

EXPOSURE PATTERN, SURFACE, BONE MARROW INTEGRAL,
AND GONADAL DOSE FROM FLUOROSCOPY

透視検査時における照射の分布ならびに表面線量，
骨髓積分線量および生殖腺線量

KENJI TAKESHITA, Ph.D. 竹下健児
SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. 安徳重敏
SHOZO SAWADA, Ph.D. 澤田昭三



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。

Approved 承認 26 June 1969

Research Project 研究課題 13-68

EXPOSURE PATTERN, SURFACE, BONE MARROW INTEGRAL,
AND GONADAL DOSE FROM FLUOROSCOPY

透視検査時における照射の分布ならびに表面線量,
骨髄積分線量および生殖腺線量

KENJI TAKESHITA, Ph.D.* 竹下健児
SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D.** 安徳重敏
SHOZO SAWADA, Ph.D.** 澤田昭三

Department of Radiology

放射線部



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; Advisor to ABCC

広島大学原爆放射能医学研究所, ABCC 顧問

** 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

Our sincere thanks are extended to the physicians who cooperated in this study, by interrupting their busy schedules for patient examinations, and contributing their valuable time. The authors express their appreciation to Messrs. Masayoshi Mizuno, Shoji Nishio, and Kazuo Suga for their technical assistance in this study, and to Miss Tomoko Hashimoto for her assistance in the preparation of the manuscript.

患者診療の多忙な中で貴重な時間をさいて本研究にご協力を賜った医師各位に対し、深甚な謝意を表す。著者らは、水野正義、西尾正二、菅和夫の諸氏の技術的協力に謝意を表するとともに、本報告書の作成にあたっては橋本朋子氏の努力によったことを付記して謝辞とする。

CONTENTS

目 次

Introduction	緒 言	1
Method	方 法	1
Results	結 果	7
Discussion	考 察	15
Summary	要 約	17
References	参考文献	18
Table	1. Technical factors in conventional fluoroscopy	
表	通常透視検査における技術的条件	3
	2. Technical factors in Image Amplifier-TV	
	X線テレビ透視検査における技術的条件	3
	3. Bone marrow integral doses from conventional fluoroscopy	
	通常透視による骨髄積分線量	5
	4. Comparison of bone marrow integral doses	
	骨髄積分線量の比較	6
	5. Ionization Chamber readings during upper gastrointestinal examinations	
	上部胃腸管X線検査における電離槽測定結果	8
	6. Dose estimates by Film Jacket Monitoring in upper gastrointestinal examinations	
	上部胃腸管X線検査におけるフィルム・ジャケット・モニター法による線量推定値	8
	7. Bone marrow integral dose from upper gastrointestinal series using conventional fluoroscopy	
	通常透視を行なった上部胃腸管X線検査による骨髄積分線量	9
	8. Bone marrow integral dose from upper gastrointestinal examinations using Image Amplifier TV-fluoroscopy	
	X線テレビ透視を行なった上部胃腸管X線検査による骨髄積分線量	9
	9. Gonadal dose from upper gastrointestinal examinations using conventional fluoroscopy and spot filming	
	通常透視およびスポット撮影を行なった上部胃腸管X線検査による生殖腺線量	10
	10. Gonadal dose from upper gastrointestinal examinations using Image Amplifier TV-fluoroscopy	
	X線テレビ透視を行なった上部胃腸管X線検査による生殖腺線量	10
	11. Gonadal dose from upper gastrointestinal examinations using conventional fluoroscopy and spot filming	
	通常透視およびスポット撮影を行なった上部胃腸管X線検査による生殖腺線量	11
	12. Surface doses from upper gastrointestinal examinations using conventional fluoroscopy and spot filming	
	通常透視およびスポット撮影を行なった上部胃腸管X線検査による表面線量	11
	13. Surface doses from upper gastrointestinal examinations using Image Amplifier TV-fluoroscopy	
	X線テレビ透視を行なった上部胃腸管X線検査による表面線量	12
	14. Surface doses from upper gastrointestinal examinations using conventional fluoroscopy and spot filming	
	通常透視およびスポット撮影を行なった上部胃腸管X線検査による表面線量	12
	15. Comparison of bone marrow integral doses from upper gastrointestinal examinations	
	上部胃腸管X線検査による骨髄積分線量の比較	12
	16. Comparison of gonadal doses from upper gastrointestinal examinations	
	上部胃腸管X線検査による生殖腺線量の比較	13

17. Comparison of surface doses from upper gastrointestinal examinations 上部胃腸管X線検査による表面線量の比較	13
18. Bone marrow integral doses from chest fluoroscopy and barium enemas 胸部透視およびバリウム注腸検査による骨髄積分線量	13
19. Gonadal doses from chest fluoroscopy and barium enemas 胸部透視およびバリウム注腸検査による生殖腺線量	14
20. Surface doses from chest fluoroscopy and barium enemas 胸部透視およびバリウム注腸検査による表面線量	14
21. Technical factors for chest and barium enema examinations 胸部X線検査およびバリウム注腸検査の技術的条件	15

Figure 1. Incident beams in dose calculations for upper gastrointestinal series

図 上部胃腸管X線検査における線量計算の入射線束	5
2. Calculation Method I 計算法Ⅰ	5
3. Calculation Method II 計算法Ⅱ	5

EXPOSURE PATTERN, SURFACE, BONE MARROW INTEGRAL, AND GONADAL DOSE FROM FLUOROSCOPY

透視検査時における照射の分布ならびに表面線量，
骨髓積分線量および生殖腺線量

INTRODUCTION

An earlier report¹ described a method of determining the pattern of exposure and dose during fluoroscopic examinations of the upper gastrointestinal tract, and compared techniques and doses by ten radiologists using conventional fluoroscopy equipment. The present study concerned techniques and doses from conventional fluoroscopy (no image amplification) by nonradiologists, and from fluoroscopy with image intensifiers and closed-circuit television (TV) by radiologists for upper gastrointestinal series, barium enemas, and chest fluoroscopies.

Use of image intensifiers with TV monitors is steadily increasing. Still, relatively large doses are incurred by fluoroscopy, and fluoroscopy exposure factors are difficult to determine. This study was undertaken to further clarify these sources of exposure and to facilitate estimations of dose among A-bomb survivors and comparison subjects participating in the Adult Health Study,² jointly sponsored by the Atomic Bomb Casualty Commission (ABCC) and the Japanese National Institute of Health (JNIH), and among the Hiroshima and Nagasaki populations. It was also prompted to assess the examinations sometimes performed by general practitioners and those in specialties other than radiology.

METHOD

Methods and apparatus were similar to those of Yoshinaga et al¹ in measuring bone marrow and gonadal doses during upper gastrointestinal (GI) fluoroscopy by radiologists. To check reliability, results using a film jacket¹ containing industrial X-ray film affixed to a phantom human were compared with those obtained by ionization chambers^{3,4} inserted in the phantom. The gonad positions in the phantom were modified slightly from those of the previous study¹ to more closely approximate their true positions.

The film jacket consisting of two 14×17 inch sheets of Eastman type-M industrial radiographic film in lighttight envelopes joined edge to edge was affixed to the phantom human. A simulated barium-filled stomach in the phantom facilitated recording X-ray exposure patterns.

緒言

先の報告書¹では、上部胃腸管の透視検査で被検者が受ける放射線照射の分布状態および被曝線量を求める方法を述べ、普通の透視装置を用いた放射線科医10人の技法および線量の比較を行なった。ここに報告する研究は、放射線科を専門としない医師による通常の透視検査(イメージ増強を行わない)と、放射線科医がイメージ・インテンシファイアーと工業用テレビ(X線テレビ)を用いて行なう上部胃腸管、バリウム注腸および胸部の透視検査における技法および線量について検討したものである。

イメージ・インテンシファイアーとテレビモニターとの併用は、しだいに普及してきている。透視検査によって受ける線量は依然として比較的大きいが、その照射条件を確定することは困難である。本研究の目的は、これらの照射のありさまをさらに究明し、原爆傷害調査委員会(ABCC)と国立予防衛生研究所(予研)と共同で実施している成人健康調査²の対象である原爆被爆者およびその対照群、ならびに広島・長崎の市民における線量推定に役だてることであつた。本研究はまた、一般開業医および放射線科以外の専門医がときどき行なっている透視検査による線量の寄与を調べるためのものでもある。

方法

方法および装置は、吉永ら¹が、放射線科医による上部胃腸管透視検査時の骨髓および生殖腺における被曝線量の測定に用いたものと同様のものであつた。信頼度を確かめるため、工業用X線フィルムを入れたフィルム・ジャケット¹を人体模型(ファントム)にはりつけて得た結果と、電離槽^{3,4}を人体ファントムに挿入して得た結果との比較を行なった。人体ファントムにおける生殖腺の位置は、前回の調査¹におけるものを若干修正して、実際の位置により近いものにした。

14×17インチ大のイーストマン・Mタイプ工業用X線フィルムを入れた遮光封筒2枚の端と端をつないでフィルム・ジャケットを作り、人体ファントムにはりつけた。バリウムをつめた胃の模型をファントムの中に入れ、X線透視の模様を記録するのを容易にした。

The phantom was fluoroscoped by radiologists and nonradiologists using their own techniques and equipment for routine upper GI examinations, chest fluoroscopy, and barium enema examinations. Standard films were exposed using known technical factors, and all films were processed at the same time using a diluted developer. Phantom surface exposure patterns were thus described by posteroanterior (PA) and anteroposterior (AP) projections separately for fluoroscopy and spot filming.

The technical factors used are shown in Table 1 for non-radiologists, and Table 2 for radiologists, using closed-circuit TV. As shown in Table 1, the focus-table distance averaged 40 cm, and fluoroscopy time varied according to examiner and projection. Films of various sizes were used, and the total number by size are included. In Table 2, equipment is classified by X-ray tube location as "undertable tube" with the fluorescent screen and image intensifier above the table, the latter linked with closed-circuit TV; and "overtable tube" with the X-ray tube above the table and the fluoroscopic screen and TV camera under the table. The focus-table distance for the latter type was relatively great—in one instance 95 cm (Table 2). Other factors were similar to those used with the "undertable tube" type of equipment. In fluoroscopy using both types, spot filming involved essentially the same exposure factors as in conventional fluoroscopy. Previously reported dose values¹ for spot filming were therefore used. Fluoroscopy time included that required for positioning for spot filming.

Optical densities of the monitor jacket films were compared with those of the standard films. Corresponding to a lattice of active bone marrow distribution,⁵ surface doses in mrad were obtained for each 5 cm square on the monitor films, for PA and AP projections, and by fluoroscopy and spot filming separately. Mean fluoroscopy times and spot film numbers were used for the PA and AP projections to obtain dose per minute or per exposure. According to X-ray attenuation curves by tube voltage and contribution of scattered X-ray, bone marrow integral dose in g-rad, and gonadal dose in mrad were calculated as in a previous study.¹ Fluoroscopy included oblique as well as true PA and AP projections, so calculations were made as described below.

Calculations of Bone Marrow Integral Dose for Oblique Projections Methodology used was similar to that of a previous study,¹ and will be described in detail here. Both PA and AP fluoroscopy beams were projected on their respective monitor films. Oblique projections were included, but true lateral ones were not. Though the dose patterns registered on the monitor films correspond very closely to the surface doses, some assumptions were necessary in calculating the bone marrow integral doses.

放射線科医と放射線科でない医師が、通常の上腹部腸管透視検査、あるいは胸部透視や、バリウム注腸X線検査時における同様の各自の装置と技法により、このファントムについて透視検査を行なった。一定の技術的条件のもとにフィルムの標準曝射を行ない、希釈現像液ですべてのフィルムの同時現像を行なった。このようにして、ファントム表面の線量分布を求め、透視検査およびスポット撮影のそれぞれについて背腹方向および腹背方向別に記録した。

放射線科でない医師の用いた技術的条件は表1に、放射線科医がX線テレビを用いた場合の技術的条件は表2に示した。表1に示すように、焦点・透視台間の距離は平均40cm、透視の所要時間は検査医および投射方法に応じてまちまちであった。また、いろいろな大きさのフィルムが使用されており、大きさ別の合計枚数も示した。表2では、装置の分類は、X線管球の位置別に行なった。すなわち、「アンダーチューブ方式」では、蛍光板やイメージ・インテンシファイアーが透視台の前面にあり、イメージ・インテンシファイアーは工業用テレビに連結している。「オーバーチューブ方式」では、X線管球が透視台の前面にあって、蛍光板とテレビ・カメラは透視台の裏にある。後者の型においては焦点・透視台間距離は比較的大きく、1例では95cmであった(表2)。その他の条件は、「アンダーチューブ方式」装置に使用されたものと同様である。どちらの型を用いてもスポット撮影では、本来の透視検査におけるものと本質的には同様の照射条件によって行なわれた。したがって、スポット撮影による線量値については、先に報告したもの¹を用いた。透視時間の中にスポット撮影のための部位選定に要した時間も含めた。

ジャケット中のモニターフィルムの黒化度と標準フィルムのそれとの比較を行なった。赤色髄分布⁵の分画方式に従って、モニターフィルム上において各5cm平方区画ごとに、背腹方向および腹背方向投射別、ならびに透視検査およびスポット撮影別に、表面における被曝線量をmrad単位で求めた。背腹方向および腹背方向別に透視時間およびスポットフィルム枚数により、毎分あたり、または1回曝射あたりの被曝線量を求めた。管電圧別のX線減弱曲線と散乱X線の影響をもとにして、前回の研究¹の時のように、骨髓積分線量をg-radで、生殖腺線量をmradで計算した。透視検査には、背腹方向および腹背方向投射のほかに、斜方向のものも含まれているため、計算は次のように行なった。

斜方向投射による骨髓積分線量の算定 計算法はすでに報告したもの¹においても用いられているが、ここにその詳細を述べる。背腹方向および腹背方向の透視検査のいずれにおいてもそれぞれのモニターフィルムに照射が記録されるようにした。斜方向投射は含めたが、真横からのものは考慮しなかった。モニターフィルムに記録された線量分布は表面線量のそれにきわめて近いものであるが、骨髓積分線量の計算には若干の仮定を行なう必要があった。

TABLE 1 TECHNICAL FACTORS IN CONVENTIONAL FLUOROSCOPY ACCORDING TO NONRADIOLOGISTS AND HOSPITALS

表1 放射線科でない医師および病医院別にみた通常透視検査における技術的条件

	Hospital 病院 Doctor* 医師	A		B		C	D	E	F	G	H
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Focus-table distance (cm) 焦点・透視台間距離		40	40	40	40	40	38	40	40	50	35
Added aluminum filter (mm) 付加濾過板		1.0	1.0	0.5	0.5	2.0	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0
Fluoroscopy kvp		70	70	70	70	80	70	60	75	75	80
透視検査 ma		2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	2.0	3.0	2.5	4.0
Time PA 背腹方向		2'30"	2'40"	4'51"	2'40"	2'	2'07"	1'45"	1'40"	2'20"	4'50"
時間 AP 腹背方向		50"	25"	0	0	50"	15"	0	30"	0	0
Total 合計		3'20"	3'05"	4'51"	2'40"	2'50"	2'22"	1'45"	2'10"	2'20"	4'50"
Spot filming kvp		90	90	75	75	80	70	60	75	80	76
スポット撮影 ma		200	200	150	150	200	100	150	200	200	360
Time (sec) 時間(秒)		0.1	0.1	0.15	0.15	0.1	0.15	0.1	0.15	0.15-0.2	0.1
Size and exposures フィルムサイズおよび曝射数											
PA 背腹方向											
10×12 in.		2	3			1	2			3	
10×12 in. div 2		2									
8×10 in.		2		5	5	1		4	3		2
8×10 in. div 4		4	4	4		4	3		4		4
AP 腹背方向											
10×12 in.		1									
8×10 in.						1			1		
8×10 in. div 4							1				
Total exposures 合計曝射数		11	7	9	5	7	6	4	8	3	6

* Even numbers denote surgeons, odd numbers internists. 偶数は外科医, 奇数は内科医を表わす. ' = minute 分 " = second 秒

TABLE 2 TECHNICAL FACTORS IN IMAGE AMPLIFIER-TV ACCORDING TO RADIOLOGISTS AND HOSPITALS

表2 放射線科医および病医院別にみたX線テレビ透視検査における技術的条件

	Hospital 病院 Doctor 医師	A		B	C		
		1	2	3	4	5	6
Tube		Undertable		Overtable	Undertable	Undertable	Undertable
		アンダーチューブ		オーバーチューブ	アンダーチューブ	アンダーチューブ	アンダーチューブ
FTD (cm) 焦点・透視台間距離		45	45	95	48	48	48
Added aluminum filter (mm) 付加濾過板		0.5	0.5	0.5	3.0	3.0	3.0
Fluoroscopy kvp		70	70	90	90	90	90
透視検査 ma		1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	1.0
Time PA 背腹方向		1'30"	2'50"	3'53"	2'57"	3'48"	3'07"
時間 AP 腹背方向		25"	30"	52"	59"	36"	41"
Total 合計時間		1'55"	3'20"	4'45"	3'56"	4'24"	3'48"
Spot filming Size and exposures スポット撮影フィルムサイズおよび曝射数							
PA 背腹方向							
10×12 in.				3			
8×10 in.		5	5	2			
8×10 in. div. 4				4	10	10	10
AP 腹背方向							
8×10 in.		1	1				
8×10 in. div. 2					2	2	2
8×10 in. div. 4					2	2	2
Total exposures 合計曝射数		6	6	9	14	14	14

“Bone marrow integral dose” refers to the average energy dissipated in the bone marrow by exposure to the diagnostic X-ray procedure. It was obtained by measuring the absorbed dose at various points in the bone marrow and weighting the latter according to the amount of active bone marrow, so as to produce a measure of the average energy which was absorbed in the active bone marrow. These procedures are according to those of Laughlin et al.⁶ A total of 1046 g active marrow was assumed.⁵

Figure 1 shows the relationship of positions between the phantom and the monitor film jacket. Two alternate methods were used to calculate bone marrow integral dose.

Figure 2 illustrates one calculation method. The curved film was maintained so as to match the bone marrow cubes. The dose pattern registered on the film was projected onto the lattice as shown. Patterns from oblique projections were considered incident on the lattice in the PA projection. Relatively little active bone marrow is present in the lateral portions of the upper abdominal regions and for this reason, bone marrow integral dose is small during the exposure of these parts of the body.

Figure 3 shows the alternate calculation method. The film conformed to the bone marrow cubes so that exposure from extreme oblique, nearly lateral, projections were incident upon the lateral aspects of the lattice, as shown. Slightly higher doses were obtained by this method because depths were diminished by these severe oblique projections.

Table 3 compares bone marrow integral doses obtained by these two methods. The radiation field used in PA and AP projections of the esophagus measured 8×30 cm. Superimposed exposures measuring 10×10 cm and 12×12 cm were used for PA and 45° oblique projections of the stomach (fixed field). To compare doses obtained by the film jacket method with those obtained by use of ionization chambers in the phantom, abbreviated fluoroscopy times proportional to the totals for the examinations were used to suit chamber sensitivities. A radiologist required 13 seconds to fluoroscope the esophagus, and 60 seconds to fluoroscope the stomach and duodenum, including all projections (moving field).

Addition of lateral projections (Method II) resulted in a slight increase in dose, of up to 12% for radiologists as shown in Table 4.

Comparison of Doses by Ionization Chambers and Film Jacket Monitoring The remainder of the methodology was developed explicitly for this study. Technical

ここにいう「骨髄積分線量」は診断X線検査によって骨髄の受ける平均エネルギーを意味している。このエネルギーは、骨髄のいろいろの箇所において測定された吸収線量と赤色髄の量に従って後者に加重値を与えることによって求めることができる。これらの方法は Laughlin ら⁶ の用いた方法に準じたものである。赤色髄の総量は 1046 g と仮定した。⁵

図1は、ファントムとモニターフィルム・ジャケットとの位置の関係を示す。骨髄積分線量の算定には二つの計算法が用いられた。

図2はその第1の計算法を示したものである。曲げたフィルムを、骨髄分布の立方区画に合致するように保った。フィルムに記録された線量分布は、図示のように各区画の上に投影された。斜方向投射による分布は、この場合背腹方向からのみこの区画へ入射するものとして考えられた。上腹部の側方部には赤色髄が比較的少ないので、これらの部位が照射によって受ける骨髄積分線量はごくわずかなものである。

図3は、別の計算法を示す。ほとんど側方向に近い極端な斜方向からの投射が、図示するように立方区画の側面への入射となるように、フィルムを骨髄分布区画の形に合わせた。この計算法では、極端な斜方向投射があれば深さが減少しているため、やや高い線量値が得られた。

表3は、これら二つの計算法によって得られた骨髄積分線量の比較を示す。背腹方向および腹背方向に用いられた照射野の大きさは、固定照射野では食道検査の場合は8×30 cm、胃の背腹方向および45°斜方向の場合はいずれも10×10 cmの上に12×12 cmを重ね合わせたものであった。フィルム・ジャケット法によって得られた線量とファントム内に電離槽を挿入して得た線量とを比較するため、検査の総所要時間に比例して透視時間を短縮し、電離槽の感度に合わせるようにした。移動照射野ではひとりの放射線科医がすべての撮影方向を含めた透視検査を行なうものとして、食道では13秒、胃および十二指腸では60秒が与えられた。

表4に示したように、実際の例では側方向成分を追加(計算法II)したところ、放射線科医の場合、線量の増加はたかだか12%であった。

電離槽による線量とフィルム・ジャケット・モニター法による線量との比較 以下に述べる方法は本研究の途中で特に加えられたものである。透視検査の技術的条件、

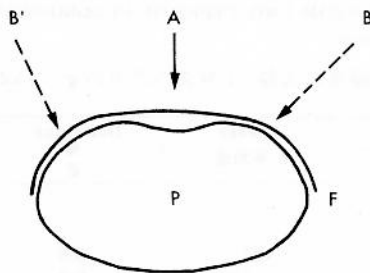


FIGURE 1 Incident beams in dose calculations for upper gastrointestinal series. A, Postero-anterior direction; B and B', postero-anterior oblique directions, where F is the monitor film in the jacket and P is the phantom human.

図1 上部胃腸管X線検査における線量計算の入射線束。(A)背腹方向, (B)および(B')背腹斜方向で, Fはジャケット内のモニターフィルムであり, Pはファントムである。

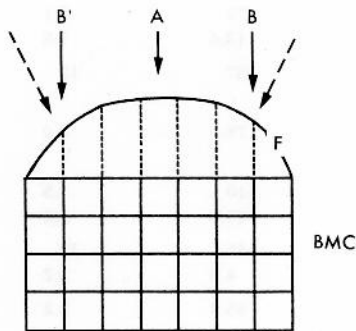


FIGURE 2 Calculation Method I. All PA and oblique X-ray beams projected onto the curved film are calculated as incident to the bone marrow cubes (BMC) in the PA direction.

図2 計算法I. 弯曲させたフィルムに投射された背腹および斜方向X線を, すべて背腹方向から骨髓立方区画(BMC)への入射として算定する。

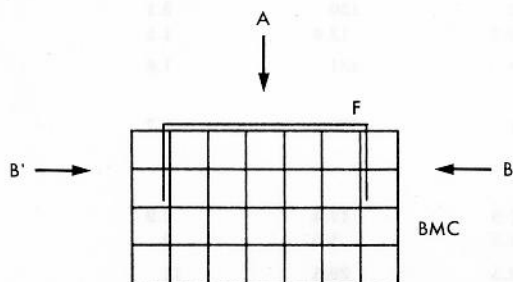


FIGURE 3 Calculation Method II. PA and oblique X-ray beams projected onto the curved film are calculated as being incident to the bone marrow cubes (BMC) in the PA (A) and lateral (B, B') projections.

図3 計算法II. 弯曲させたフィルムに投射された背腹および斜方向X線を, 背腹方向(A)および側方向(B, B')投射から骨髓立方区画(BMC)への入射として算定する。

TABLE 3 BONE MARROW INTEGRAL DOSES FROM CONVENTIONAL FLUOROSCOPY BY TWO METHODS (g-rad/examination)

表3 二つの計算法による通常透視による骨髓積分線量(1検査あたりのg-rad)

Direction 方向	Method 計算法		Mean 平均値	Difference 差 %
	I	II		
* Fixed field PA 背腹方向	37.0	39.6	38.3	3.3
固定照射野 AP 腹背方向	22.0	23.9	23.0	3.9
** Moving field PA 背腹方向	14.7	14.7	14.7	0
移動照射野 AP 腹背方向	12.7	13.3	13.0	2.2

* Fixed Field: basic dosimetry. Esophagus 8×30 cm, 10 sec; Stomach 10×10 cm, 20 sec; 12×12 cm, 10 sec; Stomach with oblique 45° 10×10 cm, 20 sec; 12×12 cm, 10 sec
固定照射野=基礎的な測定. 食道8×30cm, 10秒; 胃10×10cm, 20秒; 12×12cm, 10秒; 胃, 斜45°方向10×10cm, 20秒; 12×12cm, 10秒

** Moving Field: simulated patient examinations. Esophagus 13 sec; Stomach 60 sec with PA or AP and oblique.
移動照射野=通常透視に準じた測定. 食道13秒; 胃, 背腹または 腹背方向および斜方向, 60秒。

TABLE 4 COMPARISON OF BONE MARROW INTEGRAL DOSES FROM TWO TYPES OF FLUOROSCOPY BY RADIOLOGISTS (g-rad/examination)

表4 放射線科医による二つの透視検査方法による骨髓積分線量の比較(1検査当たりのg-rad)

Doctor 医師	Projection 投射方向	Method 計算法		Mean 平均値	Difference % 差
		I	II		
Conventional Fluoroscopy 通常透視					
A1	PA 背腹方向	101	112	107	5.6
	AP 腹背方向	4.5	5.0	4.8	6.2
A2	PA	258	286	272	5.1
	AP	12.4	14.3	13.4	7.5
B3	PA	297	377	337	12
	-	-	-	-	-
B4	PA	72.1	84.7	78.4	8.0
	-	-	-	-	-
C5	PA	104	116	110	5.5
	AP	9.8	10.1	10.0	2.0
D6	PA	128	163	146	12
	AP	4.5	4.7	4.6	2.2
E7	PA	54.1	57.7	55.9	3.2
	-	-	-	-	-
F8	PA	126	133	130	3.1
	AP	12.8	13.2	13.0	1.5
G9	PA	424	438	431	1.6
	-	-	-	-	-
H10	PA	234	241	238	1.7
	-	-	-	-	-
TV-Fluoroscopy X線テレビ透視					
A1	PA	16.9	17.9	17.4	2.9
	AP	1.5	1.5	1.5	0
A2	PA	26.4	32.5	29.5	11
	AP	3.7	3.7	3.7	0
*B3	PA	27.6	28.0	27.8	0.7
	AP	40.9	41.0	41.5	1.4
C4	PA	5.2	5.3	5.3	1.9
	AP	0.4	0.5	0.5	10
C5	PA	25.8	26.1	26.0	0.2
	AP	6.9	7.4	7.2	4.2
C6	PA	43.7	45.3	44.5	1.8
	AP	3.6	3.6	3.6	0

* Overtable tube type オーバーチューブ方式

factors of fluoroscopy, changes in projection and body site observed, and varying field sizes, all make estimation of dose to bone marrow, gonads, and surface very difficult. However, film jacket monitoring during fluoroscopy renders rather good estimates of exposure patterns.

Comparisons were made using the experimental factors corresponding to Table 3, and TV fluoroscopy performed by radiologists (Table 2). The determinations are expressed in mrad for comparison purposes. Ionization chamber readings are shown in Table 5, and doses by film

投射方向および観察部位の移動, および各照射野の大きさの変動などは, 骨髓, 生殖腺, および表面の線量推定を非常に困難なものにする. しかし, 透視検査の際にフィルム・ジャケット・モニター法を用いると, かなりよい被曝線量分布の推定が得られる.

表3の実験と, 表2に示す放射線科医が行なったX線テレビ透視検査において, この同時比較を行なった. 測定値は他と比較できるようにmradで表わした. 表5は電離槽の測定値を示し, 表6はフィルムモニター法による線

monitoring in Table 6. Gonadal doses and bone marrow doses at eight sites within the body were measured by ionization chambers. Fixed field and moving field values in Tables 5 and 6 are based upon factors described above. Only doses within the direct beam were calculated with the film jacket method. Doses were calculated at the center of each 5 cm cubical compartment in the bone marrow cubes, nearest an ionization chamber. The plus and minus signs in Table 6 indicate, depending upon their location, a possibility that they may range higher or lower. Ovary dose is the mean value of the doses to both ovaries, as obtained by the film jacket method. This value is about one-half that of the ionization chamber method. This is probably due to lack of consideration of scattered radiation and that immediately adjacent to the direct beam.

Tables 5 and 6 show that sites which received relatively large doses, such as the sternum and spine, generally have consistent values, and that values with plus or minus signs might have been more consistent, had more care been given to positioning and corrections for attenuation. The effect of oblique projections was apparent in sites where differences were very large, as in rib and ilium. Differences of two or three times were seen in some cases. Generally, the degree of conformity was good, and the film jacket method was found satisfactory in the estimation of bone marrow integral doses and gonadal doses.

RESULTS

Table 7 shows bone marrow integral doses from upper GI series by conventional fluoroscopy and spot filming by nonradiologists. The odd numbers indicate internists, and the even numbers surgeons. Table 8 shows results from these examinations, with TV-fluoroscopy by radiologists.

Table 9 shows gonadal doses from upper GI series with conventional fluoroscopy and spot filming by nonradiologists. Table 10 shows results for upper GI series with TV-fluoroscopy by radiologists. Previously reported¹ gonadal doses from fluoroscopy by radiologists were recalculated according to the altered gonad positions and are listed in Table 11.

Table 12 shows surface doses for conventional fluoroscopy and spot filming by nonradiologists; Table 13 surface doses for TV-fluoroscopy by radiologists; and Table 14 surface doses for conventional fluoroscopy by radiologists not included in the previous report.¹ In these tables, surface doses are the maximum values of each exposure dose pattern and are calculated according to the PA and AP projections by fluoroscopy and spot filming.

量を示す。生殖腺線量および体内の8部位における骨髄線量を電離槽によって計測した。表5および6に示す固定照射野および移動照射野の条件は上記に述べたとおりである。フィルム・ジャケット法では直接線束内の線量のみを計算した。計算は、電離槽に最も近い5 cm立方の骨髄分布区画の中心について行なった。表6における+および-の印は、その位置に応じて、この値より高くまたは低く期待される可能性のあることを示す。フィルム・ジャケット法で得られた卵巣の線量は、左右卵巣における線量の平均値である。この値は、電離槽によるものの約半分の値である。これは、散乱放射線、特に直接線束の真近かにあるものを考慮に入れなかったことによるとと思われる。

表5および6は、胸骨および脊椎のように、比較的大きい線量を受けている部位は一般的によい一致を示しているが、+または-の印を付した数値では、体位および減弱に対する補正にもっと注意を払っていたならば、より似かよったものになったかもしれないことを示している。肋骨および腸骨のように、差が非常に大きかった部位では、斜方向撮影の影響があったことは明白である。場合によっては2-3倍の差が認められた。一般的に一致の度合いは良好であって、骨髄積分線量および生殖腺線量の推定法としてフィルム・ジャケット法を使用できることが立証された。

結 果

表7は、放射線科でない医師が、通常の透視検査およびスポット撮影を行なった上部胃腸管X線検査による骨髄積分線量を示す。奇数は内科医、偶数は外科医を表わす。表8では、放射線科医がX線テレビを用いて透視検査を行なった場合の結果を示した。

表9は、放射線科でない医師が、通常の透視検査およびスポット撮影を行なった上部胃腸管X線検査による生殖腺線量を示す。表10では、放射線科医がX線テレビを用いて行なった上部胃腸管X線検査の結果を示す。既報¹で述べた放射線科医の透視検査による生殖腺線量については、変更を加えた後の生殖腺部位をもとに再計算を行なった。これらは表11に示した。

以下に次の各検査による表面線量を示す：表12では放射線科でない医師による通常の透視検査およびスポット撮影、表13は放射線科医によるX線テレビ透視検査、表14は放射線科医による通常の透視検査で、前回の報告¹に含まなかったもの。これらの表では、表面線量は、各照射線量分布の最大値であり、透視検査およびスポット撮影別に背腹方向および腹背方向について求めたものである。

Averages of these results are compared in Tables 15, 16, and 17 by bone marrow integral, gonadal and surface doses, respectively.

Three radiologists fluoroscoped the phantom for chest fluoroscopy and barium enema examinations. The results are shown in Table 18 by bone marrow integral doses; Table 19 gonadal doses; and Table 20 surface doses. Spot film exposures were made by phototiming. The technical factors used during conventional and image amplifier-TV fluoroscopy are compared in Table 21.

これらの結果の平均値は、表15、16および17において、それぞれ骨髄積分線量、生殖腺線量、および表面線量別に比較した。

胸部透視検査およびバリウム注腸X線検査について調べるため、3人の放射線科医がファントムの透視検査を行った。その結果は、表18では骨髄積分線量、表19では生殖腺線量、表20では表面線量を示した。スポット撮影は、フォトタイマーによって行なった。表21では、通常の透視検査およびX線テレビ透視検査の際に用いられた技術的条件の比較を行なった。

TABLE 5 IONIZATION CHAMBER READINGS DURING UPPER GASTROINTESTINAL EXAMINATIONS BY RADIOLOGISTS USING IMAGE AMPLIFIER TV-FLUOROSCOPY (mrad/examination)

表5 放射線科医がX線テレビ透視を行なった上部胃腸管X線検査における電離槽測定結果 (1検査あたりのmrad)

Location 部位	Fixed Field*		Moving Field*		Dose by Radiologists (TV-Fluoroscopy) 放射線科医別の線量(X線テレビ透視)					
	固定照射野		移動照射野		A1	A2	B3**	C4	C5	C6
	PA	AP	PA	AP						
Sternum 胸骨	15.3	229	0	138	3.8	6.9	125	28.5	113	194
T-spine (6) 胸椎(6)	87.9	41.8	38.0	0	19.7	5.9	23.8	46.9	-	101
Right rib 右肋骨	7.4	23.0	0	17.1	5.0	8.0	19.3	5.4	75.2	19.8
Left rib 左肋骨	33.0	12.2	5.6	11.3	4.4	18.2	31.5	21.7	59.7	40.5
T-spine (12) 胸椎(12)	132	37.2	51.8	19.0	19.3	113	143	22.6	106	288
L-spine (5) 腰椎(5)	278	17.5	190	0	188	251	245	170	428	-
Right iliac 右腸骨	31.9	21.0	89.6	3.9	269	74.5	272	39.3	127	245
Left iliac 左腸骨	703	13.6	146	1.4	137	333	306	180	289	376
Right ovary 右卵巣	8.4	19.3	7.3	0	13.5	10.6	146	5.2	24.4	42.9
Left ovary 左卵巣	18.3	12.2	8.1	2.7	9.3	13.8	133	11.0	29.1	41.1
Testis 睪丸	0	3.6	0	0	1.5	4.0	24.8	0	4.0	0

* See footnote for Table 3. 表3の脚注を参照.

** Overtable tube type. オーバーチューブ方式.

TABLE 6 DOSE ESTIMATES BY FILM JACKET MONITORING IN UPPER GASTROINTESTINAL EXAMINATIONS BY RADIOLOGISTS USING IMAGE AMPLIFIER TV-FLUOROSCOPY (mrad/examination)

表6 放射線科医がX線テレビ透視を行なった上部胃腸管X線検査におけるフィルム・ジャケット・モニター法による線量推定値(1検査あたりのmrad)

Location 部位	Fixed Field*		Moving Field*		Dose by Radiologists (TV-Fluoroscopy) 放射線科医別の線量(X線テレビ透視)					
	固定照射野		移動照射野		A1	A2	B3**	C4	C5	C6
	PA	AP	PA	AP						
Sternum 胸骨	10.0	242	2.0	178	2.1	0+	131	1.1+	37.2+	51.8+
T-spine (6) 胸椎(6)	110	24.3	50.2	1.0	14.1	2.5	16.2	14.8	34.2	29.0
Right rib 右肋骨	0+	34.3+	0+	8.4+	0+	0.2+	0+	0+	22.8+	0+
Left rib 左肋骨	37.7-	0+	31.8-	0+	1.9	5.9	1.8	5.7	4.6	6.0
T-spine (12) 胸椎(12)	101	22.6	22.6	8.4	11.0	48.7	118	5.3	27.8	104
L-spine (5) 腰椎(5)	271	114-	159	21.8-	201	221	264	51.5	172	236
Right iliac 右腸骨	56.9-	96.3+	160-	0.8+	133	46.2	234	29.9	87.0	62.4
Left iliac 左腸骨	314	4.1+	122	5.4+	192	238	223	57.6	136	187
Ovary 卵巣	37.4	69.4	42.4	8.9	32.1	34.1	595	8.1	61.7	70.2
Testis 睪丸	1.5	0.8	1.1	0.3	1.1	1.2	90.6	0.3	1.6	2.3

* See footnote for Table 3. 表3の脚注を参照.

** Overtable tube type. オーバーチューブ方式.

TABLE 7 BONE MARROW INTEGRAL DOSE FROM UPPER GASTROINTESTINAL SERIES BY NONRADIOLOGISTS USING CONVENTIONAL FLUOROSCOPY

表7 放射線科でない医師が通常透視を行なった上部胃腸管X線検査による
骨髓積分線量

Hospital 病院	Doctor * 医師	Dose 線量			
		Fluoroscopy 透視		Spot Filming スポット撮影	
		g-rad/min 分	g-rad/exam 検査	g-rad/exp 曝射	g-rad/exam 検査
A	1	33.5	112	20.6	226
A	2	92.3	285	40.4	283
B	3	69.4	337	12.5	113
B	4	29.4	78.4	10.4	52.0
C	5	42.4	120	6.9	48.6
D	6	63.5	150	3.4	20.5
E	7	31.9	56.0	4.3	17.0
F	8	65.9	143	20.5	164
G	9	185	431	17.2	51.6
H	10	49.3	238	12.7	76.2
Mean 平均値		66.3	195	14.9	105

* Odd numbers, internists; Even numbers, surgeons.

奇数=内科医 偶数=外科医

TABLE 8 BONE MARROW INTEGRAL DOSE FROM UPPER GASTROINTESTINAL EXAMINATIONS BY RADIOLOGISTS USING IMAGE AMPLIFIER TV-FLUOROSCOPY

表8 放射線科医がX線テレビ透視を行なった上部胃腸管X線検査による骨髓積分線量

Hospital 病院	Doctor 医師	Dose 線量	
		g-rad/min 分	g-rad/exam 検査
A	1	9.8	18.9
A	2	10.0	33.2
B*	3	14.6	69.3
C	4	1.5	5.8
C	5	7.5	33.2
C	6	12.7	48.1
Mean 平均値		9.4	34.8

* Overtable tube type オーバーチューブ方式

TABLE 9 GONADAL DOSE FROM UPPER GASTROINTESTINAL EXAMINATIONS BY NONRADIOLOGISTS USING CONVENTIONAL FLUOROSCOPY AND SPOT FILMING

表9 放射線科でない医師が通常透視およびスポット撮影を行なった上部胃腸管X線検査による生殖腺線量

Hospital 病院	Doctor 医師	Conventional Fluoroscopy 通常透視				Spot Filming スポット撮影			
		Male 男		Female 女		Male 男		Female 女	
		mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/exp 曝射	mrad/exam 検査	mrad/exp 曝射	mrad/exam 検査
A	1	9.04	30.1	47.0	157	4.07	44.8	73.2	805
A	2	23.7	73.1	280	864	2.34	16.4	128	897
B	3	3.58	17.4	123	596	0.76	6.80	34.1	307
B	4	1.03	2.75	30.3	81.0	0.69	3.44	15.2	75.8
C	5	7.95	22.5	66.1	187	0.57	4.02	12.5	87.8
D	6	1.62	3.84	39.4	93.4	2.51	15.1	6.1	36.6
E	7	1.66	2.91	35.6	62.2	0.22	0.89	4.7	18.6
F	8	4.65	10.1	108	234	1.45	11.6	62.3	498
G	9	3.25	7.57	47.1	110	1.03	3.10	13.6	40.7
H	10	3.48	16.8	74.7	361	0.58	3.46	12.4	74.5
Mean	平均値	5.99	18.7	85.1	274	1.42	11.0	36.2	284

TABLE 10 GONADAL DOSE FROM UPPER GASTROINTESTINAL EXAMINATIONS BY RADIOLOGISTS USING IMAGE AMPLIFIER TV-FLUOROSCOPY

表10 放射線科医がX線テレビ透視を行なった上部胃腸管X線検査による生殖腺線量

Hospital 病院	Doctor 医師	Dose 線量			
		Male 男		Female 女	
		mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/min 分	mrad/exam 検査
A	1	0.55	1.05	16.7	32.1
A	2	0.37	1.24	10.3	34.1
B*	3	19.1	90.6	125	595
C	4	0.09	0.34	2.1	8.1
C	5	0.37	1.62	14.0	61.7
C	6	0.59	2.25	18.5	70.2
Mean	平均値	3.51	16.2	31.1	133
Mean excluding B3 and C4	B3およびC4を除いた平均値	0.47	1.54	14.9	49.5

* Overtable tube type. オーバーチューブ方式

TABLE 11 GONADAL DOSES FROM UPPER GASTROINTESTINAL EXAMINATIONS BY RADIOLOGISTS USING CONVENTIONAL FLUOROSCOPY AND SPOT FILMING

表11 放射線科医が通常透視およびスポット撮影を行なった上部胃腸管X線検査による生殖腺線量

Hospital 病院	Doctor 医師	Conventional Fluoroscopy 通常透視				Spot Filming スポット撮影			
		Male 男		Female 女		Male 男		Female 女	
		mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/exp 曝射	mrad/exam 検査	mrad/exp 曝射	mrad/exam 検査
A	1	1.06	1.77	24.7	41.3	0.09	0.75	2.42	19.4
A	2	0.66	1.62	12.5	30.7	0.05	0.43	1.86	14.9
B	3	0.66	1.71	20.4	52.6	0.14	1.54	2.81	30.9
B	4	0.67	2.01	22.0	66.1	0.33	3.01	15.0	135
C	5	1.32	3.45	24.6	64.5	0.19	0.96	3.20	16.0
C	6	3.20	6.40	83.9	168	0.25	1.24	7.86	39.3
D	7	0.90	2.39	37.3	99.5	2.84	37.0	79.0	1030
D	8	0.70	2.12	23.1	69.5	0.39	4.33	18.0	197
E	9	0.73	3.15	19.3	83.7	0.09	0.81	6.08	54.7
F	10	2.71	5.99	128	284	0.37	2.94	9.77	78.2
Mean 平均値		1.26	3.06	39.6	96.0	0.48	5.30	14.6	161
Mean excluding D7 in spot filming スポット撮影におけるD7を除いた平均値						0.21	1.78	7.44	65.1

TABLE 12 SURFACE DOSES FROM UPPER GASTROINTESTINAL EXAMINATIONS BY NONRADIOLOGISTS USING CONVENTIONAL FLUOROSCOPY AND SPOT FILMING

表12 放射線科でない医師が通常透視およびスポット撮影を行なった上部胃腸管X線検査による表面線量

Hospital 病院	Doctor 医師	Conventional Fluoroscopy 通常透視				Spot Filming スポット撮影			
		PA 背腹方向		AP 腹背方向		PA 背腹方向		AP 腹背方向	
		mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/exp 曝射	mrad/exam 検査	mrad/exp 曝射	mrad/exam 検査
A	1	1540	3860	1040	865	390	3900	428	428
A	2	2440	6500	2100	884	576	4030	-	-
B	3	1760	8550	-	-	494	4450	-	-
B	4	1750	4670	-	-	647	3240	-	-
C	5	2690	5380	2830	3240	430	2580	372	372
D	6	2810	5960	4200	1050	387	1930	456	456
E	7	2220	3900	-	-	419	1670	-	-
F	8	4500	7510	4390	2190	766	5370	725	725
G	9	2660	6200	-	-	239	716	-	-
H	10	2730	13200	-	-	533	3200	-	-
Mean 平均値			6580		1470		3110		493
			Mean/minute 平均値/分 2640				Mean/exposure 平均値/曝射 490		

TABLE 13 SURFACE DOSES FROM UPPER GASTROINTESTINAL EXAMINATIONS BY RADIOLOGISTS USING IMAGE AMPLIFIER TV-FLUOROSCOPY

表13 放射線科医がX線テレビ透視を行なった上部胃腸管X線検査による表面線量

Hospital 病院	Doctor 医師	Dose 線量			
		PA 背腹方向		AP 腹背方向	
		mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/min 分	mrad/exam 検査
A	1	781	1170	957	402
A	2	815	2310	1230	614
B*	3	853	742	830	3220
C	4	118	348	113	112
C	5	274	1040	1200	719
C	6	456	1420	514	350
Mean 平均値		-	1170	-	902
		Mean/minute 平均値 / 分 678			

* Overtable tube type オーバーチューブ方式

TABLE 14 SURFACE DOSES FROM UPPER GASTROINTESTINAL EXAMINATIONS BY RADIOLOGISTS USING CONVENTIONAL FLUOROSCOPY AND SPOT FILMING

表14 放射線科医が通常透視およびスポット撮影を行なった上部胃腸管X線検査による表面線量

Hospital 病院	Doctor 医師	Conventional Fluoroscopy 通常透視				Spot Filming スポット撮影			
		PA 背腹方向		AP 腹背方向		PA 背腹方向		AP 腹背方向	
		mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/exp 曝射	mrad/exam 検査	mrad/exp 曝射	mrad/exam 検査
A	1	1180	1670	8220	2060	100	698	163	163
A	2	1120	2510	3720	744	65	453	195	195
B	3	1240	2940	2560	512	197	1970	470	470
B	4	1710	3860	1790	1350	401	2810	470	939
C	5	3100	8110	-	-	519	2590	-	-
C	6	3720	7440	-	-	701	3510	-	-
D	7	1230	2730	2270	1020	744	8180	791	1580
D	8	2040	4850	2130	1340	407	4070	774	774
E	9	2390	8350	3530	2930	241	1930	310	310
F	10	2800	3160	3000	3250	662	3310	651	1950
Mean 平均値		-	4570	-	1650	-	2600	-	798
		Mean/minute 平均値 / 分		2650		Mean/exposure 平均値 / 曝射		437	

TABLE 15 COMPARISON OF BONE MARROW INTEGRAL DOSES FROM UPPER GASTROINTESTINAL EXAMINATIONS BY PHYSICIANS AND APPARATUS

表15 医師および装置別にみた上部胃腸管X線検査による骨髓積分線量の比較

Physicians and Apparatus 医師および装置	Fluoroscopy 透視			Spot Filming スポット撮影		
	Time (min) 時間(分)	g-rad/min 分	g-rad/exam 検査	Exposures 曝射回数	g-rad/exp 曝射	g-rad/exam 検査
	10 Radiologists conventional 放射線科医10人(通常透視)	2.66	41.6	105	8.7	7.3
10 Nonradiologists conventional 放射線科でない医師10人(通常透視)	3.02	66.3	195	6.6	14.9	105
6 Radiologists TV-fluoroscopy 放射線科医6人(X線テレビ透視)	3.69	9.4	34.8	-	-	-

TABLE 16 COMPARISON OF GONADAL DOSES FROM UPPER GASTROINTESTINAL EXAMINATIONS
BY PHYSICIANS AND APPARATUS

表16 医師および装置別にみた上部胃腸管X線検査による生殖腺線量の比較

Physicians and Apparatus 医師および装置	Fluoroscopy 透視				Spot Filming スポット撮影			
	Male 男		Female 女		Male 男		Female 女	
	mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/exp 曝射	mrad/exam 検査	mrad/exp 曝射	mrad/exam 検査
10 Radiologists conventional 放射線科医10人(通常透視)	1.26	3.06	39.6	96.0	0.48	5.30	14.6	161
* 9					0.21	1.78	7.44	65.1
10 Nonradiologists conventional 放射線科でない医師10人(通常透視)	5.99	18.7	85.1	274	1.42	11.0	36.2	284
6 Radiologists TV-fluoroscopy 放射線科医6人(X線テレビ透視)	3.51	16.2	31.1	133	-	-	-	-
* 4	0.47	1.54	14.9	49.5				

* Excludes examiners incurring unusually high and low doses. 極端に線量が高い検査医と低い検査医は除外した。

TABLE 17 COMPARISON OF SURFACE DOSES FROM UPPER GASTROINTESTINAL EXAMINATIONS
BY PHYSICIANS AND APPARATUS

表17 医師および装置別にみた上部胃腸管X線検査による表面線量の比較

Physicians and Apparatus 医師および装置	Fluoroscopy 透視			Spot Filming スポット撮影		
	mrad/min 分	mrad/exam 検査		mrad/exp 曝射	mrad/exam 検査	
		PA 背腹	AP 腹背		PA 背腹	AP 腹背
10 Radiologists conventional 放射線科医10人(通常透視)	2650	4570	1650	438	2600	798
10 Nonradiologists conventional 放射線科でない医師10人(通常透視)	2640	6580	1470	490	3110	493
6 Radiologists TV-fluoroscopy 放射線科医6人(X線テレビ透視)	678	1170	902	-	-	-

TABLE 18 BONE MARROW INTEGRAL DOSES FROM CHEST FLUOROSCOPY AND BARIUM ENEMAS
BY RADIOLOGISTS AND APPARATUS

表18 放射線科医および装置別にみた胸部透視およびバリウム注腸検査による骨髓積分線量

Radiologists 放射線科医	Conventional Fluoroscopy 通常透視		TV-fluoroscopy X線テレビ透視		Spot Filming スポット撮影	
	g-rad/min 分	g-rad/exam 検査	g-rad/min 分	g-rad/exam 検査	g-rad/exp 曝射	g-rad/exam 検査
Chest 胸部						
1	47.4	73.5	8.02	13.4		
2	24.8	14.5	1.02	1.02		
3	39.3	57.5	5.23	9.31		
Mean 平均値	37.2	48.5	4.80	7.91		
Barium Enema バリウム注腸						
1	72.6	77.0	30.5	48.2	6.28	31.4
2	102	89.2	27.8	43.1	6.09	48.7
3	162	336	30.3	47.8	5.33	42.6
Mean 平均値	112	167	30.0	46.4	5.90	40.9

TABLE 19 GONADAL DOSES FROM CHEST FLUOROSCOPY AND BARIUM ENEMAS
BY RADIOLOGISTS AND APPARATUS

表19 放射線科医および装置別にみた胸部透視およびバリウム注腸検査による生殖腺線量

Radiologists 放射線科医	Conventional Fluoroscopy 通常透視				TV-Fluoroscopy X線テレビ透視				Spot Filming スポット撮影			
	Male 男		Female 女		Male 男		Female 女		Male 男		Female 女	
	mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/exp 曝射	mrad/exam 検査	mrad/exp 曝射	mrad/exam 検査
Chest 胸部												
1	0.74	1.14	3.29	5.10	0.04	0.06	0.45	0.75				
2	0.24	0.29	0.99	1.16	0.03	0.03	0.50	0.50				
3	0.05	0.04	0.29	0.42	0.02	0.03	0.20	0.36				
Mean 平均値	0.34	0.50	1.52	2.22	0.03	0.04	0.38	0.54				
Barium Enema バリウム注腸												
1	22.0	47.0	290	610	15.0	23.0	130	210	2.8	14.0	26.0	130
2	146	255	810	1430	5.5	8.6	150	230	2.4	19.0	28.0	220
3	17.0	34.5	585	1230	13.0	20.0	130	200	4.5	36.0	30.0	240
Mean 平均値	62.0	112	562	1090	11.0	17.2	140	213	3.2	23.0	28.0	197

TABLE 20 SURFACE DOSES FROM CHEST FLUOROSCOPY AND BARIUM ENEMAS
BY RADIOLOGISTS AND APPARATUS

表20 放射線科医および装置別にみた胸部透視およびバリウム注腸検査による表面線量

Radiologists 放射線科医	Conventional Fluoroscopy 通常透視		TV-Fluoroscopy X線テレビ透視		Spot Filming スポット撮影		
	mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/min 分	mrad/exam 検査	mrad/exp 曝射	mrad/exam 検査	
Chest 胸部							
1		1540		2380		251	419
2		834		490		65.1	65.1
3		1430		2070		120	214
Mean 平均値		1270		1650		150	233
Barium Enema バリウム注腸検査							
1		1430		1520		453	716
2		2450		2140		426	660
3		3360		6980		553	874
Mean 平均値		2410		3550		480	750

TABLE 21 TECHNICAL FACTORS FOR CHEST AND BARIUM ENEMA EXAMINATIONS
BY RADIOLOGISTS AND APPARATUS

表21 放射線科医および装置別にみた胸部X線検査およびバリウム注腸検査の技術的条件

Radiologists 放射線科医	Conventional Fluoroscopy 通常透視			TV-Fluoroscopy X線テレビ透視		
	1	2	3	1	2	3
Chest 胸部						
FTD (cm) 焦点・透視台間距離	48	48	48	48	48	48
Filter (mmAl) 濾過板	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Fluoroscopy 透視						
kvp	80	80	80	Auto 自動	Auto 自動	Auto 自動
ma	3.0	3.0	3.0	0.5	0.5	0.5
Time 時間	1'33"	35"	1'27"	1'40"	1'	1'47"
Barium Enema バリウム注腸検査						
FTD (cm) 焦点・透視台間距離	48	48	48	48	48	48
Filter (mmAl) 濾過板	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Fluoroscopy 透視検査						
kvp	90	90	90	Auto 自動	Auto 自動	Auto 自動
ma	3.0	3.0	3.0	0.5, 1.0	1.0	0.5, 1.0
Time 時間	1'04"	52"	2'05"	2'20"	1'33"	2'20"
Spot Filming スポット撮影						
Size and Exposures (90 kvp 100ma 0.2 sec) フィルムサイズおよび曝射数						
PA 背腹方向						
8×10 in.		3	3			
8×10 in. div. 2	2					
8×10 in. div. 4		4	4			
Total Exposures 合計曝射数	2	7	7			

DISCUSSION

The radiologists who cooperated in the previous study¹ were not all available for this study. Doses obtained were compared with those previously reported in the scientific literature.

As shown in Table 15, the mean fluoroscopy time was relatively long, and the number of spot films relatively few for nonradiologists. Bone marrow integral dose per minute by nonradiologists was greater by about 60% for fluoroscopy and nearly two times for spot filming, probably because exposure fields were rather large. The relatively low bone marrow integral dose for TV-fluoroscopy (one-quarter that of conventional fluoroscopy) was due to low tube current. Exposure fields used were probably relatively small due to the limited field size available with closed-circuit TV.

Gonadal doses (Table 16) for fluoroscopy by nonradiologists were greater than those for radiologists by five times in the male and two times in the female. For six radiologists, TV-fluoroscopy incurred mean male gonadal doses three

考 察

今回の調査では、前回¹ 協力を得た放射線科医の全員は参加できなかった。得られた線量値は、すでに学術雑誌で発表されているものと比較した。

表15に示すように、放射線科でない医師の場合、平均透視時間は比較的長く、スポット撮影の枚数は逆に比較的少なかった。放射線科でない医師では、放射線科医に比較して、毎分あたりの骨髄積分線量は、透視で約60%、スポット撮影でほとんど2倍も大きかったが、これはおそらく照射野が大きかったためであろう。X線テレビ透視検査では骨髄積分線量は比較的少なく、通常の透視の4分の1であったが、これは管電流が低いためであった。X線テレビではモニター面での照射野の大きさが限定されているので、比較的小さい照射野が用いられる傾向にあったかもしれない。

放射線科でない医師による透視検査の生殖腺線量(表16)は、放射線科医の場合よりも、男子で5倍、女子で2倍も大きかった。6人の放射線科医のX線テレビ透視検査による男子の生殖腺の平均線量は通常の透視検査による

times as great as those of conventional fluoroscopy. The high dose was largely incurred by one doctor (3, Hospital B; Table 10), who utilized an overtable tube type apparatus, with remote control compression for AP projections. Excluding the large dose case and the very low dose case (B-3 and C-4, Table 10), the mean values per minute are 0.47 mrad in the male and 14.9 mrad in the female.

Table 17 shows surface doses. There may have been contributions of exposure in the oblique as well as true PA and AP projections. The mean surface dose per examination for PA fluoroscopy by radiologists was 4.57 rad. The highest dose per examination among the 10 radiologists was 8.35 rad; the lowest, 1.67 rad (Table 14). Corresponding dose rates by these radiologists were 2.39 and 1.18 rad per minute, respectively. Mean surface dose was 2.65 rad per minute. These results reflect the problems of dealing with surface doses, as with a relatively high dose in a small area or a relatively low dose within a large area. The examiners' unfamiliarity with the fluoroscopic appearance of the phantom human and some technical factors may have been responsible. Considering the exposure factors, as expected, dose per exposure does not show a wide variation.

Fluoroscopy techniques vary greatly, and it is difficult to establish accurately doses received by patients. The above results demonstrate that dose per minute for fluoroscopy and dose per exposure for spot filming are reliable for arriving at dose per examination, by products of their mean values and total fluoroscopy time, and film numbers disregarding film size. Some inaccuracy arises, since the mean values are for relatively wide dose ranges. Actual exposure fields are not always the same as film sizes, and this results in less precise dose estimates. For example, the ranges of the average deviations calculated for surface dose rates for conventional fluoroscopy and TV-fluoroscopy by radiologists were 62% (SD±1.64) and 57% (SD±0.376) of the mean values, 2.65 and 0.665 rad per minute respectively. Average deviations for nonradiologists were 39% (SD±1.02) of the mean value 2.64 rad per minute. Those for spot filming by radiologists were 55% (SD±242) of the mean value 438 mrad per minute; for nonradiologists, 46% (SD±226) of the mean value 490 mrad per minute. Rather wide variations in dose to the bone marrow and gonads occurred depending on the attenuation caused by tube voltage and the contribution of scattered radiation.

The participating examiners in this study were not selected at random. The phantom fluoroscopy was performed according to their routine methods. Some have been constantly endeavoring to minimize doses; others have

量の3倍であった。この高い線量値の原因の大部分は、腹背方向透視用に遠隔圧迫装置を有するオーバーチューブ方式の透視装置を使用した1医師(表10, 3, 病院B)の結果が大きききいていた。線量の高い例と極端に低い例(表10, B-3およびC-4)を除外すれば、毎分あたりの線量の平均値は、男子では0.47mrad、女子では14.9mradとなる。

表17は、表面線量を示す。これには、背腹方向および腹背方向のほか斜方向投射による影響もあったかもしれない。放射線科医が行なった背腹方向透視検査による1検査あたりの表面線量の平均は4.57radであった。10人の放射線科医中、1検査あたり線量の最高は8.35radであり、最低は1.67radであった(表14)。これに対して、この医師たちの毎分あたりの線量はそれぞれ2.39および1.18radであった。また平均の表面線量率は毎分2.65radであった。これらの結果は表面線量を扱う場合の問題を反映していて、小面積において線量が比較的高く、大きい面積で低いことがある。その原因は、ファントムを使用しての透視ということに不慣れであったことや、若干の技術的条件にあったかもしれない。曝射条件から考えて、予想されたように、1回曝射あたりの線量には大きな差は認められない。

透視検査の技術はきわめて変化の多いものであって、患者の被曝線量を正確に求めることは困難である。上記の結果は、透視においては毎分あたりの線量、スポット撮影においては1回曝射あたりの線量から1回の検査あたりの線量を求めることが確実な方法であり、前者では平均値に総透視時間をかけ、後者ではフィルムの大きさに関係なく撮影枚数によって求められることを示す。平均値は比較的幅広い線量範囲から得たものであるから、多少の不正確さも生ずる。実際の照射野は必ずしもフィルムの大きさと同じではないので、線量推定の精度は減少する。たとえば、放射線科医が行なった通常の透視検査およびX線テレビ透視検査の表面線量について算定した偏差の範囲は、それぞれの平均値、毎分2.65および0.665radに対し、それぞれその62%(SD±1.64)および57%(SD±0.376)であった。放射線科でない医師の場合の偏差は、毎分あたりの平均値2.64radの39%(SD±1.02)であった。放射線科医によるスポット撮影の場合の偏差は、毎分あたりの平均値438mradの55%(SD±242)であり、放射線科でない医師の場合、毎分あたりの平均値490mradの46%(SD±226)であった。管電圧による減弱および散乱放射線の影響によって、骨髄および生殖腺の線量にはかなり大きな差が生じた。

この調査に参加した検査医は、無作為に抽出されたものではなかった。ファントムの透視検査は、各医師が日常使用する方法で行なった。ある者はたえず線量を最小限にするよう努めたが、他の者はそれをしなかった。この

not. In some cases X-ray beams were not restricted due to mechanical defects in equipment which were discovered in this study. At Hospital B mechanical problems with the equipment prevented reduction of exposure. At Hospital C, doctor 4, careful attention of the examiner and well-maintained equipment avoided unnecessary exposure. For all these examinations, exposure dose values were considered most useful for our purposes.

Mass examinations of the stomach are being performed with increasing frequency in Japan, and fluoroscopic systems using image intensifiers and closed-circuit TV, and cameras of the Odelca type are gaining wide acceptance. At present these are mainly used only for positioning subjects for filming during routine screening procedures, and the importance of fluoroscopic dose relative to these survey examination has not thus far been stressed. Doses received by the populace from such exposure will probably gradually increase, necessitating periodic reassessment.

SUMMARY

Using industrial X-ray film on a phantom human and multiple ionization chambers within the phantom, exposure patterns and dose were assessed for conventional and image amplifier closed-circuit television fluoroscopy. Procedures by radiologists and nonradiologists during upper GI series, barium enemas, and chest fluoroscopy were analyzed. Results were expressed in terms of bone marrow integral, gonadal, and surface doses. They demonstrated a wide range in exposure patterns and dose, not only between radiologists and nonradiologists but within each of these two categories of examiners. Mean doses for each of these examiner categories and individual doses per examiner are included.

The results of this study will be used to estimate exposure received by participants in the ABCC-JNIH Adult Health Study, and by members of the populations of Hiroshima and Nagasaki.

たびの調査で若干の装置に後で欠陥が発見されたので、それはそのままとしてX線線束に補正を加えなかった。B病院では装置に不備があって、照射線量を減ずることができなかった。C病院・医師番号4では、細心の注意が払われ、装置の維持状態もじゅうぶんであったため、不必要な照射はいっさい行われなかった。この場合は全部の医師の平均として得られた線量値が、われわれの研究に利用するには最も妥当なものであると考えられた。

日本では、胃の集団検診が頻繁に行なわれるに伴い、イメージ・インテンシファイアーを用いたX線テレビ、ならびにオデルカ・カメラを利用する透視撮影法が普及してきている。しかし、これらは主として通常のスクリーニング検査として撮影部位の位置決定に使用されている程度で、このような検査においては透視による線量の重要性はあまり考慮されていないのが現状である。おそらく、このような照射によって住民が受ける線量はしだいに増加するであろうし、定期的に線量の評価を行なうことが今後必要になるものと思われる。

要 約

人体ファントムの体表に工業用X線フィルムを使用し、また人体ファントム内には多くの電離槽を用いて、現行の透視検査法とX線テレビ透視検査法による照射の分布と被曝線量を決定した。放射線科医、放射線科でない医師により実施された上部胃腸管X線検査、バリウム注腸法検査および胸部透視検査について検討した。測定結果は骨髄積分線量、生殖腺線量および表面線量で示した。放射線科医と放射線科でない医師との2群間に照射の分布および被曝線量に広範な差が認められたばかりでなく、これら2群の各検査医それぞれの間にも大きな差があった。各検査医群による平均被曝線量および1被検者あたりの線量も示した。

この研究の結果は、ABCC-予研成人健康調査対象者、さらに広島および長崎の市民の受けた被曝線量を推定するために用いられる予定である。

REFERENCES

1. YOSHINAGA H, TAKESHITA K, et al: Estimation of exposure pattern and bone marrow and gonadal doses during fluoroscopy. Brit J Radiol 40:344-9, 1967; ABCC TR 7-65
2. Research plan for Joint ABCC-JNIH Adult Health Study in Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 11-62
3. GARRETT R, LAUGHLIN JS: A diagnostic X-ray exposure dose chamber. Health Phys 2:189-94, 1959
4. YOSHINAGA H, IHNO Y, et al: Equipment and techniques in medical X-ray dosimetry studies at ABCC. ABCC TR 29-66
5. RUSSELL WJ, YOSHINAGA H, et al: Active bone marrow distribution in the adult. Brit J Radiol 39:735-9, 1966; ABCC TR 28-64
6. LAUGHLIN JS, MEURK ML, et al: Bone, skin, and gonadal doses in routine diagnostic procedures. Amer J Roentgen 78: 961-82, 1957

参考文献

- (透視検査時の放射線照射の分布および骨髄線量ならびに生殖腺線量の推定)
- (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計画書)
- (診断用X線の線量測定用電離槽)
- (ABCCにおける医療用放射線量測定用の設備と方法)
- (成人における赤色髄分布)
- (通常診断検査法における骨格、皮膚および生殖腺の線量)