROSCOPY

X線撮影および透視検査による活性骨髄線量,
生殖腺線量および皮膚線量

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. (安徳重敏)*; WALTER J. RUSSELL, M.D.

Department of Radiology
放射線部

SUMMARY

Using phantom dosimetry, bone marrow integral, gonadal, and skin doses were calculated for nearly all radiographic and fluoroscopic examinations conducted in the ABCC Department of Radiology. The data are included in tabular form for reference purposes. They are also being used in a continuing investigation of the contribution of medical X-ray to the total exposure experience of A-bomb survivors. Results obtained in this study were compared with those published by other investigators.

BACKGROUND

In this study doses from roentgenologic procedures in the ABCC Department of Radiology were measured for entering into the records of each patient; for comparing the doses from these various procedures; and to compare these with doses reported by other investigators.

The present study was prompted for several reasons. In the long-term follow-up investigations of A-bomb survivors for possible late effects of ionizing radiation exposure, it was necessary to assess medical X-ray as a concomitantly-acting contaminant. Radiological examinations they receive as participants in the ABCC-JNIH Adult Health Study are one source of such exposure. A-bomb survivors might conceivably

要約

ファントムを用いた線量測定によって、ABCC放射線部における一般X線撮影および透視検査の骨髄積算、生殖腺ならびに皮膚線量が計算された。この報告の表に示された線量は、参考資料として利用されうる。これらの資料は、原爆被爆対象者の全被曝線量を評価するために続けられている医療用X線被曝調査に利用されている。他の研究者による研究結果と本研究の結果との比較も行った。

背景

ABCC放射線部で実施しているX線検査による被検者の線量を測定した。この研究は、個々の患者の記録への線量記入；いろいろなX線検査における線量の比較；ならびに他の研究者によって報告されている線量値との比較を行なうことを目的としている。

原爆被爆者に考えられる電離放射線による後障害の長期的追跡調査において、付随的に付加される照射源として医療用X線を評価することが必要であった。ABCC予研成人健康調査対象者が受けるX線検査は、かかる被曝源の一つである。原爆被爆者は病気または被爆者であるという不安のために、一般の人々に比べてより多くの医

* 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非常勤研究員

receive greater medical X-ray exposure than the general population, either because of disease or apprehension thereof. Dose data of one institution are not readily applicable to the examinations of others unless the factors of exposure are similar.¹ Epp et al^{2,3} compiled data specifically for application to examinations of any radiology department within given parameters, but examinations of all body sites were not included in their reports. Furthermore, genetically significant doses available for all Japan⁴ were not readily applicable to the populations of Hiroshima and Nagasaki, nor to Adult Health Study subjects⁵ examined in the Department of Radiology, and our interests center more around individual subjects than on populations in general. Little data are available concerning dose to the active bone marrow in diagnostic roentgenology. We are especially interested in bone marrow dose because of the increased incidence of myeloproliferative diseases among A-bomb survivors.⁶ In the literature available to us, we were able to find only a few reports which included dose to the active bone marrow from diagnostic roentgenography.

We measured doses for nearly all our adult roentgenographic and fluoroscopic examinations. Skin doses were included to facilitate comparison with previously published data and for a gross comparison with A-bomb doses. The data may also be used by other radiology departments whose roentgenologic examinations encompass technical factors within similar parameters.

EQUIPMENT

X-ray Apparatus. The roentgenographic and fluoroscopic units used in this study are shown in the Appendix. Each unit was assessed for radiation output and quality. Dosimetry was performed with the type of unit used for the particular roentgenologic examination.

Recorded Data. Figure 1 shows the technique card (RAD 5) used since this department began in 1948. The exposure factors are routinely entered by the radiologic technicians at each examination in the spaces provided. The average exposure factors used in examinations in this department were determined from these recorded data. Since kvp and ma were constant for earlier fluoroscopy, only fluoroscopy time was recorded. In our image amplifiers, kvp is automatically varied according to body density.

Phantom. Doses obtained in this study are based on

療用X線を受けることが考えられる。ある施設の線量に関する資料は、照射条件が似ていないと、他の施設の検査に使用できない。¹ Eppら^{2,3}は、ある特定の照射条件下においては、いずれの放射線部にも適用できる資料を作製しているが、この報告にはすべての部位の検査は含まれていない。また、日本全体としての国民遺伝有意線量⁴はそのままでは放射線部で検査した成人健康調査対象者⁵にはもちろん、広島、長崎の人口集団にも適用できない。さらに、われわれは一般人口集団よりもむしろ個々の対象者により興味をもっている。診断用X線検査の活性骨髄線量に関する報告はきわめて少ない。われわれは特に骨髄線量に興味を持っているが、これは原爆被爆者に白血病の発生率が高いためである。⁶ われわれの入手し得た文献では、診断用X線の活性骨髄線量について述べたものは、わずか数編をみただけである。

当放射線部において、成人に対して実施しているすべての撮影および透視検査の線量測定を行なった。皮膚線量は、これまで報告されている線量値との比較および原爆線量とのおおざっぱな比較のために含めた。また、この測定資料は、技術的にわれわれと同様の方法をとっている他の施設の放射線科にとっても有用なものであろう。

装 置

X線装置. 本実験に使用した撮影および透視用X線装置を付録に示す。それぞれの装置について放射線出力および線質を測定した。線量は、実際の検査に用いられた装置ごとに計算した。

記録資料. 当放射線部が開設された1948年以降使用されている照射条件カード(RAD 5)を図1に示す。照射条件は、各検査ごとにカードの余白に放射線技師によって毎回記入されている。当部における検査の平均照射条件は、この記録カードにより決定された。以前の透視検査では、kvpとmaは一定であったので、透視時間のみが記録された。イメージ・アンプリファイアでは、kvpは体の密度によって自動的に調節される。

ファントム. 本研究で得られた線量は、成人の人体フ

TECHNIQUE CARD											
Name _____								M. F. No. _____			
Address _____								X-ray No. _____			
Referred by Dr. _____											
Address _____						Age _____			Sex _____		
Examinations											
Date	No. Exp.	Examiner	M. A.	Sec.	Floor Min.	Views	K. V.	Thickness Part (cm)	FTD (in)	Dose	
										Skin	Gonad
RA95 1245											

FIGURE 1 TECHNIQUE CARD

図1 検査法カード

exposures of a phantom adult human. It contains a complete skeleton, beeswax-impregnated cellulose for lungs, and Mix-D to approximate soft tissue density. It also contains 16 drawer-like receptacles for ionization chambers to measure bone marrow and gonad dose, after the method of Laughlin et al.⁷ The chamber positions are as follows: Skull vertex, C4, T6, T12, L5 vertebrae, body of sternum, lateral portions of both 6th ribs, both iliac crests, trochanteric regions of both femurs, symphysis pubis, and the regions of the male and female gonads. The drawer arrangement facilitates easy removal and replacement of the ionization chambers before and after dose measurements. The phantom was sectioned for easier handling and portability, and is shown in Figure 2.

The lower portion of the thorax and upper portion of the abdomen have a removable Mix-D section containing a likeness of a barium-filled stomach and duodenum to assess dose during upper gastrointestinal series (Figure 3).

Ionization Chambers and Electrometers. Memorial ionization chambers were used in the drawer receptacles. Their relatively small size permits their insertion into marrow cavity and gonad regions. These chambers are highly sensitive, and relatively free of energy and directional dependence.⁸ They were used with a Baldwin-Farmer type RB electrometer. An Electronic Instruments Limited (EIL) dose meter, Model 37A,⁹ and EIL ionization chambers¹⁰ of 35 cc capacity were used to estimate radiation quality and measure skin dose.

ファントムの照射に基づいている。このファントムは完全な骨格、肺組織として蜜蝋浸透セルローズならびに軟組織と似た密度のMix-Dから成り立っている。また、骨髄、生殖腺線量測定用の電離槽を入れるために16個の引き出し状の容器を持っている。これは Laughlin らの方法⁷に従って作製された。電離槽の場所は、頭蓋骨、頸椎-4、胸椎-6、胸椎-12、腰椎-5、胸骨、左右両肋骨-6、左右両腸骨稜、上端部両大腿骨、恥骨結合および男女生殖腺部位である。引き出しを設けたのは、容易に取りはずせることおよび線量測定の前後における電離槽の入れ替えを便利にするためである。図2に示すごとく、ファントムは取り扱いや移動を容易にするため、いくつかの部分に分割された。

上部胃腸管検査における線量測定用として、胸腔の下部と腹部の上部にわたって、バリウムを詰めた胃および十二指腸に似せたMix-D部分がある。これは取りはずし可能である(図3)。

電離槽および電流計。Memorial 電離槽は引き出しの容器に入れて使用された。この電離槽は比較的小さく、骨髄腔や生殖腺部に入れることができる。また感度も高く、エネルギーおよび方向依存性も比較的小さい。⁸ この電離槽と組み合わせて使用する電流計には、Baldwin-Farmer 製RB型を用いた。放射線の線質および皮膚線量の測定には Electronic Instruments Limited (EIL) 線量計 37A 型⁹ と 35 cc EIL 電離槽¹⁰ とを組み合わせて使用した。

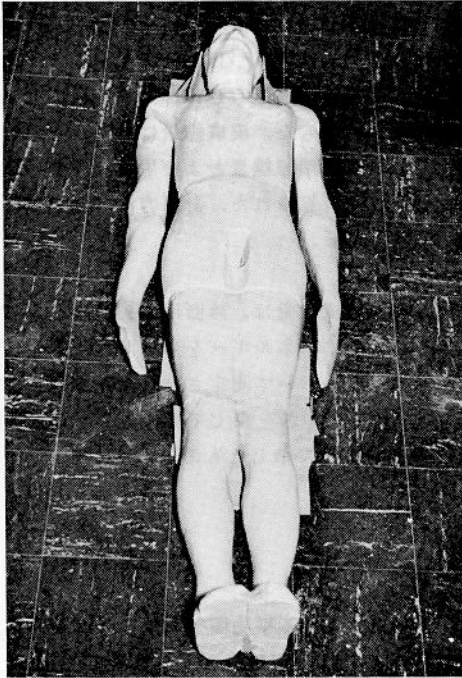


FIGURE 2 Entire Mix-D Phantom Containing Skeleton

図2 骨格を含むMix-D全身ファントム

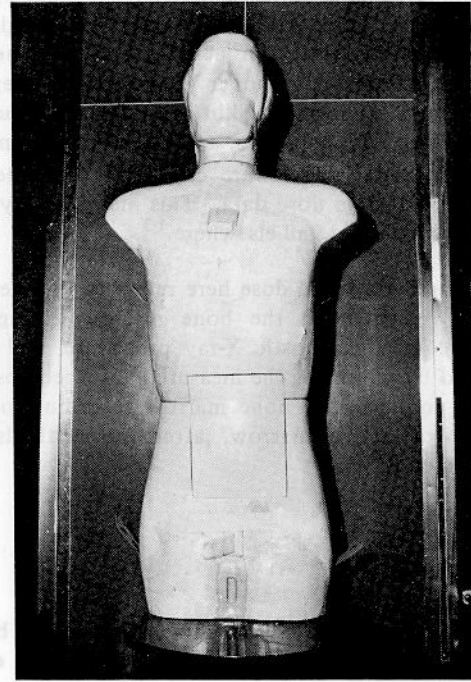


FIGURE 3 Skull, Thorax, and Abdomen of Phantom with Insert Containing Simulated Stomach and Duodenum

図3 胃および十二指腸の模型を持つファントムの頭部、胸部ならびに腹部

Active Bone Marrow. A lattice describing bone marrow location¹¹ facilitated calculation of dose to the active bone marrow according to field size, location, and depth. The calculation of bone marrow integral dose according to chamber readings has been described previously.¹²

METHOD

Skin, bone marrow integral, and gonadal doses were determined for nearly all our exposures and examinations. When low doses were encountered, as with ionization chambers located at some distance from the direct beam, multiple exposures were made. Regardless of tube voltage, the maximum exposure used was 2000 mas. If insufficient to register on the electrometer, dose was then calculated according to measurements of scattered radiation within a plain Mix-D block phantom.

All doses were calculated by phantom dosimetry except for a few examinations with similar but slightly different projections and technical factors, whose dose was interpolated from phantom dosimetry data; and fluoroscopic examinations for which film

活性骨髓. 骨髓の分布は格子区画で表わし,¹¹ 照射野、部位、深さによる骨髓線量の計算が容易になるようにした。電離槽の読みから骨髓積算線量を計算する方法はすでに報告してある。¹²

方法

当放射線部におけるすべてのX線検査について皮膚、骨髓積算ならびに生殖腺線量が決定された。線量が低い場合、たとえば電離槽が直接線維から遠く離れているような例では、照射を何回もくりかえした。最大の照射量は電圧に関係なく2000masとした。電流計の読みがじゅうぶんでない場合には、無骨Mix-Dブロックファントムで得られた散乱線の測定値を使用して線量計算がなされた。

線量は、次に述べる二つの場合を除き、すべてファントムによる線量測定に基づいて計算された。すなわち、照射条件が似ている若干の検査については、ファントムによる測定値から内挿によって線量が求められた；透

densitometry data were used to outline field exposure patterns. Three ABCC radiologists examined the phantom human with film jackets attached, simulating chest fluoroscopy, upper gastrointestinal series, and barium enemas. Skin dose was estimated according to film exposure, and bone marrow integral and gonadal doses were calculated from depth dose and scattered dose data. This methodology has been described in detail elsewhere.¹³

Bone marrow integral dose here refers to the average energy dissipated in the bone marrow during an exposure to a diagnostic X-ray procedure, and was obtained by weighting the measured absorbed dose at various points in the bone marrow according to the amount of active marrow, after the methods of Laughlin et al.⁷

RESULTS

Table 1 shows the average technical factors and bone marrow integral, gonadal and skin doses for each exposure.

The most important factor affecting gonadal dose is whether a structure is within the direct beam of X-rays. This is well illustrated by male and female gonadal doses in abdominal and lumbar spine examinations, and especially in barium enemas. Dose falls off rapidly outside the direct beam margin. Surface dose increases with field size, to a maximum at about 30 X 30 cm, then remains relatively constant. Relatively high kvp (120) and added filtration lowered skin dose, but use of grids required an increase in mas by a factor as high as 10, without sparing dose to the ovaries and active bone marrow.

DISCUSSION

Of all examinations, those employing fluoroscopy incurred the highest gonadal and bone marrow doses - barium enema examinations in particular. Dose from fluoroscopy using a conventional unit exceeded that of an image intensifier by a factor of 4-5.

There are relatively few published reports of bone marrow integral dose from these types of examinations. Results of some previous reports are compared with those of the present study in Table 2.

In general, doses obtained in the present study were lower. Tube voltages, milliampere-seconds, added filtration and field sizes vary, but no such factors

視検査では、フィルムの黒化度による資料が照射の分布を知るのに使用された。ABCCの3人の放射線科医が、フィルムジャケットをはりつけた人体ファントムを用いて、胸部、上部胃腸管ならびにバリウム注腸検査に似た方法で透視を行なった。皮膚線量はフィルムの黒化度から求められ、骨髄積算線量および生殖腺線量は深部線量、散乱線量から計算された。計算方法は他の報告に詳細に述べられている。¹³

ここにいう骨髄積算線量は、診断用X線検査によって骨髄に与えられる平均エネルギーを意味している。これは骨髄の種々の場所において測定された吸収線量に、その場所の活性骨髄の重さを乗じて得られた。この方法はLaughlinら⁷の方法に準じたものである。

結果

表1に、各検査における平均照射条件と骨髄積算、生殖腺ならびに皮膚線量を示す。

生殖腺線量は、生殖腺がX線錐内にあるか否かによって大きく左右される。このことは腹部、腰椎検査、特にバリウム注腸検査における男性および女性の生殖腺線量によく示されている。線量は直接線錐の辺縁外で急激に減少する。表面線量は照射野とともに増加するが、30X30cm程度で最大となり、それ以上の照射野では、ほぼ一定の値を示す。比較的高い(120)kvpと厚い付加濾過板の使用によって皮膚線量は減少したが、グリッドを用いるため約10倍のmasが必要となり、女性生殖腺および活性骨髄の線量の減少はもたらさなかった。

考察

全検査中、透視検査特にバリウム注腸検査において最も高い生殖腺および骨髄線量が得られた。通常の装置を用いた透視検査の線量はイメージ・インテンシファイアーに比べて4-5倍高かった。

診断用X線検査における骨髄積算線量についての報告は比較的少ない。表2においてこれまでに報告されている若干の例について、本研究における値と比較した。

本研究における線量は、一般的に低い値が得られた。電圧、ミリアンペア・秒、付加濾過板、照射野は当

TABLE 1 DOSE FROM ROENTGENOGRAPHY AND FLUOROSCOPY, ABCC DEPARTMENT OF RADIOLOGY

表1 X線撮影および透視検査による線量, ABCC放射線部

Site of Examination	Projection	Average Thickness (cm)	Film Size (inch)	kVp	mAS	Added Filtration (mmAl)	FFD (inch)	Bone Marrow Integral Dose (g-rad)	Gonadal Dose (mrad) Male	Gonadal Dose (mrad) Female	Surface Dose (mrad)
Skull x+	PA	19	10 × 12	84	20	3.0	36	8.56	0.93 ○	0.11 ○	111
	Lateral	16	10 × 12	74	20	3.0	36	10.2	0.04 ○	0.05 ○	96.6
	Occipital	23	10 × 12	90	20	3.0	36	12.6	0.38 ○	0.32 ○	171
	Submentovertex	23	10 × 12	90	20	3.0	36	12.5	0.04 ○	0.13 ○	147
	AP*	19	10 × 12	84	20	3.0	36	5.7	0.93 ○	0.11 ○	110
Paranasal sinuses x	Caldwell, Waters	19	8 × 10	78	20	3.0	36	3.07	<0.01 ○	<0.01 ○	117
	Lateral	16	8 × 10	66	20	3.0	36	3.25	<0.01 ○	<0.01 ○	90.2
	Submentovertex	25	8 × 10	86	20	3.0	36	2.19	<0.01 ○	<0.01 ○	120
Mastoids x	PA	22	8 × 10	74	20	3.0	36	0.86	<0.01 ○	<0.01 ○	60.8
	Stenvers, Law's	16	8 × 10	78	20	3.0	36	1.27	<0.01 ○	<0.01 ○	65.7
	Occipital +	25	10 × 12	90	20	3.0	36	1.26	0.38 ○	0.32 ○	171
Mandible	PA*x+	19	10 × 12	84	20	3.0	36	3.1	<0.01 ○	<0.01 ○	120
	Oblique*	16	8 × 10	68	20	2.5	40	3.1	<0.01 ○	<0.01 ○	120
	Lateral*x+	16	10 × 12	70	20	3.0	36	1.3	<0.01 ○	<0.01 ○	66
Neck (soft tissue)	AP	13	8 × 10	100	5	2.5	72	0.34	<0.01 ○	<0.01 ○	7.94
	Lateral	13	8 × 10	100	5	2.5	72	0.39	<0.01 ○	<0.01 ○	6.92
Cervical spine	AP	13	8 × 10	90	20	2.5	40	2.87	0.02 ○	0.02 ○	98.1
	Lateral	13	8 × 10	92	40	2.5	72	1.40	<0.01 ○	<0.01 ○	34.6
	Oblique*	16	8 × 10	80	40	2.5	72	2.1	0.01 ○	0.01 ○	66
Thoracic spine	AP	20	11 × 14	100	30	2.5	40	18.2	0.19 ○	0.26 ○	249
	Lateral	30	11 × 14	110	60	2.5	40	55.3	0.17 ○	0.54 ○	707
	Oblique*	25	11 × 14	100	40	2.5	40	31	0.18 ○	0.35 ○	400
(small cone)	AP*	20	8 × 10	100	30	2.5	40	13	0.14 ○	0.19 ○	250
(small cone)	Lateral*	30	8 × 10	110	60	2.5	40	40	0.12 ○	0.39 ○	710
Lumbar spine	AP	17	11 × 14	100	30	2.5	40	25.7	14.7 ○	70.4 ●	221
	Lateral	27	11 × 14	120	60	2.5	40	57.2	9.77 ○	61.5 ●	820
	(small cone)	Lateral*	27	8 × 10	120	70	2.5	40	39	5.7 ○	72 ●	820
Lumbosacral spine	Lateral*	24	11 × 14	120	40	2.5	40	34	20 ○	94 ●	290
	Oblique*	30	11 × 14	120	70	2.5	40	41	55 ○	82 ●	1100
	AP	17	11 × 14	100	30	2.5	40	28.9	83.0 ●	79.0 ●	219
Pelvis	Lateral*	30	11 × 14	120	70	2.5	40	64	55 ●	82 ●	1100
	Oblique*	22	11 × 14	100	40	2.5	40	47	110 ●	110 ●	660
	Oblique*	22	11 × 14	100	40	2.5	40	39	110 ●	110 ●	660
Sacroiliac joint	AP*	19	10 × 12	100	30	2.5	40	26	83 ●	79 ●	220
	Lateral*	27	10 × 12	120	60	2.5	40	41	55 ●	82 ●	1100
	AP	16	8 × 10	80	20	2.5	40	2.81	<0.01 ○	0.02 ○	68.9
Shoulder	AP	10	11 × 14/2	70	5	2.5	40	<1	<0.01 ○	<0.01 ○	—
Arm	AP, lateral	8	10 × 12/2	66	5	2.5	40	<1	<0.01 ○	<0.01 ○	—
Forearm	AP, lateral	8	10 × 12/2	66	5	2.5	40	<1	<0.01 ○	<0.01 ○	—
Hand, wrist	PA, oblique, lateral	4	10 × 12	54	5	2.5	40	<1	<0.01 ○	<0.01 ○	—

TABLE 1 Cont.

Site of Examination	Projection	Average Thickness (cm)	Film Size (inch)	kVp	mAS	Added Filtration (mmAl)	FFD (inch)	Bone Marrow Integral Dose (g-rad)	Gonadal Dose Male	Gonadal Dose Female (mrad)	Surface Dose (mrad)
Upper gastrointestinal series	Fluoroscopy (conv)**	17		90		2.5		34.0/min	12.4/min ○	81.1/min ○	1220/min
	Fluoroscopy (image)**	17		90†		3.0		7.21/min	0.348/min ○	12.8/min ○	328/min
	Spot**	17	8 × 10	90	PHT	3.0		1.35	0.07 ○	2.68 ○	101
	AP (survey film)	17	14 × 17	100	20	2.5	40	17.7	11.6 (6.59) ○	51.1 ●	159
	PA	17	14 × 17	120	20	2.5	40	39.0	7.54 ○	33.1 ●	265
	RAO 45° } Flx. RAO 60° }	22 26	11 × 14 11 × 14	120 120	30 40	2.5 2.5	40 40	46.5 34.7	3.20 ○ 3.65 ○	29.6 ● 24.7 ●	400 413
Small-bowel series	Fluoroscopy (conv)*	17		90		2.5		73/min	37/min ○	320/min ●	1800/min
	Fluoroscopy (image)*	17		90†		3.0		19/min	5.7/min ○	77/min ●	400/min
	Spot*	17	8 × 10	90	PHT	3.0		7.3	15 ○	52 ●	440
	AP*	17	14 × 17	120	20	2.5	40	22	30 ○	68 ●	260
Gallbladder series	PA prone	17	14 × 17	120	20	2.5	40	41.4	11.0 ○	38.9 ●	223
	Prone oblique	22	8 × 10	120	30	2.5	40	28.8	5.59 ○	38 ○	322
	Erect oblique x	22	8 × 10	90	20	3.0	36	11.1	0.80 ○	5.69 ○	139
	Fluoroscopy (conv)*	17		90		2.5		20/min	0.2/min ○	1.8/min ○	1200/min
	Fluoroscopy (image)*	17		90†		3.0		6.7/min	0.1/min ○	0.6/min ○	400/min
Barium enema	Spot*	17	8 × 10	90	PHT	3.0		11	1.0 ○	7.1 ○	173
	AP (Survey film)	17	14 × 17	120	20	2.5	40	75.5	60.2 ○	132 ●	675
	Fluoroscopy (conv)**	17		90		2.5		112/min	62.0/min ○	562/min ●	2410/min
	Fluoroscopy (image)**	17		90†		3.0		30/min	11/min ○	140/min ●	480/min
	Spot**	17	8 × 10	90	PHT	3.0		5.90	3.20 ○	28.0 ●	110
Intravenous urogram	AP abdomen (KUB)	17	14 × 17	120	30	2.5	40	75.5	60.2 (17.9) ○	132 ●	675
	AP bladder	20	14 × 17	120	30	2.5	40	102	181 ●	105 ●	659
Intravenous cholangiogram	PA*	17	14 × 17	120	20	2.5	40	31	8.3 ○	29 ●	170
	Oblique*	22	11 × 14	120	30	2.5	40	47	12 ○	44 ●	250
Myelogram	Fluoroscopy (conv)*	17		90		2.5		54/min	25/min ○	200/min ●	1500/min
	Fluoroscopy (image)*	17		90†		3.0		13/min	3.0/min ○	45/min ●	360/min
	Spot*	17	8 × 10	90	PHT	3.0		28	16 ○	94 ●	820

TABLE 1 Cond.

Site of Examination	Projection	Average Thickness (cm)	Film Size (inch)	kVp	mAS	Added Filtration (mmAl)	FFD (inch)	Bone Marrow Integral Dose (g-rad)	Gonadal Dose (mrad) Male	Gonadal Dose (mrad) Female	Surface Dose (mrad)	
Thigh	AP	17	14 × 17	100	20	2.5	40	20.4	108 (16.7) ●	60.0 ●	153	
	Lateral	17	14 × 17	100	20	2.5	40	8.2	16.7 ●	13.9 ●	175	
Leg (tibia, fibula)	AP, lateral	12	14 × 17	74	5	2.5	20	<1	<0.01 ○	<0.01 ○	—	
Chest	PA	21	14 × 17	100	5	2.5	72	1.73	0.02 ○	0.04 ○	9.21	
	Lateral	32	14 × 17	110	15	2.5	72	3.29	0.03 ○	0.08 ○	37	
	Lordotic*	23	11 × 14	100	10	2.5	72	1.6	0.02 ○	0.02 ○	18	
	Oblique*	27	14 × 17	100	10	2.5	72	2.3	0.02 ○	0.04 ○	17	
	Bucky PA	20	14 × 17	100	40	2.5	72	14	0.16 ○	0.32 ○	74	
	Bucky lateral	30	14 × 17	110	80	2.5	72	18	0.16 ○	0.43 ○	200	
	Bucky oblique*	25	14 × 17	100	60	2.5	72	17	0.18 ○	0.40 ○	130	
	AP	20	14 × 17	100	5	2.5	60	1.0	0.03 ○	0.05 ○	9.21	
	Barium lateral	30	14 × 17	110	15	2.5	72	3.3	0.03 ○	0.08 ○	37	
	Barium oblique*	25	14 × 17	100	10	2.5	72	2.3	0.02 ○	0.04 ○	17	
	Stereoscopic*	20	14 × 17	100	5	2.5	72	1.7	0.02 ○	0.04 ○	9.2	
	Decubitus*	20	14 × 17	100	5	2.5	72	1.7	0.02 ○	0.04 ○	9.2	
	Abdomen	AP	17	14 × 17	100	20	2.5	40	17.7	11.6 (6.59) ○	51.1 ●	159
		PA*	17	14 × 17	100	20	2.5	40	33	3.3 ○	16 ●	160
Lateral*		27	14 × 17	120	60	2.5	40	57.2	9.77 ○	61.5 ●	820	
Oblique*		22	14 × 17	100	30	2.5	40	27	17 ○	77 ●	240	
Rib	PA	20	14 × 17	100	5	2.5	72	1.73	0.02 ○	0.04 ○	9.21	
	PA oblique	25	10 × 12	90	10	2.5	36	14.9	0.13 ○	0.37 ○	151	
Chest	Fluoroscopy (conv)**			90		2.5		37.2/min	0.34/min ○	1.52/min ○	1270/min	
	Fluoroscopy (image)**			90†		3.0		4.80/min	0.03/min ○	0.38/min ○	150/min	
Bronchogram	Spot**	20	8 × 10	90	PHT	3.0		4.20	0.04 ○	0.06 ○	46	
	Fluoroscopy (conv)*			90		2.5		30/min	0.30/min ○	1.4/min ○	1000/min	
	Fluoroscopy (image)*			90†		3.0		3.9/min	0.03/min ○	0.35/min ○	120/min	
	PA*	20	14 × 17	100	7	2.5	72	2.42	0.03 ○	0.06 ○	12.9	
Pharynx	Lateral*	30	14 × 17	110	15	2.5	72	3.29	0.03 ○	0.08 ○	37	
	Oblique*	25	14 × 17	100	10	2.5	72	2.3	0.02 ○	0.04 ○	17	
	Fluoroscopy (conv)*			90		2.5		30/min	<0.01/min ○	<0.01/min ○	680/min	
Barium swallow	Fluoroscopy (image)*			90†		3.0		5.3/min	<0.01/min ○	<0.01/min ○	110/min	
	Spot*	20	8 × 10	90	PHT	3.0		<1	<0.01 ○	<0.01 ○	15	
	Fluoroscopy (conv)*			90		2.5		30/min	0.30/min ○	1.4/min ○	1000/min	
Esophagram (4-way heart series)	Fluoroscopy (image)*			90†		3.0		3.9/min	0.03/min ○	0.35/min ○	120/min	
	Spot*	20	8 × 10	90	PHT	3.0		4.2	0.04 ○	0.06 ○	46.0	
	PA*	20	14 × 17	100	5	2.5	72	1.7	0.02 ○	0.04 ○	9.2	
	Lateral*	30	14 × 17	110	15	2.5	72	3.3	0.03 ○	0.08 ○	37	
	Oblique*	25	14 × 17	100	8	2.5	72	1.84	0.02 ○	0.03 ○	13.6	

TABLE 1 Cont.

Site of Examination	Projection	Average Thickness (cm)	Film Size (inch)	kVp	mAs	Added Filtration (mmAl)	FFD (inch)	Bone Marrow Integral Dose (g-rad)	Gonadal Dose (mrad) Male	Gonadal Dose (mrad) Female	Surface Dose (mrad)
Hysterosalpingogram	<u>Stereoscopic*</u>	17	10 × 12	120	30	2.5	40	31		73 ●	210
	<u>Oblique*</u>	22	10 × 12	120	30	2.5	40	31		110 ●	680
	<u>Fluoroscopy (conv)*</u>	17		90		2.5		110/min		560/min ●	2400/ min
	<u>Fluoroscopy (image)*</u>	17		90†		3.0		30/min		140/min ●	480/ min
	<u>Spot*</u>	17	8 × 10	90	PHT	3.0		19		61 ●	200
Skull tomogram Pneumoencephalogram	<u>AP*</u>	19	8 × 10	120	20	2.5	40	16	<0.01 ○	<0.01 ○	210
	<u>PA*</u>	19	10 × 12	84	20	2.5	36	8.6	0.93 ○	0.11 ○	110
	<u>Lateral*</u>	16	10 × 12	70	26	2.5	36	10	0.04 ○	0.50 ○	97
Paranasal sinuses	<u>Tomo PA*</u>	19	8 × 10	120	20	2.5	40	16	<0.01 ○	<0.01 ○	210
	<u>Tomo submento-vertex*</u>	25	8 × 10	120	20	2.5	40	16	<0.01 ○	<0.01 ○	210
Thoracic spine	<u>Tomo AP*</u>	20	8 × 10	110	20	2.5	40	18	0.17 ○	0.21 ○	190
	<u>Tomo lateral*</u>	30	8 × 10	80	150	2.5	40	24	0.07 ○	0.24 ○	310
Chest tomogram	<u>AP</u>	20	8 × 10	90	20	2.5	40	8.47	0.08 ○	0.10 ○	91.6
	<u>Lateral*</u>	30	8 × 10	120	20	2.5	40	16	0.12 ○	0.20 ○	370
Lumbar spine	<u>Tomo AP*</u>	17	8 × 10	80	150	2.5	40	54	31 ○	148 ●	470
Pelvis	<u>Tomo*</u>	17	8 × 10	120	20	2.5	40	21	85 ●	81 ●	220
Gallbladder	<u>Tomo PA*</u>	17	8 × 10	120	20	2.5	40	51	5.6 ○	38 ○	470
Intravenous urogram	<u>Tomo*, kidneys</u>	17	11 × 14	120	20	2.5	40	33	12 ○	80 ●	450

Routine projections per examination are underlined. 検査における通常の撮影方向には下線を付した。

Collimators were used in all radiography, except with skull unit in which cones were used unless otherwise indicated.

すべての撮影に絞りを使用されている。ただし頭部撮影装置では、特に指示がない限り照射筒が使用されている。

Image Image-intensifier fluoroscopy. イメージ インテンシファイアー透視検査

PHT Phototimer. フォトタイマー

† kVp for fluoroscopy with image intensifier varied as automatic brightness control.

イメージ インテンシファイアー透視では自動輝度調節によってkvpが変わる

mA for fluoroscopy with image intensifier was 0.5 or 1.0. イメージ インテンシファイアー透視のmaは0.5または1.0

mA for fluoroscopy with conventional unit was 3.0. 通常の透視のmaは3.0

All doses were calculated by phantom dosimetry with ionization chambers in the phantom except:

*Dose from phantom dosimetry data of examinations with similar conditions and technical factors of exposure

**Dose calculated from surface dose obtained by film densitometry and ionization chambers.

Doses in parentheses indicate male gonads were shielded with lead apron.

次に示すものを除いてすべての線量はファントム中の電離槽によって得られた測定値から計算された。

* 照射条件その他が似ている検査のファントムの測定値から計算された線量

** フィルムの黒化度および電離槽から得られた表面線量から計算された線量

かつこの内の線量は男性生殖腺が鉛遮蔽されているときの値を示す

Gonad locations with respect to the direct x-ray beam: ○ outside; ● inside during some of the exposures; ● inside.

Radiography x-ray beams were collimated to a field slightly larger than the film size. The mean "overlap" of the x-ray beam beyond the film on a side was 1.5 and 1.3 cm for the long and short dimensions for all film sizes.

直線X線管に対する生殖腺の位置: ○ 線管外; ● 1部の照射で線管内; ● 線管内

直接撮影におけるX線管はフィルムサイズよりわずかに大きい程度に絞られた。フィルムを超えるX線の大きさはすべてのフィルムについて長軸および短軸の1側で、それぞれ1.5および1.3 cmであった。

TABLE 2 COMPARISON OF MEAN BONE MARROW DOSES (mrem)

表2 平均骨髓線量の比較 (mrem)

Examinations 検査	Number of Exposures* 照射数	Investigators 報告者					Hiroshima Nagasaki*** 広島・長崎	Present Study 本研究
		UN Report ¹⁴ 国連報告	Buhl ¹⁴	Epp et al ¹⁴	Adrian**18			
Skull 頭蓋	1PA + 1AP + 2Lat.	50	-	-	32	70	25	
Cervical spine 頸椎	1PA + 1AP + 2Lat.	50	-	-	54	48	7.8	
Chest 胸部	1PA + 1Lat.	40	20	5.8	12	22	50	
Thoracic spine 胸椎	1AP + 1Lat. + 1Obl.	400	200	170	200	76	110	
Abdomen 腹部	1AP	50	30	-	120	34	18	
Lumbar spine 腰椎	1AP + 2 Lat.	400	100	440	270	180	150	
Intravenous pyelogram 腎盂	5AP	200	-	-	580	230	400	
Pelvis 骨盤	1AP	20	30	38	130	47	30	

*For comparison, present study doses were calculated according to number of exposures given by the UN Report.¹⁴

比較のため、本研究の線量は国連報告¹⁴に示してある照射数に従って計算された。

**Number of exposures per examination is not given in this report.

1検査当たりの照射数はこの報告には記載してない。

***Average doses of hospitals and clinics surveyed in Hiroshima and Nagasaki.^{12,15}

広島、長崎の病・医院調査によって得られた平均線量^{12,15}

were given in the United Nations' report,¹⁴ or those of Buhl, published by the United Nations.¹⁴ Lower kvp may have been used in their examinations than ours. Values of Epp et al were designed for application to various radiology departments' procedures,^{2,3} but did not include all roentgenological examinations. In previous studies, Hiroshima and Nagasaki community hospital and clinic doses were calculated as averages from surveys conducted in 1965.^{12,15} Doses in those and the present study were compared according to the number of exposures indicated in the United Nations' report.¹⁶

Skin and gonadal doses from our examinations using relatively high kvp technique were compared with those of other investigators (Table 3).

In general, skin doses were lower with relatively high kvp techniques, such as Billings et al¹⁷ and ours. Lack of a trend makes comparison of gonadal doses difficult. Billings et al gave no gonadal doses for

然異なっていると思われるが、これらの因子は国連報告¹⁴または国連によって発表されている Buhl の報告¹⁴にも示されていない。おそらくわれわれよりも低い kvp が使用されていると考えられる。Epp ら^{2,3}の値は、いずれの放射線部における検査にも適用できるようになっているが、すべての検査を含んでいない。以前の調査においては、広島、長崎の病・医院の線量は1965年に実施した調査^{12,15}に基づく推定値の平均を計算した。国連報告¹⁶に示してある照射回数に従って、上記の研究者による線量および本研究におけるそれを比較した。

皮膚および生殖線線量については、比較的高い kvp 法を使用しているわれわれの検査の線量と他の研究者の値とが比較されている(表3)。

Billings ら¹⁷やわれわれの値にみられるように、一般に高い kvp 法において、皮膚線量は低かった。生殖腺線量については、一定の傾向がみられないので、その比較は困難である。Billings らは、若干の検査における男性生

TABLE 3 SKIN AND GONADAL DOSES

表3 皮膚および生殖腺線量

Examination & Projection 検査および方向	Medium and Low KV Technique 中間圧および低圧法 Ardran & Crooks ¹⁹ (mR)			Medium KV Technique 中間圧法 Webster & Merrill ¹ (mR)			High KV Technique 高圧法 Billings, et al ¹⁷ (mR)			High KV Technique 高圧法 Present Study 本研究 (mrad)		
	Skin 皮膚	Gonad 生殖腺		Skin 皮膚	Gonad 生殖腺		Skin 皮膚	Gonad 生殖腺		Skin 皮膚	Gonad 生殖腺	
		Male 男	Female 女		Male 男	Female 女		Male 男	Female 女		Male 男	Female 女
Chest PA 胸部 背腹方向	8	0.01	0.02	20	0.04	0.2	3	0	0	9.2	0.02	0.04
Thoracic spine AP 胸椎 背背方向	480	1.0	1.3	60	0.4	0.2	-	-	-	250	0.19	0.26
Abdomen AP 腹部 腹背方向	360	0.5*	75	600	12	125	210	0	75	160	12(7*)	51
Lumbar spine AP 腰椎 背背方向	480	0.5*	95	850	12	150	250	0	95	290	20	94
Lumbar spine Lateral 腰椎 側方向	2000	2.25	270	2900	40	240	1500	0	300	820	10	62
Intravenous pyelogram AP 腎盂 腹背方向	480	0.5*	95	600	0.4	40	-	-	-	680	60(18*)	132
Intravenous pyelogram Urinary bladder 腎盂 膀胱撮影	480	10.0*	80	600	12	125	-	-	-	660	180	105
Pelvis AP 骨盤 腹背方向	480	20*	80	650	430	115	350	350	155	219	83	79
Sacro-iliac joints AP 股関節 腹背方向	-	-	-	700	1.0	13	360	50	155	660	110	110

*Lead protector. 鉛遮蔽

some examinations; some male gonadal doses may not have been measurable by their dosimetry apparatus.

The results obtained in this study will be used in evaluating medical X-ray exposure as a concomitantly-acting contaminant in the ongoing investigations of A-bomb survivors. They are reported here for use as reference data.

殖腺線量がゼロであると報告しているが、ある種の検査については、かれらの線量計では測定しえなかったかと思われる。

本研究で得られた結果は、原爆被爆者について現在行なわれている調査において、付随的に働く照射源としての医療用X線を評価するのに役立つ。また参考資料として利用するためにここに報告された。

APPENDIX. X-RAY APPARATUS. *A - General Electric radiography-fluoroscopy unit, type 8, 130 kvp, 500 ma; KX-8 transformer; Regent table with Scholz spot-filmer; side-rail suspension of overhead radiography tube with tomography and stereoscopy capabilities. B - General Electric radiography unit, type 8, 130 kvp, 500 ma; KX-8 transformer; side-rail suspension of overhead radiography tube. C - General Electric Fluoricon II image intensifier, 6-9 inch, with mirror; vidicon closed-circuit television, 0.5, 1, 2, 3 ma fluoroscopy. Variable fluoroscopy kvp for automatic brightness control. Overhead radiography tube, crane suspension; 150 kvp, 500 ma. D - Franklin head radiography unit, 100 kvp, 200 ma.*

付録 X線装置。A—General Electric 撮影-透視用装置，8型130 kvp，500 ma；KX-8変圧器式；Scholz スポットフィルム送り付き Regent 透視台；断層，立体撮影可能なオーバヘッド撮影用管球サイドレール支持台。B—General Electric 撮影用装置，8型，130 kvp，500 ma；KX-8変圧器式；オーバヘッド撮影用管球サイドレール支持台。C—General Electric Fluoricon II イメージ・インテンシファイアー，6-9インチ管，鏡付き，ビジコン閉回路テレビジョン，0.5，1，2，3 ma 透視装置。自動輝度制御装置用可変透視 kvp。オーバヘッド管球つり下げ支持台；150 kvp，500 ma。D—Franklin 頭部撮影用装置，100 kvp，200 ma。

REFERENCES

参考文献

1. WEBSTER EW, MERRILL OE: Radiation hazards. 2. Measurements of gonadal dose in radiographic examinations. *N Engl J Med* 257:811-9, 1957
2. 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. *Br J Radiol* 34:85-100, 1961
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. *Br J Radiol* 36:247-65, 1963
4. MIYAKAWA T, ADACHI T, et al: The genetically significant dose by the X-ray diagnostic examinations in Japan. *Nippon Acta Radiol* 21:565-616, 1961
5. Research Plan for Joint ABCC-JNIH Adult Health Study in Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 11-62
6. BRILL AB, TOMONAGA M, HEYSSEL RM: Leukemia in humans following exposure to ionizing radiation. A summary of the findings in Hiroshima and Nagasaki and comparison with other human experience. ABCC TR 15-59
7. LAUGHLIN JS, MEURK MI, et al: Bone, skin, and gonadal doses in routine diagnostic procedures. *Am J Roentgenol* 78:961-982, Dec 1957
8. GARRETT R, LAUGHLIN JS: A diagnostic X-ray exposure dose chamber. *Health Phys* 2:189-94, 1959
9. STUART S, OSBORN SB: A wide range direct reading X-ray dosimeter. *Phys Med Biol* 3:255-63, 1959
10. OSBORN SB, BURROWS RG: An ionization chamber for diagnostic X-radiation. *Phys Med Biol* 3:37-43, 1958
11. RUSSELL WJ, YOSHINAGA H, et al: Active bone marrow distribution in the adult. *Br J Radiol* 39:735-9, 1966
12. ANTOKU S, MILTON RC: Dose to bone marrow and gonads from chest examinations; calculations by electronic computer. ABCC TR 4-67
13. YOSHINAGA H, TAKESHITA K, et al: Estimation of exposure pattern and bone marrow and gonadal doses during fluoroscopy. *Br J Radiol* 40:344-9, 1967
14. 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
15. ANTOKU S, YOSHINAGA H, RUSSELL WJ: Bone marrow and gonadal dose in roentgenography excluding posteroanterior chest examinations, Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 5-68
16. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. General Assembly, Official Records: Thirteenth Session, Supplement No. 17 (A/3838), New York, 1958
17. BILLINGS MS, NORMAN A, GREENFIELD MA: Gonad dose during routine roentgenography. *Radiology* 69:37-41, 1957
18. Radiological Hazards to Patients. Final Report of the Committee. London, Her Majesty's Stationery Office, 1966
19. ARDRAN GM, CROOKS HE: Gonad radiation dose from diagnostic procedures. *Br J Radiol* 30:295-7, 1957