

DENTAL ROENTGENOGRAPHIC EXPOSURE  
IN HIROSHIMA AND NAGASAKI

広島・長崎における歯科 X 線被曝

PART 4 CRITICAL ORGAN DOSES

第4報 重要器官の被曝線量

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. 安徳重敏

TAKUJI KIHARA, D.D.S. 木原卓司

WALTER J. RUSSELL, M.D., D.M.Sc.



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 groups, 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 の日米専門職員、顧問、諮問機関ならびに政府および民間の関係諸団体の要求に応ずるための日英両語による公式報告記録であって、業績報告書集は決して通例の誌上発表論文に代わるものではない。

# DENTAL ROENTGENOGRAPHIC EXPOSURE IN HIROSHIMA AND NAGASAKI

広島・長崎における歯科 x 線被曝

## PART 4 CRITICAL ORGAN DOSES

第4報 重要器官の被曝線量

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. 安徳重敏

TAKUJI KIHARA, D.D.S. 木原卓司

WALTER J. RUSSELL, M.D., D.M.Sc.



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  
U.S.A. NATIONAL CANCER INSTITUTE  
U.S.A. NATIONAL HEART AND LUNG INSTITUTE  
U.S.A. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY  
JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH

原 爆 傷 害 調 査 委 員 会

広島および長崎

米国学士院—学術会議と日本国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, 米国癌研究所, 米国心臓・肺臓研究所  
米国環境保護庁および日本国厚生省国立予防衛生研究所  
の研究費による

# ACKNOWLEDGMENT

## 謝 辞

The authors sincerely appreciate the suggestions and criticisms of Drs. Yoshishige Fujiki, Director of Hospital, Gifu Dental College; Daryl R. Beach, Consultant in Dentistry to ABCC; Haruma Yoshinaga, Professor, Faculty of Medicine Kyushu University; and Kenji Takeshita, Professor, Research Institute for Nuclear Medicine and Biology, Hiroshima University throughout this study. They are indebted to Messrs. Masayoshi Mizuno and Shoji Nishio for their technical assistance. They are especially grateful to J. Morita Dental Manufacturing Co. and to the School of Dentistry, Hiroshima University, for providing the dental roentgenographic units used experimentally in this investigation. The assistance of Miss Tomoko Hashimoto in the preparation of the manuscript is gratefully acknowledged.

本調査の実施に当たりご指導とご批判を賜った藤木芳成岐阜歯科大学付属病院長, ABCC 歯科顧問 Daryl R. Beach 博士, 九州大学医学部吉永春馬教授および広島大学原爆放射能医学研究所竹下健児教授に深尽の謝意を表したい。水野正義氏および西尾正二氏の技術的援助にも感謝する。本調査で実験的に用いた歯科X線装置を提供されたモリタ製作所および広島大学歯学部には特にお礼を述べたい。また、原稿作成に協力された橋本朋子氏にも心からの謝意を表する。

# CONTENTS

## 目 次

Summary	要 約 .....	1
Introduction	緒 言 .....	1
Materials and Methods	材料および方法 .....	2
Results	結 果 .....	3
Discussion	考 察 .....	12
References	参考文献 .....	14
Table	1. Dose (mR) to body sites according to teeth examined 検査した歯別の臓器線量 (mR) .....	6
表	2. Bone marrow dose (mR) according to teeth examined 検査した歯別の骨髓線量 (mR) .....	7
	3. Doses (mR) to body sites during bite wing examinations 咬翼X線検査による臓器線量 (mR) .....	7
	4. Doses (mR) to body sites during occlusal examinations 咬合X線検査による臓器線量 (mR) .....	8
	5. Doses (mR) to body sites during orthopantomography. Orthopantomography による臓器線量 (mR) .....	8
	6. Doses (mR) to body sites during cephalometry 頭部X線規格撮影による臓器線量 (mR) .....	9
	7. Doses (mR) to body sites during full mouth roentgenography 全顎X線検査による臓器線量 (mR) .....	10
	8. Doses (mR) to body sites during full mouth roentgenography 全顎X線検査による臓器線量 (mR) .....	10
	9. Male gonad dose (mR) by teeth examined and beam size 男子生殖腺線量 (mR): 検査した歯および線束の大きさ別 .....	11
	10. Mean doses to body sites from dental roentgenography for Hiroshima AHS members 歯科X線検査による臓器の平均線量: 広島, 成人健康調査対象者 .....	11
	11. Mean doses to body sites from dental roentgenography for Nagasaki AHS members 歯科X線検査による臓器の平均線量: 長崎, 成人健康調査対象者 .....	12
Figure	1. Rando phantom Rando ファントム .....	3
図	2. Sites and projections in dental roentgenography 歯科X線検査における検査部位および撮影方向 .....	4
	3. Correlation of doses in roentgens and TLD readings in n Coulomb 線量 (R) と熱ルミネッセンス線量計の値 (n Coulomb) との相関 .....	5

Approved 承認 16 November 1972

## DENTAL ROENTGENOGRAPHIC EXPOSURE IN HIROSHIMA AND NAGASAKI

広島・長崎における歯科X線被曝

### PART 4 CRITICAL ORGAN DOSES

#### 第4報 重要器官の被曝線量

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D.\* (安徳重敏); TAKUJI KIHARA, D.D.S. (木原卓司);  
WALTER J. RUSSELL, M.D., D.M.Sc.

Department of Radiology  
放射線部

#### SUMMARY

Participants in the jointly sponsored ABCC-JNIH Adult Health Study (AHS) under continual observation for late effects of the atomic bombs are also being evaluated for their exposure to contaminating sources of exposure to ionizing radiation. In this study, doses to AHS subjects from dental X-ray examinations were estimated, based on previous patient and hospital surveys, and by exposing phantom humans containing LiF thermoluminescence dosimeters and ionization chambers. Dose tables were compiled according to representative exposure conditions and average doses were estimated at various body sites during dental roentgenography. Dental roentgenography was found to comprise a relatively small segment of the contaminating sources of ionizing radiation exposure among this population. It is to be noted, however, that the increasing use of full mouth examinations bides caution in the future and warrants efforts to improve conditions of exposure including the use of high speed film to minimize doses incurred.

#### INTRODUCTION

While single exposures to ionizing radiation may themselves seem insignificant, they may result in a significant exposure burden to the individual when considered in total and in combination with other sources of ionizing radiation exposure. We were

#### 要 約

原子爆弾の後障害を調べるため、ABCCと予研が共同で継続的観察を行なっている成人健康調査の対象者については、他の電離放射線による被曝に関して評価も行なわれている。本調査では、先に行なった対象者調査および病医院調査に基づき、また LiF 熱ルミネッセンス線量計および電離箱を挿入した人体ファントムに放射線を照射して、成人健康調査対象者が歯科X線検査によって受けた線量の推定を行なった。線量表は代表的な照射条件に基づいて作成し、歯科X線検査における各部位の平均線量を推定した。本調査の対象集団においては、歯科X線検査は電離放射線被曝の汚染源としては比較的小さい割合を占めているにすぎないことが認められた。しかし、全顎X線検査の頻度が増加する傾向にあることから考えて、被曝線量を最小限にとどめるため、高感度フィルムを用いるなど、照射条件を改善するために今後の注意と努力が必要であると考ええる。

#### 緒 言

ある一つの電離放射線源による被曝は、それ自体が有意でない場合でもその他の電離放射線源による被曝を合算すれば、有意な負荷線量となりうるのである。そこで、成人健康調査対象者が受ける電離放射線被曝線量に、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

thus prompted to explore the magnitude of the contribution of medical and dental X-ray to the overall exposure of Adult Health Study (AHS) subjects to ionizing radiation. These investigations of dental X-ray exposure in particular were prompted by the earlier reports of high doses from dental roentgenography in the United States<sup>1</sup> and more recent reports of increased thyroid cancer among survivors who received 50 rad or more from the A-bombs.<sup>2</sup>

The present study was based on three earlier ones devoted to determining the frequency of dental X-ray exposure reported by AHS subjects<sup>3</sup> and subsequently confirmed by dental practitioners,<sup>4</sup> and the technical exposure factors furnished by the responsible examiners.<sup>5</sup> Herein are reported the doses to various body sites during dental roentgenography, as determined by dosimetry using phantom human material.

## MATERIALS AND METHODS

**X-Ray Unit.** The X-ray apparatus used to expose the phantom humans was a conventional dental roentgenographic unit (Type Max-II, J. Morita Dental Manufacturing Co.), rated at 60 kVp, 10 mA, and incorporating a self-rectified transformer. Radiation output of this unit was 109 mR/mas at a 15.5 cm focuscone-tip distance. Its half-value layer was 1.35 mmAl. Two orthopantomographs (a. Type OP-2, Siemens; b. Panex, J. Morita Dental Manufacturing Co.) and one cephalometric unit (Tokyo Engine Kogyo) were used in the dosimetry of some of the dental examinations.

**Dosimeter.** A thermoluminescent dosimeter (TLD) system (Model 2000-TL Analyzer, Harshaw) and LiF powder in 0.5 cm diameter  $\times$  1 cm gelatine capsules were used. To correlate the TLD readings with exposure in mR, Memorial diagnostic X-ray ionization chambers<sup>6,7</sup> were used with a Baldwin-Farmer Type RB electrometer (Baldwin Instrument Co. Ltd). The latter were also used to measure gonad doses.

**Phantom.** The head and neck portions of a Rando phantom (Alderson Research Laboratories) (Figure 1) were altered, with holes accommodating LiF capsules at 15 sites as follows: Right and left lens, right and left lobes of the thyroid gland, pituitary fossa, right and left maxillary sinuses, ethmoid sinus, right and left mandibular notches, right and left angles of mandible, mandible symphysis, cervical spine and skin at centers of exposure fields.

For gonad doses, an additional complete Mix-D phantom human accommodating Memorial ionization chambers at the gonad positions was used.<sup>8</sup>

療用X線検査および歯科X線検査がどの程度線量を寄与するものかを調査することにした。特に、米国において歯科X線検査による被曝線量が高いという過去の報告<sup>1</sup>ならびに50 rad以上の原爆放射線を受けた被爆者に甲状腺癌が増加しているという最近の報告<sup>2</sup>が歯科X線被曝線量に関する調査を実施する動機となった。

今回の調査は、以前に行なった三つの調査をもとに行なったものである。すなわち、成人健康調査対象者が報告した歯科X線検査の頻度に関する調査、<sup>3</sup> その検査を行なった歯科病医院に関する調査、<sup>4</sup> ならびに歯科医が提供した照射条件に関する調査<sup>5</sup>がこれである。本報では、人体ファントムを用いた線量測定によって得られた歯科X線検査による各部位の被曝線量について記述する。

## 材料および方法

**X線装置.** 人体ファントムの照射には、通常の歯科X線装置 (Max II型, モリタ製作所製, 60 kVp, 10 mA, 自己整流トランス) を用いた。この装置の出力は、15.5 cmの焦点-コーン先端距離で 109 mR / mas であった。その半価層は 1.35 mm Al であった。特殊な歯科X線検査の線量推定には、2個の orthopantomograph 装置 (a. OP-2型, Siemens 社製; b. Panex, モリタ製作所製) と1組の頭部X線規格撮影装置 (東京エンジン工業製) を用いた。

**線量計.** 熱ルミネッセンス線量計 (TLD) (2000型 TL 分析器, Harshaw 社製) と 0.5 cm  $\phi$   $\times$  1 cm ゼラチン・カプセル入り LiF 粉末とを用いた。熱ルミネッセンス線量計の測定値と mR 単位の線量との関係は、Memorial 診断X線用電離箱<sup>6,7</sup> と Baldwin-Farmer RB 型電位計 (Baldwin Instrument 社製) とによって求めた。後者は生殖腺線量の測定にも用いた。

**ファントム.** Rando ファントム (Alderson Research Laboratories 製) (図1) の頭部と頸部に変更を加えて、次の15部位に LiF カプセルを入れる穴を設けた: 左右の水晶体, 甲状腺の左右葉, 下垂体窩, 左右の上顎洞, 篩骨洞, 左右の下顎切痕, 左右の下顎角, 下顎結合, 頸椎および照射野の中心部における皮膚。

生殖腺線量については、生殖腺の部位に Memorial 電離箱を入れた全身 Mix-D ファントムを使用した。<sup>8</sup>

FIGURE 1 RANDO PHANTOM

図1 Rando ファントム



The maximum exposure was 400 mas (10 mA, 1 sec., 40 exposures) for each projection. The projections for exposing the phantom are shown in Figure 2.<sup>9</sup>

各撮影の最高曝射は 400 mas (10 mA, 1 秒, 40回照射) とした。ファントム照射の各撮影角度については図 2 に示した。<sup>9</sup>

## RESULTS

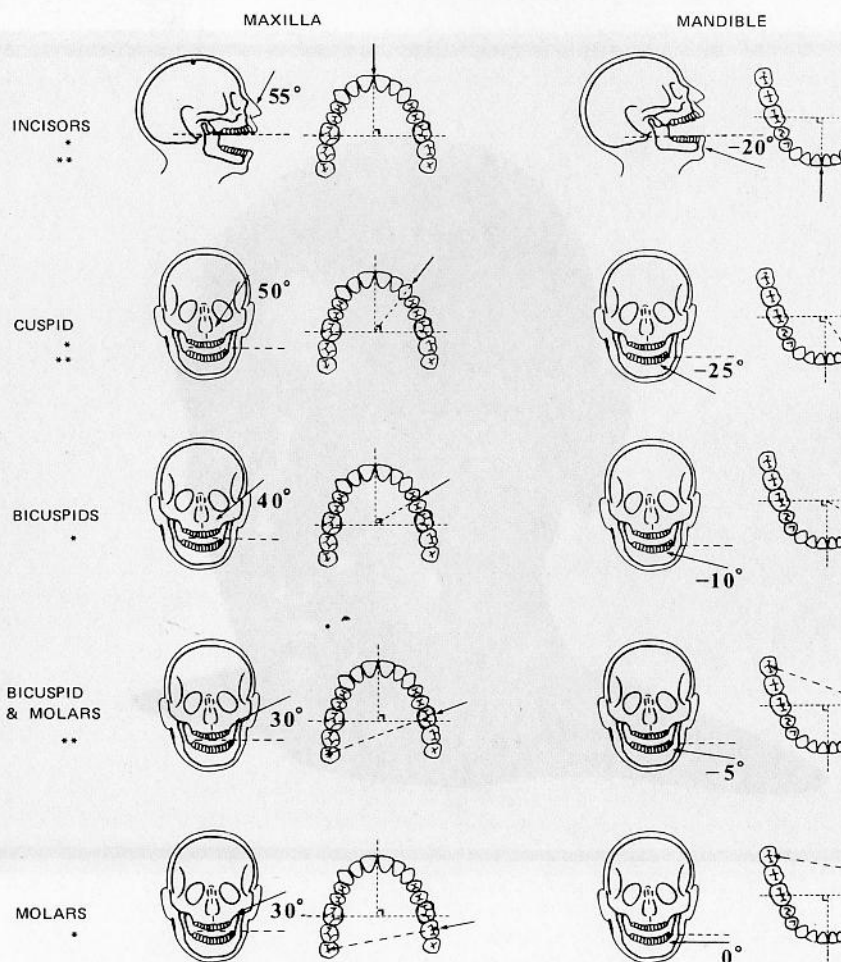
**Phantom Dosimetry.** TLD readings plotted against exposure in mR as measured with the Memorial chambers by depth, X-ray unit, and tube voltage are shown in Figure 3. There were no significant variations in LiF response by depth and tube voltage. Therefore, only one conversion factor from TLD reading to dose was used, regardless of the depths for the 15 sites in the Rando phantom. The LiF was exposed repeatedly utilizing an annealing process. Throughout this study, daily sensitivity changes of the LiF were determined by reference to a standard of  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays.

## 結 果

ファントムによる線量測定. Memorial電離箱によって計測した mR 単位の線量に対する熱ルミネッセンス線量計の値を、深さ、X線装置および管電圧別に図3に示した。LiFの感度は深さおよび管電圧別によって有意の差はみられなかった。したがって、Randoファントムにおける15部位の深さに関係なく、熱ルミネッセンス線量計の測定値を線量に変換するのに一つの変換係数を用いた。また、LiFは焼きなおしすることによって繰り返し使用した。本調査の期間中、 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 線の標準曝射による値を参照しながら LiF の経日の感度変化を測定した。

FIGURE 2 SITES AND PROJECTIONS IN DENTAL ROENTGENOGRAPHY<sup>9</sup>

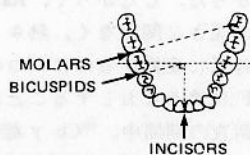
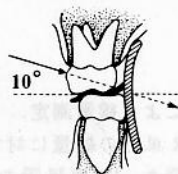
図2 歯科X線検査<sup>9</sup>における検査部位および撮影方向



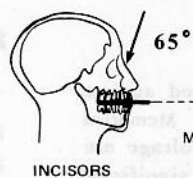
\* Full mouth examination with 14 films.

\*\* Full mouth examination with 10 films.

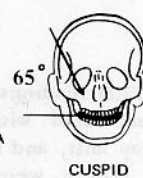
#### BITE WING



#### OCCUSAL



INCISORS



CUSPID



THIRD MOLAR



FLOOR OF MOUTH  
(for Wharton's duct)

FIGURE 3 CORRELATION OF DOSES IN ROENTGENS AND TLD READINGS IN n COULOMB

Detector: TLD 100 LiF

図3 線量 (R) と熱ルミネッセンス線量計の値 (n Coulomb) との相関

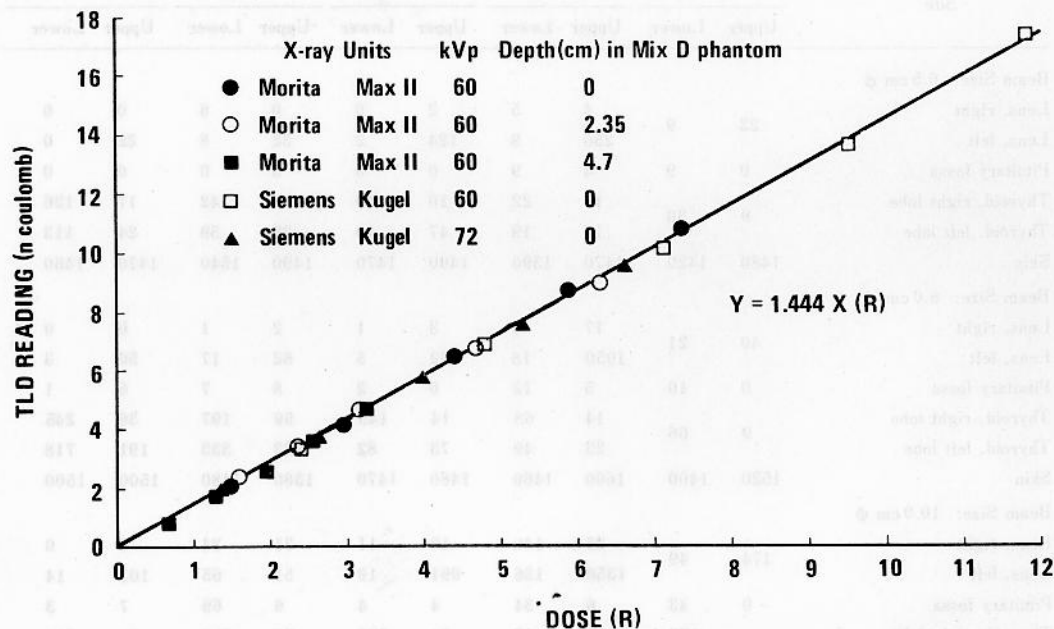


Table 1 shows doses at various body sites according to the tooth examined and beam size. Lens doses by side for the incisor exposures differed more than was anticipated, possibly because of some asymmetry of the phantom and the criticality of positioning the cone tip in relation to body midline, particularly with increasing distances from the surface. Compared to incisor and cuspid examinations, those of the molars incurred greater doses to the thyroid gland, and slightly lower doses to the lens.

Bone marrow doses were estimated, but found to be less than two gram-rad during the exposure of 14 films for a full-mouth examination. By comparison, these 14 exposures incurred a significantly lower bone marrow dose than did one chest roentgenographic examination.<sup>10</sup> The quantity of bone marrow exposed during dental roentgenography is relatively small, according to our estimates.<sup>11</sup> For these reasons, we made no further evaluations of bone marrow dose here. However, for reference purposes, doses to sites in or near bone are shown in Table 2.

Bite wing dose data are shown in Table 3 according to teeth examined and field size. Dose to the thyroid is markedly greater with molar than with either incisor or cuspid projections, and approximates the sum of the latter two.

表1は、検査した歯と照射野別の各部位の被曝線量を示す。切歯照射における水晶体の両側の線量は予想以上に差異があった。これはおそらくファントムがいくらか非対称的であること、および特に表面からの距離の増加に伴い、体の中心線に対するコーン先端の位置のわずかな違いが大きく影響するために起こると考えられる。切歯および犬歯のX線検査に比べ、臼歯のX線検査では甲状腺線量が大きく、水晶体線量は比較的小さかった。

骨髄線量の推定も行なったが、14枚のフィルムによる全顎撮影検査で2 gram-rad未満であった。これら14回の撮影による骨髄線量は1回の胸部X線検査による量よりも少なかった。<sup>10</sup> われわれの推定では、歯科X線検査で照射を受ける骨髄の量は比較的小さなものである。<sup>11</sup> このため骨髄線量の評価は行なわなかった。しかし、参考のため、骨髄または骨周辺部における線量を表2に示した。

表3は、咬翼X線検査による線量を、検査した歯および照射野別に示したものである。臼歯撮影による甲状腺線量は切歯や犬歯の撮影によるよりも著しく大きく、後二者の和に近い。

TABLE 1 DOSES(mR) TO BODY SITES ACCORDING TO TEETH EXAMINED

表1 検査した歯別の臓器線量 (mR)

60 kVp, 10 mAs, FSD 15.5 cm, 0.5 mmAl

Site	Incisors		Left Cuspid		Left Bicuspid		Left Bicuspid & Molars		Molars	
	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower
Beam Size: 6.5 cm $\phi$										
Lens, right	22	9	4	5	2	0	0	6	0	0
Lens, left			250	9	124	2	32	8	22	0
Pituitary fossa	0	9	4	9	0	0	5	0	0	0
Thyroid, right lobe	9	30	16	22	10	40	18	42	17	126
Thyroid, left lobe			14	19	47	40	29	59	24	113
Skin	1480	1420	1470	1390	1490	1470	1490	1540	1470	1460
Beam Size: 8.0 cm $\phi$										
Lens, right	40	21	17	0	3	1	2	1	0	0
Lens, left			1050	18	832	5	62	17	50	3
Pituitary fossa	0	10	5	12	0	2	8	7	5	1
Thyroid, right lobe	9	66	14	68	14	149	59	197	36	245
Thyroid, left lobe			23	49	73	82	232	333	191	718
Skin	1520	1400	1600	1460	1480	1470	1380	1480	1500	1500
Beam Size: 10.0 cm $\phi$										
Lens, right	174	49	25	140	10	11	31	34	2	0
Lens, left			1350	136	991	19	51	65	103	14
Pituitary fossa	0	43	6	34	4	4	6	69	7	3
Thyroid, right lobe	7	132	17	46	24	330	66	310	60	291
Thyroid, left lobe		98	36	58	126	313	368	588	342	875
Skin	1390	1610	1380	1360	1470	1450	1550	1540	1450	1470

Doses from occlusal examinations were based on four projections and three field sizes, and the results are shown in Table 4. Doses to the lens were highest from upper cuspid examinations, due to proximity of the cone to the lens.

Doses to various body sites using two orthopantomographic apparatus are shown in Table 5. Possible explanations for the overall differences lie in the focus-skin distances, field sizes, and milliamperages. In general, the Siemens unit incurred larger doses to all body sites than did the Morita apparatus. Particularly, the Siemens unit resulted in doses to the thyroid gland 7-8 times those with the Morita unit. Dose to the left mandibular notch was approximately 1 rad; while that to its counter-part was approximately one-fourth of this. A possible explanation is that the dosimeter near the left mandibular notch was located in or near an axis for rotation of the central X-ray beam.

Doses to body sites during cephalometry are shown in Table 6. Only one cephalometric unit was studied. The surface dose was approximately one-half that incurred during lateral skull roentgenography using a medical X-ray unit.<sup>10</sup>

咬合検査による線量は、四つの撮影方向および三つの照射野に基づいて推定し、結果は表4に示した。上顎犬歯X線検査による水晶体線量は、コーンの位置が水晶体に近い、最も高い値が得られた。

表5では、2台のorthopantomograph装置を用いて測定した各部位の線量を示す。線量の差異は焦点-皮膚間距離、照射野およびミリアンペア単位の電流によって説明できると考えられる。概して、各部位に与える線量はSiemens装置の方がモリタ製作所装置よりも大きかった。特に、甲状腺についてはSiemens装置は、モリタ装置の7-8倍の線量となっている。左下顎切痕の線量は約1 radであったが、反対側の線量は約その1/4であった。それは左下顎切痕に近い部位の線量計がX線の中心線束の回転軸内または周辺に位置していたためと考えられる。

頭部X線規格撮影による各部位の線量については表6に示した。頭部X線規格撮影は一つの装置についてのみ調査を行なった。表面線量は、医療用X線装置を用いた側面頭蓋X線検査によるものの約1/2であった。<sup>10</sup>

TABLE 2 BONE MARROW DOSE (mR) ACCORDING TO TEETH EXAMINED

表2 検査した歯別の骨髓線量 (mR)

60 kVp, 10 mAs, FSD 15.5 cm, 0.5 mmAl

Sites	Incisors		Left Cuspid		Left Bicuspid & Molars	
	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower
Beam Size: 6.5 cm $\phi$						
Maxillary sinus, right	1	12	15	5	0	6
Maxillary sinus, left			78	16	663	17
Ethmoid sinus	197	38	395	21	10	3
Notch, right	0	21	10	4	0	9
Notch, left			9	9	29	37
Mandible, right angle			20	31	0	24
Mandible, left angle	5	40	21	24	146	303
Mandible	201	335	149	225	46	92
Cervical spine	10	39	22	73	1	57
Beam Size: 8.0 cm $\phi$						
Maxillary sinus, right			11	22	9	4
Maxillary sinus, left	27	41	508	20	668	24
Ethmoid sinus	385	116	575	102	64	8
Notch, right			26	19	40	74
Notch, left	6	30	0	2	220	88
Mandible, right angle			9	32	31	39
Mandible, left angle	22	54	42	119	185	315
Mandible	196	363	143	253	100	113
Cervical spine	9	67	53	120	55	79
Beam Size: 10.0 cm $\phi$						
Maxillary sinus, right	17	186	17	33	6	29
Maxillary sinus, left			506	255	735	333
Ethmoid sinus	413	273	500	305	81	117
Notch, right	0	28	11	33	0	10
Notch, left			24	34	243	393
Mandible, right angle			0	32	5	46
Mandible, left angle	23	73	37	85	180	445
Mandible	191	398	169	275	120	130
Cervical spine	16	75	10	84	33	129

TABLE 3 DOSES (mR) TO BODY SITES DURING BITE WING EXAMINATIONS

表3 咬翼X線検査による臓器線量 (mR)

60 kVp, FSD 15.5 cm, 0.5 mmAl, Film FUJI KX

Site	Incisor			Left Bicuspid			Left Molars		
	6.5cm $\phi$ , 5 mAs	8.0cm $\phi$ , 5 mAs	10.0cm $\phi$ , 5 mAs	6.5cm $\phi$ , 8 mAs	8.0cm $\phi$ , 8 mAs	10.0cm $\phi$ , 8 mAs	6.5cm $\phi$ , 8 mAs	8.0cm $\phi$ , 8 mAs	10.0cm $\phi$ , 8 mAs
Lens, right	6	6	16	1	1	1	0	1	2
Lens, left				8	17	37	6	13	30
Pituitary fossa	2	2	5	2	0	0	2	3	5
Thyroid, right lobe				13	37	118	32	84	126
Thyroid, left lobe	11	51	94	20	30	138	31	62	365
Skin	735	735	750	1170	1190	1180	1170	1190	1170

TABLE 4 DOSES (mR) TO BODY SITES DURING OCCLUSAL EXAMINATIONS

表4 咬合X線検査による臓器線量 (mR)

60 kVp, FSD 15.5 cm, 0.5 mmAl, Film FUJI KX

Site	Upper Incisors			Left Upper Cuspid		
	6.5cm $\phi$ , 8mAs	8.0cm $\phi$ , 8mAs	10.0cm $\phi$ , 8mAs	6.5cm $\phi$ , 12mAs	8.0cm $\phi$ , 12mAs	10.0cm $\phi$ , 12mAs
Lens, right				1	14	13
Lens, left	52	237	626	1840	1680	1600
Pituitary fossa	4	3	8	2	10	6
Thyroid, right lobe				3	9	15
Thyroid, left lobe	5	6	10	8	11	13
Skin	1180	1170	1060	1680	1790	1790

Site	Floor of the Mouth			Left Lower 3rd Molar		
	6.5cm $\phi$ , 8mAs	8.0cm $\phi$ , 8mAs	10.0cm $\phi$ , 8mAs	6.5cm $\phi$ , 12mAs	8.0cm $\phi$ , 12mAs	10.0cm $\phi$ , 12mAs
Lens, right	9	10	10	0	0	3
Lens, left	8	12	12	45	54	964
Pituitary fossa	1	4	16	26	21	32
Thyroid, right lobe	23	54	197	23	32	73
Thyroid, left lobe	21	46	131	170	667	1130
Skin	1140	1170	1180	1750	1790	1790

TABLE 5 DOSES (mR) TO BODY SITES DURING ORTHOPANTOMOGRAPHY

表5 Orthopantomography による臓器線量 (mR)

Site	Siemens (Type OP-2)*	Morita "Panex"***
Lens, right	7	14
Lens, left	6	12
Pituitary fossa	30	31
Thyroid, right lobe	320	42
Thyroid, left lobe	283	44
Maxillary sinus, right	14	7
Maxillary sinus, left	16	9
Ethmoid sinus	17	6
Notch, right	220	97
Notch, left	991	79
Mandible, right angle	91	58
Mandible, left angle	158	75
Mandible, symphysis	26	6
Cervical spine	169	21
Skin, right molar	30	4
Skin, left molar	46	8
Skin, right bicuspid	13	7
Skin, left bicuspid	15	4
Skin, lip	10	2
Skin, neck (back)	210	14

Technique used:

\* Siemens — 85 kVp, FFD 50 cm, Beam size 1 cm  $\times$  15 cm, 12 sec, 15 mA, Film SAKURA New Y Type.\*\* Morita — 90 kVp, FFD 73.8 cm, Beam size 0.5 cm  $\times$  23 cm, 23 sec, 3.5-13.5 mA, Film FUJI KX.

TABLE 6 DOSES (mR) TO BODY SITES DURING CEPHALOMETRY \*

表6 頭部X線規格撮影\*による臓器線量(mR)

FFD 165 cm, 120 kVp, 11.8 mAs, Output 85 mR/mAs at 100 cm From Focal Spots, Film SAKURA New Y Type

Site	Dose (mR/exposure)
Lens, right	6
Lens, left	45
Pituitary fossa	17
Thyroid, right lobe	26
Thyroid, left lobe	39
Skin	56
Maxillary sinus, right	14
Maxillary sinus, left	36
Ethmoid sinus	30
Notch, right	11
Notch, left	39
Mandible, right angle	19
Mandible, left angle	43
Mandible, symphysis	12
Cervical spine	8

\* Tokyo Engine Kogyo Apparatus

Doses at various body sites by full mouth dental X-ray examinations according to tooth examined and three beam sizes are shown in Table 7. Though doses to some sites did not increase notably by field size, those to the thyroid gland and lens did. Skin dose was not proportional to increasing field sizes because the concept of surface area was not considered.

Table 8 shows doses to body sites from full-mouth roentgenography, including bite wing exposures. Skin dose represents the sum of the surface doses from all exposures. With 18 films, thyroid doses using 6.5 and 8 cm field sizes were 0.5 and 1.5 R, with a 10.0 cm field size, more than 3 R. Lens doses were generally of nearly the same magnitude as thyroid doses.

Male gonad doses are shown in Table 9 for two examinations according to beam size. Male gonad doses for examinations of other teeth, and female gonad doses for all examinations were not detectable.

Application of the Dose Table to AHS Subjects. Technical factors for dental roentgenography varied between Hiroshima and Nagasaki, and among the hospitals and clinics. It was assumed that patients' doses increase linearly with increasing mas, and that they are inversely proportional to the square of the distance from the focal spot. The teeth examined

表7は、全顎歯科X線検査による各部位の線量を、検査した歯および照射野別に示している。照射野の大きさによって線量がさほど増加しない部位もあるが、甲状腺および水晶体の線量は相当増加した。皮膚線量は面積線量としては表わしてないので照射野の大きさに比例しなかった。

表8は、咬翼法を含む全顎X線検査による各部位の線量を示す。皮膚線量は、すべての撮影による表面線量の和を表わしている。18枚のフィルム撮影法では、6.5 cmおよび8 cm大の照射野で、甲状腺線量は0.5 および 1.5 Rであり、10.0 cm大の照射野では3 R以上であった。水晶体の線量は、甲状腺線量とほとんど同じであった。

表9では、二つの検査による男子生殖腺線量を線束の大きさによって示した。その他の歯の検査における男子生殖腺線量および全検査における女子生殖腺線量は検出できなかった。

成人健康調査対象者への線量表の適用。歯科X線検査の技術的条件は、広島と長崎、病院と医院とでは異なっていた。被検者の被曝線量はmasに比例し、焦点からの距離の2乗に逆比例するものと仮定して線量表を適用した。歯の検査部位は、歯科病医院調査で定めた技法に

TABLE 7 DOSES (mR) TO BODY SITES DURING FULL MOUTH ROENTGENOGRAPHY\*

表7 全顎X線検査\*による臓器線量 (mR)

60 kVp, FSD 15.5 cm, 0.5 mmAl, Film FUJI KX or SAKURA New Y Type

Site	Incisor		L-Cuspid		L-Bicuspids		Molars		Total 95 mAs
	Upper 4 mAs	Lower 3 mAs	Upper 6 mAs	Lower 5 mAs	Upper 8 mAs	Lower 7 mAs	Upper 10 mAs	Lower 8 mAs	
Beam Size:6.5 cm $\phi$									
Lens, right	9	3	2	2	1	0	0	0	23
Lens, left			150	5	99	2	22	0	567
Pituitary fossa	0	3	2	4	0	0	0	0	16
Thyroid, right lobe	3	9	10	11	8	28	17	101	362
Thyroid, left lobe			9	9	37	28	24	90	406
Skin	592	426	882	695	1190	1030	1470	1170	13890
Beam Size:8.0 cm $\phi$									
Lens, right	16	6	10	0	2	1	0	0	46
Lens, left			630	9	666	4	50	2	2750
Pituitary fossa	0	3	3	6	0	1	5	1	34
Thyroid, right lobe			9	34	11	104	36	196	805
Thyroid, left lobe	3	20	14	25	58	58	191	574	1860
Skin	608	420	960	730	1180	1030	1500	1200	14230
Beam Size:10.0 cm $\phi$									
Lens, right			15	70	8	8	2	0	290
Lens, left	70	15	810	69	793	13	103	11	3680
Pituitary fossa	0	13	4	17	3	3	7	2	84
Thyroid, right lobe			10	23	20	231	<del>596</del> 60	233	2270
Thyroid, left lobe	3	35	22	29	101	219	342	700	2860
Skin	556	483	828	680	1180	1020	1450	1180	13720

\* 14 films; bite wing excluded

TABLE 8 DOSES (mR) TO BODY SITES DURING FULL MOUTH ROENTGENOGRAPHY

表8 全顎X線検査による臓器線量 (mR)

60 kVp, FSD 15.5 cm, 0.5 mmAl, Film FUJI KX or SAKURA New Y Type

Site	14 Films* 95 mAs			16 Films** 111 mAs			18 Films*** 127 mAs		
	6.5 cm $\phi$	8.0 cm $\phi$	10.0 cm $\phi$	6.5 cm $\phi$	8.0 cm $\phi$	10.0 cm $\phi$	6.5 cm $\phi$	8.0 cm $\phi$	10.0 cm $\phi$
Lens	295	1400	1990	304	1410	2020	311	1430	2060
Pituitary fossa	16	34	84	20	35	84	24	40	95
Thyroid, lobe	384	1330	<del>2220</del> 2570	418	1400	<del>2280</del> 2280	481	1550	<del>2270</del> 2320
Skin	13890	14230	13720	16230	16610	16080	18990	18990	18420

\* No bite wing

\*\* 2 bicuspid bite wing

\*\*\* 2 bicuspid; 2 molar bite wing

TABLE 9 MALE GONAD DOSE (mR) BY TEETH EXAMINED AND BEAM SIZE

表9 男子生殖腺線量 (mR): 検査した歯および線束の大きさ別

60 kVp, 10 mAs, FSD 15.5 cm, 0.5 mmAl

Site	Beam Size (cm $\phi$ )		
	6.5	8	10
Upper incisors	0.10	0.12	-
Upper left cuspid	0.02	-	0.05

Doses were measured using Memorial Ionization Chambers and Baldwin-Farmer (Type RB) Electrometer and Mix-D Phantom Human<sup>8</sup>

TABLE 10 MEAN DOSES TO BODY SITES FROM DENTAL ROENTGENOGRAPHY FOR HIROSHIMA ADULT HEALTH STUDY MEMBERS

表10 歯科X線検査による臓器の平均線量: 広島, 成人健康調査対象者

Site	Dose (mR) by Tooth Examined						
	U-Incisors	L-Incisors	U-Cuspid	L-Cuspid	U-Bicuspid & Molars	L-Bicuspid & Molars	
<i>Exposures</i>	78	39	83	71	127	140	Total 538
Lens, right	43 $\pm 86$	7 $\pm 1$	9 $\pm 9$	11 $\pm 19$	2 $\pm 3$	1 $\pm 2$	
Lens, left	41 $\pm 71$	7 $\pm 10$	382 $\pm 829$	16 $\pm 26$	115 $\pm 181$	6 $\pm 10$	
Lens, average	42 $\pm 72$	7 $\pm 11$	196 $\pm 494$	14 $\pm 22$	59 $\pm 92$	4 $\pm 5$	
Pituitary fossa	1 $\pm 1$	3 $\pm 4$	2 $\pm 2$	6 $\pm 8$	4 $\pm 5$	3 $\pm 4$	
Thyroid, right lobe	2 $\pm 3$	23 $\pm 33$	7 $\pm 7$	11 $\pm 14$	18 $\pm 23$	50 $\pm 72$	
Thyroid, left lobe	2 $\pm 4$	20 $\pm 26$	20 $\pm 23$	15 $\pm 17$	68 $\pm 101$	105 $\pm 166$	
Thyroid, average	2 $\pm 8$	22 $\pm 30$	13 $\pm 15$	13 $\pm 16$	44 $\pm 60$	77 $\pm 119$	
Skin	472 $\pm 376$	519 $\pm 542$	721 $\pm 563$	634 $\pm 636$	774 $\pm 842$	803 $\pm 752$	

are according to techniques established by clinic surveys.<sup>4</sup> Concerning beam size variations, doses for beam sizes other than those in Table 1 were obtained by interpolation. We corrected differences in radiation output between X-ray apparatus used in both cities and that used in the phantom dosimetry. The technical factors used and radiation output and quality determinations have been reported elsewhere.<sup>5</sup>

The mean doses to various body sites from dental roentgenography are shown in Tables 10 and 11. As indicated by the standard deviations, relatively large variations were observed. The doses shown are from exposures of one side only.

従った.<sup>4</sup> 表1のもの以外の大きさの線束による線量は内挿によって求めた。両市で用いられたX線装置と、今回ファントム線量測定に用いた装置との放射線出力の差については補正を行なった。用いられた技術的条件、放射線出力および線質の測定については、別に報告した。<sup>5</sup>

表10および11では、歯科X線検査による各部位の平均線量を示した。標準偏差値が示すように、比較的大きな差異が認められた。ここに示した線量は、一側方向のみからの撮影によるものである。

TABLE 11 MEAN DOSES TO BODY SITES FROM DENTAL ROENTGENOGRAPHY FOR NAGASAKI ADULT HEALTH STUDY MEMBERS

表11 歯科X線検査による臓器の平均線量：長崎，成人健康調査対象者

Site	Dose (mR) by Tooth Examined						Total 132
	U-Incisors	L-Incisors	U-Cuspid	L-Cuspid	U-Bicuspid & Molars	L-Bicuspid & Molars	
<i>Exposures</i>	19	10	19	20	27	37	
Lens, right	25 ±23	3 ±3	5 ±3	4 ±4	2 ±2	1 ±0	
Lens, left	24 ±21	3 ±2	253 ±145	6 ±6	79 ±110	4 ±5	
Lens, average	24 ±22	3 ±3	132 ±74	5 ±5	40 ±57	2 ±3	
Pituitary fossa	0	3 ±3	2 ±1	4 ±2	3 ±3	2 ±1	
Thyroid, right lobe	2 ±1	13 ±9	5 ±3	8 ±3	19 ±17	24 ±19	
Thyroid, left lobe	2 ±1	13 ±9	14 ±7	10 ±4	53 ±59	50 ±42	
Thyroid, average	2 ±1	13 ±9	10 ±5	9 ±4	36 ±37	37 ±30	
Skin	435 ±193	567 ±530	552 ±369	467 ±186	691 ±526	559 ±336	

## DISCUSSION

Though less sensitive to radiation than ionization chambers, LiF detectors are suitable for measuring dose from dental X-ray examinations because they are small and relatively independent of radiation energy.<sup>12</sup> Sizes of dosimeters for dental X-ray examinations are critical because of the small fields used. Accuracy of the thermoluminescent dosimeters was within 5%. However, considering variations in output of the dental X-ray unit per exposure, and the difficulty in reproducibility of the experimental arrangements, such as projection angles, the errors in this study approximated 10%. As shown in Table 1, skin doses should have been the same for all examinations but the standard deviations for the skin doses were within 5%. For other than skin doses, the errors may have been more than 5%. Takaki et al<sup>13</sup> have reported that doses per exposure from dental roentgenography in Japan ranged 300-5000 mR to the skin, 100-1000 mR to the eyes, 0.2-1.0 mR to the male gonads and 0.04-0.15 mR to the female gonads. According to Kitabatake et al,<sup>14</sup> these were 10-1000 mR for the eyes and 500 mR for the thyroid gland. In general, the doses we obtained by phantom dosimetry were less than the above values and gonad doses in this study were much lower than those reported by other investigators.<sup>15-19</sup>

## 考 察

LiF は、電離箱よりも放射線に対する感度は低い、形も小さく、エネルギー依存性が比較的小さいので、<sup>12</sup> 歯科X線検査による線量の測定に適している。歯科X線検査では照射野が小さいため、用いる線量計が小型であることが絶対条件となる。熱ルミネッセンス線量計の精度は5%未満であった。しかし、歯科X線装置の1照射当たり出力の差、ならびに照射角など実験状態の再現が困難であることなどから、本調査における誤差は約10%であった。表1に示すように、皮膚線量はいずれの検査の場合も同一であるはずであるが、皮膚線量の標準偏差は5%未満であった。皮膚線量以外については、5%以上の誤差が考えられる。高木ら<sup>13</sup>は、日本における歯科X線検査の1照射当たり線量は、皮膚に300-5000 mR、眼に100-1000 mR、男子生殖腺に0.2-1.0 mR、女子生殖腺に0.04-0.15 mRであったと報告している。北畠ら<sup>14</sup>によれば、これらは眼では10-1000 mR、甲状腺では500 mRとされている。概して、ファントム線量測定で得られた線量は上記の値より少なく、本調査における生殖腺線量は他の研究者ら<sup>15-19</sup>が報告したものより低かった。

Some increase in film speeds and the better collimation in newer X-ray units may have been responsible for the current lower doses.

The gonad doses we obtained were comparable to those of Ardran and Crooks<sup>20</sup> who reported 0.008 mR per film for males and 0-0.0007 mR per film for females. They described the average gonad dose as no more than 0.008 mR per film, using well-designed X-ray apparatus. According to a UN Report,<sup>21</sup> contribution of dental X-ray examinations to the annual genetically significant dose was 0.01-0.15 mrem, while that of medical X-ray examinations was about 30 mrem. For future estimates of genetically significant doses, dental exposure is therefore negligible compared to medical and other exposure sources.

Recently reported doses from full mouth X-ray examinations ranged from 5-60 R to the skin, 80-1500 mR to the lens and 50-900 mR to the thyroid.<sup>17-19,22,23</sup> These full mouth doses are sums of doses from all exposures during a single full mouth examination. Similarly determined, our values for these sites were 14-18 R, 300-2000 mR and 400-3300 mR respectively, depending on beam size, and numbers of films used (Table 8). These results confirmed the need for well-collimated X-ray beams to minimize doses to these organs.

We encountered wide variations in technical factors used in dental roentgenography.<sup>4,5</sup> Applying dose data obtained by phantom dosimetry, the doses estimated for community dental institutions showed large standard deviations. The minimum and maximum skin doses per exposure were 100 mR and 3300 mR, respectively. Though we did not determine the exact reason of the large differences, they may have been due to improper exposure factors and film processing. According to Bushong et al,<sup>24</sup> the average thyroid dose during full mouth examinations among 55 patients, using LiF ribbons attached to the patients, intermediate speed film, and 65 kVp, was 0.37 R. Using ultra-speed film and higher kVp, this dose was reduced by a factor of 5 to 8. The average thyroid dose in the majority of Hiroshima and Nagasaki dental offices using intermediate speed film and 60 kVp, was 0.38 R based on the data in Tables 10 and 11. Doses from Hiroshima and Nagasaki examinations are not considered sufficiently high to cause bias in studies of late effects among A-bomb survivors, primarily because relatively few full mouth X-ray examinations were conducted.<sup>25</sup> However, since recent revisions in dental health insurance programs<sup>26</sup> permit greater numbers of projections per examination, the frequency of full mouth examinations is gradually increasing,<sup>27</sup> underscoring the need for greater efforts toward dose reduction.

フィルムの感度が高くなり、新しいX線装置では照射野の絞りが改善されているために、本調査の線量が低いかもしれない。

われわれが得た生殖腺線量は、Ardran および Crooks<sup>20</sup> が、男でフィルム当たり 0.008 mR、女でフィルム当たり 0-0.0007 mR と報告したものと近似していた。かれらは完備したX線装置では、平均生殖腺線量はフィルム当たり 0.008 mR を超えないと述べている。国連の報告<sup>21</sup>によれば、歯科X線検査が年間遺伝有意線量に寄与する量は 0.01-0.15 mrem であるが、医療用X線検査の場合は約 30 mrem である。したがって、将来遺伝有意線量の推定を行なう場合には、歯科X線照射は医療用および他の照射源に比べて無視することができる。

最近報告されている全顎X線検査による線量は、皮膚では 5-60 R、水晶体では 80-1500 mR、甲状腺では 50-900 mR の範囲にある。<sup>17-19,22,23</sup> これらの線量は、1回の全顎X線検査における全照射線量の和である。同様な方法で算定した場合、これらの部位に対するわれわれの線量値は、線束の大きさおよび使用したフィルム枚数によって違うが、それぞれ 14-18 R、300-2000 mR および 400-3300 mR の範囲にあった(表8)。これらの結果は、これらの臓器線量を最小限にとどめるには、X線を十分に絞る必要のあることを示すものである。

歯科X線検査に用いられた技術的条件には大幅な差異のあることが認められた。<sup>4,5</sup> ファントム線量測定から得た線量資料を適用した時、地元の歯科病医院についての推定線量には大きな標準偏差のあることが認められた。1照射当たりの最小および最大の皮膚線量は、それぞれ 100 mR および 3300 mR であった。今回はその大きな差異の正確な理由については究明しなかったけれども、不適切な照射条件およびフィルム処理に原因があるのかもしれない。Bushong ら<sup>24</sup>によれば、患者に LiF リボンをはりつけ、中感度のフィルムならびに 65 kVp を用いた場合、55人の患者に対して行なわれた全顎X線検査による平均甲状腺線量は 0.37 R と報告されている。高感度フィルムおよびより高い kVp を用いた場合、この線量は  $\frac{1}{5}$  -  $\frac{1}{8}$  に減少した。中感度のフィルムおよび 60 kVp を用いた広島・長崎の歯科病医院の大半における平均甲状腺線量は、表10および11の資料をもとにした時、0.38 R であった。広島と長崎における検査による線量は、原爆被爆者における後影響の調査に偏りを導入するほど高いものではないと考えられた。これは特に全顎X線検査が比較的少ないためである。<sup>25</sup> しかし、最近、歯科健康保険制度<sup>26</sup>に改訂があって以来、全顎X線検査の頻度が徐々に増加している<sup>27</sup>ので、被曝線量減少への努力を強めることが望まれる。

## REFERENCES

### 参考文献

1. NOLAN WE: Radiation hazards to the patient from oral roentgenography. JADA 47:681-4, 1953
2. SAMPSON RJ, KEY CR, BUNCHER CR, ILJIMA S: Thyroid carcinoma in Hiroshima and Nagasaki. JAMA 209:65-70, 1969
3. KIHARA T, ANTOKU S, FUJITA S, BEACH DR, RUSSELL WJ: Dental roentgenographic exposure in Hiroshima and Nagasaki. Part 1. Subject survey. ABCC TR 5-72
4. KIHARA T, ANTOKU S, FUJITA S: Dental roentgenographic exposure in Hiroshima and Nagasaki. Part 2. Hospital and clinic survey. ABCC TR 24-72
5. ANTOKU S, KIHARA T, FUJITA S, MIZUNO M, NISHIO S: Dental roentgenographic exposure factors in Hiroshima and Nagasaki. Part 3. Survey of exposure factors. ABCC TR 6-72
6. GARRETT R, LAUGHLIN JS: A diagnostic X-ray exposure dose chamber. Health Phys 2:189-94, 1959
7. ANTOKU S, RUSSELL WJ, MIZUNO M, SUGA Y: Memorial ionization chambers construction and response. Health Phys 23:559-63, 1972
8. YOSHINAGA H, IHNO Y, RUSSELL WJ, ANTOKU S, MIZUNO M: Equipment and techniques in medical X-ray dosimetry studies at ABCC. ABCC TR 29-66
9. 古本啓一, 東 典光: 歯科ハンドブック手技編. 東京, 文京書院, 第1版, 1970年  
(FURUMOTO K, HIGASHI Y: Dental Handbook. Manual Technique. Tokyo, Bunkyo-shoin, 1st Ed., 1970)
10. ANTOKU S, RUSSELL WJ: Dose to the active bone marrow, gonads, and skin from roentgenography and fluoroscopy. Radiology 101: 669-78, 1971
11. RUSSELL WJ, YOSHINAGA H, ANTOKU S, MIZUNO M: Active bone marrow distribution in the adult. Br J Radiol 39:735-9, 1966
12. CAMERON JR, ZIMMERMAN D, KENNEY G, BUCH R, BLAND R, GRANT R: Thermoluminescent radiation dosimetry utilizing LiF. Health Phys 10:25-29, 1964
13. 高木芳雄, 北畠 隆, 金子昌生, 河合 男: 歯科X線撮影時における患者および術者のX線被曝線量の測定. 日本口腔科学会雑誌 9: 503-12, 1960年  
(TAKAKI Y, KITABATAKE T, KANEKO M, KAWAI D: Exposure to patient and dentist in dental roentgenography. J Jap Stomatol Soc - Nippon Koko Ka Gakkai Zasshi)
14. KITABATAKE T, KANEKO M, TAKAGI Y, KAWAI D: Radiation dose in dental roentgenography with special reference to enlargement dental radiography. Nagoya J Med Sci 24:234-41, 1962
15. STANFORD RW, VANCE J: The quantity of radiation received by the reproductive organs of patients during routine diagnostic X-ray examination. Br J Radiol 28:266-73, 1955
16. ETTER LE, SIDHU SS, CROSS LC: Radiation dose reduction in dental roentgenography. Am J Roentgenol 80:926-32, 1958
17. RICHARDS AG: Roentgen-ray doses in dental roentgenography. JADA 56:351-68, 1958
18. BJARNGARD B, HOLLENDER L, LINDAHL B, SONESSON A: Radiation doses in oral radiography; 1. Measurements of doses to gonads and certain parts of head and neck during full mouth roentgenography. Odontologisk Revy 10:355-66, 1959
19. BJARNGARD B, HOLLENDER L, LINDAHL B, SONESSON A: Radiation doses in oral radiography; II. The influence of technical factors on the doses to the patient in full mouth roentgenography. Odontologisk Revy 11:100-12, 1960
20. ARDRAN GM, CROOKS HE: Observations on the dose from dental X-ray procedures with a note on radiography of the nasal bones. Br J Radiol 32:572-83, 1959
21. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations. General Assembly, Official Records, Seventeenth Session Supplement No. 16 (A/5216), New York, 1962
22. BAILY NA: Patient exposure to ionizing radiation in dental radiography. Radiology 69:42-5, 1957
23. RICHARDS AG, WEBBER RL: Dental X-ray exposure of sites within the head and neck. Oral Surg 18:752-6, 1964

24. BUSHONG SC, GALBREATH JC, GARRIS R, MERRITT E: Reduction of patient exposure during dental radiography. Health Phys 21:281-4, 1971
25. RUSSELL WJ, KIHARA T, SAWADA S: Trends in dental roentgenography, Hiroshima and Nagasaki. ABCC RP 7-71
26. 厚生省通達番号 177, 1958年6月30日. 厚生省保険局医務課長通達, 保険発 139, 1958年10月20日  
(Notification No. 177, Japanese Ministry of Health and Welfare, June 30, 1958; Notice from Chief, Medical Care Section, Insurance Bureau, Ministry of Health and Welfare, Hokenhatsu 139, Oct 20, 1958)
27. 厚生大臣官房統計調査部: 社会医療調査報告, 1968年, 1969年, 1970年  
(Health and Welfare Statistics Department, Secretariat of the Minister of Health and Welfare: Social Medical Treatment Survey Reports 1968, 1969, 1970)