

DENTAL ROENTGENOGRAPHIC EXPOSURE
IN HIROSHIMA AND NAGASAKI

広島・長崎における歯科X線被曝

PART 5. ORAL ROENTGENOGRAPHIC IMAGES AND DOSES TO PATIENTS ACCORDING
TO KILOVOLTAGE, MILLIAMPERAGE, AND FILM

第5報 電圧、電流、フィルムによる口内X線撮影の画像と
患者の被曝線量との関係

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. 安徳重敏
WALTER J. RUSSELL, M.D., D.M.Sc.
DARYL R. BEACH, D.M.D.
TAKUJI KIHARA, D.D.S. 木原卓司



RADIATION EFFECTS RESEARCH FOUNDATION
財団法人 放射線影響研究所

A cooperative Japan - United States Research Organization
日米共同研究機関

ACKNOWLEDGMENT

謝 辞

The authors greatly appreciate the cooperation of Drs. Masao Aono and Hideo Tashiro, Kyushu University; Dr. Nobumasa Sato, Kyushu Dental College; Drs. Kazuhiko Imai, Kiyoshi Uchinoumi, Motoyasu Yasumoto, Tomonori Yamamoto, Yoshinobu Miyoshi and Masahiro Ehara, Osaka Dental University; Drs. Takuro Wada and Shusaburo Uemura, Osaka University Dental School; and Dr. Akira Yamamoto, Tsurumi University. We are grateful to the dental officers of the Dental Dispensary, U.S. Marine Corps Air Station, Iwakuni; the Navy Dental Clinic, U.S. Fleet Activities, Yokosuka; and the Dental Dispensary, U.S. Air Force Base, Yokota for their assistance by interpreting the oral radiographs used in this study. And, we are indebted to the J. Morita Dental Manufacturing Company Limited for providing the experimental X-ray apparatus. Messrs. Masayoshi Mizuno and Shoji Nishio are thanked for their technical assistance, and Mrs. Grace Masumoto for her assistance in preparing this manuscript.

御協力いただいた九州大学青野正男, 田代英雄両教授; 九州歯科大学佐藤信正教授; 大阪歯科大学今井一彦講師及び内海 潔, 安本元康, 山本知則, 三好慶信, 江原昌弘の諸先生; 大阪大学歯学部和田卓郎助教授及び上村修三郎講師; 並びに鶴見大学山本昭助教授に深甚の謝意を表す。本調査に使用した口内X線写真の判読に協力された米海兵隊岩国航空基地歯科診療所, 米海軍横須賀基地歯科診療所, 及び米空軍横田基地歯科診療所の各歯科医にも謝辞を述べたい。また, 実験用X線装置を提供されたモリタ製作所に深謝する。最後に, 技術協力された水野正義, 西尾正二両氏, 並びに原稿作成に御援助いただいた舩本幸江氏の労も多としたい。

RERF TECHNICAL REPORT SERIES

放射線影響報告書集

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

放射線影響報告書は, 日米専門職員, 顧問, 諮問機関の要求に応えるための日英両語による公式報告記録である。業績報告書は決して通例の誌上発表論文に代わるものではない。

The Radiation Effects Research Foundation (formerly ABCC) was established in April 1975 as a private nonprofit Japanese Foundation, supported equally by the Government of Japan through the Ministry of Health and Welfare, and the Government of the United States through the National Academy of Sciences under contract with the Department of Energy.

放射線影響研究所(元ABCC)は, 昭和50年4月1日に公益法人として発足した。その経費は日米両政府の平等分担とし, 日本は厚生省の補助金, 米国はエネルギー省との契約に基づく米国学士院の補助金とをもって充てる。

**DENTAL ROENTGENOGRAPHIC EXPOSURE
 IN HIROSHIMA AND NAGASAKI**

広島・長崎における歯科 X 線被曝

**PART 5. ORAL ROENTGENOGRAPHIC IMAGES AND DOSES TO PATIENTS
 ACCORDING TO KILOVOLTAGE, MILLIAMPERAGE, AND FILM**

 第 5 報 電圧、電流、フィルムによる口内 X 線撮影の画像と
 患者の被曝線量との関係

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

Department of Radiology
 放射線部

SUMMARY

A phantom human jaw constructed of Mix-D material and containing a human mandible, with simulated caries, amalgam restorations, and other deformities in the teeth encountered in clinical dentistry, was radiographed using various kVp, mAs, and X-ray films. The radiographs were assessed by 12 Japanese and 12 American dentists. An altered Rando phantom was used to measure doses to critical organs according to the various exposure parameters.

Most of the participating American and Japanese dentists selected as diagnostically best, Kodak Ultra-Speed radiographs exposed at 50 kVp. Three of eight Japanese dentists opined that radiographs exposed to 90 kVp X-rays were unsatisfactory in that they did not provide the diagnostic information present on the films exposed at 50 kVp. Relatively high (90) kVp techniques incur less surface doses. However, the results of this study suggested that, with high kVp techniques, some important diagnostic information may be missed. The relatively low kVp techniques incur greater surface doses, but appear to provide more diagnostic information for the practicing dentist.

要 約

臨床歯科で認められるう歯、アマルガム充填、その他の歯の異常をもつ Mix-D 製の下顎ファントムを種々の kVp, mAs 及び X 線フィルムを用いて X 線撮影を行った。日本人歯科医師 12 人及び米国人歯科医師 12 人に各 X 線写真について評価を求めた。改造されたランドファントムを使用して、それぞれの撮影条件に応じて決定臓器の線量測定を行った。

日米歯科医師の大部分は、50kVp で撮影された Kodak Ultra-Speed フィルムによる画像が最もよいと選定した。8 人の日本人歯科医師中の 3 人が、90kVp で撮影したものは 50kVp で撮影した場合に認められる診断情報が得られないという点で不十分であると結論した。比較的高い kVp 値 (90) を使用する技法では皮膚線量は少ない。しかし、本研究の結果は、高圧撮影ではある種の重要な診断情報を見逃すおそれのあることを示唆した。比較的低い kVp 値 (50-70) による技法では、表面線量は高いが歯科医にはより多くの診断情報を提供するようである。

*Research Institute for Nuclear Medicine and Biology, Hiroshima University, RERF Visiting Research Associate
 広島大学原爆放射能医学研究所, 放影研米所研究員

**Human Performance Institute, RERF Consultant
 Human Performance Institute, 放影研顧問

***Osaka Dental University, RERF Visiting Research Associate
 大阪歯科大学, 放影研米所研究員

INTRODUCTION

Advantages and disadvantages of using relatively high and low kVp in intraoral radiography are reported.¹⁻⁵ The purported advantages of high kVp include lower surface dose in the exposure field and a "long gray scale" of diminished contrast on the resulting dental radiograph.

Doses to the thyroid gland and lens during dental radiography of atomic bomb survivors and comparison subjects were assessed,^{6,7} and were much less than those earlier reported in the U.S.¹ This was apparently due to the fewer radiographic exposures per dental visit and per X-ray examination, relatively few "full-mouth" examinations, and newer improved equipment currently used in Japan compared to that on which the earlier U.S. reports were based. The thyroid gland and lens are relatively sensitive to ionizing radiation. An increased incidence of thyroid cancer has been found among A-bomb survivors.⁸ There is an increasing frequency of dental radiography in Japan,⁹ probably because of the revisions in health insurance regulations for full-mouth X-ray examinations.¹⁰ All these conditions point to the need for reducing unnecessary exposure of patients, especially of their critical organs.

This report assesses images on intraoral dental radiographs according to various kVp, film, and dose to critical organs. Also discussed is the problem of obtaining with a minimum tissue dose an image yielding maximum diagnostic information by appropriately adjusting the technical parameters of exposures.

MATERIALS AND METHODS

Phantom

A phantom jaw constructed of Mix-D material and containing a human mandible was used for radiographic assessments. Simulated caries or penetrations were made by cutting the molar teeth using a 0.5 mm diameter round burr at high speed. Amalgam restorations approximately 1.5 and 3 mm in greatest dimension were inserted in the mesial and occlusal aspects of the third molar as shown in Appendix 1.

The head and neck portions of a Rando phantom (Alderson Research Laboratories) were altered with holes to accommodate the lithium fluoride (LiF) capsules (Harshaw Chemical Company) and to measure doses at the right and left

緒言

口内X線撮影に比較的高い電圧と低い電圧を用いた場合の利点及び欠点については報告されている。¹⁻⁵ 報告されている高電圧の利点は、照射野の表面線量が低いことと、出来上がった歯科X線写真上にコントラストの低い"長いグレースケール"が得られることである。

原爆被爆者及び対照者が歯科X線撮影の際に甲状腺、及び水晶体に受けた線量について推定を行ったが、^{6,7} 先に米国で報告されたもの¹よりはるかに少なかった。これは、歯科医院での1回の検診及びX線検査当たりのX線フィルム撮影枚数が少ないこと、"全顎"X線検査が比較的少ないこと、並びに米国の初期の報告の基礎となった当時の設備に比べて日本で現在用いられている設備が新しく、改良されていること等によるものと思われる。甲状腺及び水晶体は電離放射線に比較的敏感である。原爆被爆者には甲状腺癌の発生率の増加が認められている。⁸ 日本では、恐らく全顎X線検査に関する健康保険法の規定が改正されたためか、¹⁰ 歯科X線検査の頻度が増加している。⁹ これらの事柄はすべて、患者、特にその決定臓器への不必要な被曝を減少させる必要のあることを示している。

今回の報告は種々の電圧、フィルム及び決定臓器の被曝線量と口内歯科X線写真の像との関係性を評価したものである。また、被曝の技術的パラメーターを適当に調整して、最小限の組織線量により、最大限の診断情報をもたらす像を得る問題についても検討した。

材料及び方法

ファントム

Mix-D製の顎ファントムを用いて、X線撮影の評価を行った。直径0.5mmの円形バーを高速で回転させて大白歯にう歯又は穿孔を作った。付録1に示すように、第三臼歯の中央及び咬合部に最大直径約1.5mm及び3mmのアマルガム充填を施した。

ランドファントム (Alderson Research Laboratories 製) の頭部及び頸部に穴を開け、左右の水晶体、左右の甲状腺葉、及び下垂体に弗化リチウム (LiF-Harshaw Chemical Co. 製) を入れたカプセルを挿入

lenses, right and left lobes of the thyroid gland, and pituitary gland. Surface doses were measured at the centers of the exposure fields. The right lower molar region was exposed for both dosimetry and image assessments.

Radiography Apparatus

An experimental dental radiography unit was made to our specifications by the J. Morita Company (J. Morita Dental Manufacturing Company Limited, Kyoto, Model X100ES). This self-rectifying, oil-cooled apparatus was operable at 50-100 kVp and 0-10 mA, with a 1.5 X 1.5 mm focal spot. The highly accurate precision timer could be set at 20 intervals between 0.05-3.00 sec. Exposure times were indicated on a digital readout system from 0.001-9.999 sec. With exposures beyond 0.1 sec, errors ranged from 0.08% to 0.23%; with exposures less than 0.1 sec, as high as 4.2%. Errors of the digital readout system, were $\pm 100 \mu\text{sec}$, or 0.02%. This apparatus was used for the radiography of the phantom and for the phantom dosimetry.

Dosimetry

A thermoluminescent dosimeter (TLD) system (Model 2000-TL Analyzer, Harshaw) was used with LiF powder in gelatin capsules 0.5 cm in diameter and 1.0 cm in length. Memorial diagnostic X-ray ionization chambers^{11,12} with a Baldwin-Farmer Type RB electrometer (Baldwin Instrument Company Limited, England) were used to correlate the TLD readings with exposures in milliroentgens (mR). Exposures were converted to doses in rad, using a conversion factor of 0.89 rad/R.¹³

Image Assessments

Kodak Ultra-Speed, DF-58 Dental X-ray Film, and Fuji Dental X-ray Film were exposed using four tube voltages and nine sets of mAs. The technical factors for exposing the phantom for radiography are shown in Table 1. Kodak and Fuji developers and fixers were prepared according to the manufacturers specifications. Four sets of 72 films each were affixed to processing racks and simultaneously processed under standard controlled conditions. The mounted films were appraised by 12 Japanese dentists of six Japanese schools of dentistry and 12 American dentists practicing in the U.S. military service in Japan.

し、その各部位の線量を測定できるように改造した。表面線量は照射野の中心で測定した。右下臼歯部を照射して、線量測定及び画像の評価を行った。

X線撮影の装置

著者らの仕様に従って実験用歯科X線撮影装置を、モリタ製作所(京都市, モリタ製作所, X100 ES型)に製作させた。この自己整流式で油冷式の装置は50-100kVp, 0-10mAで作動し、焦点は1.5×1.5mmである。極めて正確なタイマーは0.05-3.00秒の間で20の時間区分にセットできる。照射時間は0.001-9.999秒のデジタル表示式になっている。照射時間が0.1秒以上では誤差は0.08%-0.23%の範囲であり、0.1秒未満では4.2%であった。デジタル表示の誤差は $\pm 100 \mu\text{秒}$ 、すなわち0.02%であった。この装置は、ファントムのX線撮影及びファントムによる線量測定に用いた。

線量測定

熱ルミネッセンス線量測定(TLD)器(Harshaw社製2000型-TL分析器)と直径0.5cm, 長さ1.0cmのゼラチンカプセル入りLiF粉末を使用した。Memorial診断用X線電離箱^{11,12}及びBaldwin-Farmer RB型電位計(英国Baldwin Instrument Co. Ltd. 製)を用いて、TLDの読みとミリレントゲン(mR)単位の照射線量との相関を求めた。照射線量は0.89rad/Rの変換係数¹³を用いて、rad単位で示した。

画像の評価

4種類の管電圧及び9種のmAsを用いてKodak Ultra-Speed, DF-58歯科X線フィルム, 及びフジ歯科X線フィルムで撮影を行った。表1は、X線撮影用ファントムの撮影に用いた撮影条件を示したものである。Kodak社及び富士写真フィルム社の指示どおり、それぞれの現像液と定着液を準備した。1組72枚のフィルムを4組ずつ現像処理枠にはめ、同時に標準的な一定条件のもとで現像・定着処理した。マウントしたフィルムは日本の六つの歯科系大学の歯科医12人と、在日アメリカ駐留軍の歯科医12人によってそれぞれ評価された。

TABLE 1 FACTORS USED IN EXPOSING THE PHANTOM JAW
FSD: 20 cm, FIELD: 6x5 cm, RIGHT LOWER MOLAR EXAMINATION

表1 顎部ファントムの撮影に用いた条件:
FSD 20cm, 照射野 6×5 cm, 右下臼歯の検査

Fuji Film						Kodak Film					
Film No.	kVp	mAs	Film No.	kVp	mAs	Film No.	kVp	mAs	Film No.	kVp	mAs
1	50	4	19	70	1	37	50	2	55	70	0.7
2		8	20		3	38		4	56		1
3		13	21		5	39		6	57		2
4		18	22		8	40		8	58		3
5		24	23		10	41		10	59		4
6		30	24		13	42		15	60		5
7		40	25		16	43		20	61		6
8		60	26		20	44		28	62		8
9		80	27		25	45		40	63		12
10	60	2	28	90	0.5	46	60	1	64	90	0.5
11		4	29		1	47		2	65		0.7
12		7	30		2	48		3	66		1
13		10	31		3	49		5	67		1.5
14		13	32		5	50		7	68		1.7
15		16	33		7	51		10	69		2
16		20	34		9	52		13	70		3
17		30	35		12	53		18	71		4
18		40	36		14	54		25	72		5

Without knowing the exposure factors or organ doses, all dentists designated their first, second, and third choices as to quality of films, using the form shown in Appendix 2. For diagnostic purposes all dentists also designated the most desirable films reviewed at 70-75 cm, then at about 25 cm, and again at closer range using a magnifying lens. The Japanese dentists also assigned scores to each film using each of the 16 criteria (Appendix 2) indicating the diagnostically excellent, satisfactory, and unsatisfactory films by 1, 2, and 3, respectively. Following the initial assessments, the Japanese dentists reevaluated in the same manner, all films exposed at 90 kVp, knowing the exposure factors used and the doses incurred.

RESULTS

Dosimetry

Radiation outputs in mR/mAs, 20 cm from the focal spot, were obtained from ionization chamber readings measured at a distance of 47 cm.

撮影条件又は臓器線量を知らされずに、全歯科医は付録2に示す書式を用いて撮影されたフィルムの画像について、それぞれ第1、第2、第3と選択順位を記入した。また、全員に距離70-75cm、次に約25cm、更に拡大鏡を用いてより近距離からフィルムを検討してもらい、診断のために最もよいものを選択してもらった。また、日本人歯科医は付録2の16項目からなる基準を用いて診断の面から優秀なフィルム、満足すべきフィルム、不満足なフィルムをそれぞれ1、2、3と採点した。次いで同歯科医に90kVpで撮影したフィルムについて撮影条件及び線量を明らかにして同じ方法で再評価してもらった。

結果

線量測定

焦点から20cmにおける mR/mAs 単位での放射線出力は、47cmの距離で測定した電離箱の読みから求めた。

TABLE 2 RADIATION OUTPUT AND QUALITY OF X-RAYS,
J. MORITA X100ES

表2 X線出力及び線質, J. モリタX100ES装置

kVp	Added Filtration (mm Al)	Output (mR/mAs at 20 cm)	HVL (mm Al)
50	2.0	14.7	1.70
60	2.0	28.9	2.15
70	2.0	39.7	2.45
90	2.0	65.7	2.80

TABLE 3 DOSES TO LENS, THYROID GLAND, PITUITARY GLAND,
AND SKIN DURING RIGHT LOWER MOLAR EXAMINATION ACCORDING TO kVp

UNIT: mrad/mAs, FSD: 20 cm, FIELD: 6×5 cm

表3 右下臼歯検査による

水晶体, 甲状腺, 下垂体, 及び皮膚線量とkVpとの関係

単位: mrad/mAs, FSD 20cm, 照射野 6×5 cm

Body Site	kVp			
	50	60	70	90
Lens	2.12	3.36	5.26	7.28
Thyroid gland	2.07	3.12	4.73	6.84
Pituitary gland	0.75	1.65	3.50	6.16
Surface	16.9	27.2	42.6	70.7

Half-value layers were calculated from attenuation curves based on ionization chamber readings with aluminum absorbers (Table 2).⁶ Doses to the critical organs in mrad/mAs by kVp are shown in Table 3. Average doses for the left and right lenses and left and right lobes of the thyroid gland were used throughout this study. Although the right side was nearer the incident X-ray beam, doses to the left and right sides of the organs were nearly equal, probably due to beam divergence.

Technical factors which rendered an optimum optical density, and the corresponding doses from these exposures by film manufacturer and kVp are shown in Table 4. Fuji dental films incurred doses twice those of Kodak dental film, regardless of the kVp or organs exposed. The lens, thyroid gland, and surface doses decreased with increasing kVp, but the reverse was true for the pituitary gland, except with Kodak film exposed at 90 kVp. Use of relatively high kVp for intraoral dental radiography generally results in higher doses to deeper structures such as the pituitary gland. This is

アルミニウム吸収板による電離箱計測値に基づく減衰曲線から, 半価層の算定を行った(表2).⁶ 表3は mrad/mAs における決定臓器のkVp別線量を示したものである. 本研究ではすべて, 左右水晶体及び左右甲状腺葉の平均線量で示した. 右側は入射X線線束に近かったが, 臓器の左右両側の線量は, 恐らく線束の拡大によるためか, ほとんど同じであった.

最適の濃度をもたらした撮影条件, 並びにこれらの撮影による線量については, フィルム製造会社及びkVp別に表4に示した. フジ歯科フィルムは, kVp又は臓器に関係なく, Kodak 歯科フィルムの2倍の線量となっていた. 水晶体, 甲状腺, 及び表面線量はkVpの増加に伴って減少したが, 90kVpでKodakフィルムで撮影した場合を除けば, 下垂体については結果は逆であった. 口内歯科X線検査に比較的高いkVpを用いると, 概して下垂体のような深部組織に高い線量をもたらす. これはkVpの増加につれ

TABLE 4 COMPARISON OF CRITICAL ORGAN DOSES BY kVp AND FILM FOR EXPOSURES RENDERING OPTIMUM OPTICAL DENSITY

UNIT: mrad/Exposure

表4 決定臓器線量の比較: kVp 及びフィルム別
(最適の黒化度を得るための撮影条件)

単位: mrad/撮影

kVp	mAs	Lens	Thyroid	Pituitary	Surface
FUJI FILM					
50	30	63.5	62.2	22.3	507
60	16	53.7	50.0	26.3	436
70	8	42.1	37.8	27.9	341
90	5	36.4	34.2	30.8	354
KODAK FILM					
50	15	31.8	31.2	11.2	254
60	8	26.9	25.0	13.2	218
70	4	21.0	18.9	14.0	170
90	2	14.6	13.7	12.3	142

due both to a greater depth dose and greater scattered radiation with higher kVp.

Image Assessments

Using the 16 criteria, each of the 72 radiographs exposed at various combinations of kVp, mAs, and films were assessed by the 12 Japanese dentists. The film numbers the Japanese and American dentists designated as most desirable for diagnostic purposes are shown in Tables 5 and 6.

Kodak films exposed at 50 kVp were selected as best by 10 Japanese and 11 American dentists. None chose Fuji films. For the Japanese dentists, the last column in Table 5 shows the film numbers by the lowest arithmetical average of the scores of these dentists. All 16 criteria were assumed equally important and the best films are listed in the fourth column. In general, the film numbers in columns 4 and 5 differed because of too many films and observation points to which scores were assigned. However, one dentist felt that more criteria would be necessary to assess the root-pulp-bone region.

Exposure factors for the films which were designated most desirable and the doses to the critical organs incurred by these exposure factors are shown in Table 7. Film No. 68, exposed at 90 kVp, incurred the lowest doses to the four body sites.

て、深部線量及び散乱線量の双方が増大することによる。

画像の評価

日本人歯科医は、16項目の基準を用いて、種々に組み合わせたkVp, mAs及びフィルムで撮影した72枚のX線写真のそれぞれについて評価を行った。表5及び表6は、日米双方の歯科医が診断に最適と指摘したフィルム番号を示したものである。

日本の10人と米国の11人の歯科医が最良として選定したのは、50kVpで撮影したKodakフィルムのものであった。フジフィルムを選んだ者は一人もなかった。表5の最後の欄は、日本人歯科医の評点の最低算術平均値別にフィルム番号を示したものである。16の基準はいずれも等しく重要であると仮定し、最良のフィルムは第4欄に示した。評点を与えるフィルム枚数と観察点が多過ぎたため、総体的に第4及び第5欄のフィルム番号に差異が生じた。しかし根一歯髓一骨部を評価するにはもっと多くの観察点が必要であると指摘した歯科医が一人いた。

最も望ましいと指摘されたフィルムの撮影条件、及びそれに伴う決定臓器への線量を表7に示した。90kVpで撮影されたフィルム番号68による線量は、四つの部位とも最も低かった。

TABLE 5 FILM DESIGNATED AS BEST FOR DIAGNOSTIC PURPOSES,
JAPANESE DENTISTS

表5 日本人歯科医が診断に最良と指摘したフィルム

Dentist	Film Number			Lowest Scores*
	70-75 cm Distance	Close-up	Final	
A	42	14	42	6, 43, 50
B	41	41	41	44, 45, 61
C	42	42	42	44
D	43	42	42	42
E	42	43	43	60, 61
F	42	43	43	43
G	42	43	43	60
H	41	6	58	51
I	42	42	42	42
J	44	43	43	44
K	43	43	43	44
L	43	58	68	18

*The film numbers with the lowest arithmetic average of scores.

評点の最低算術平均値のフィルム番号

TABLE 6 FILM DESIGNATED AS BEST FOR DIAGNOSTIC PURPOSES,
AMERICAN DENTISTS

表6 米国人歯科医が診断に最良と指摘したフィルム

Dentist	Film Number		
	First Choice	Second Choice	Third Choice
M	42	43	50
N	42	43	50
O	42	43	50
P	44	43	51
Q	43	50	42
R	50	59	58
S	43	42	51
T	42	43	50
U	43	42	50
V	41	59	7
W	41	49	58
X	42	43	50

The Japanese dentists, who had designated as best the films exposed at 50 kVp, reassessed all films exposed at 90 kVp to determine whether the 16 observation points could be identified at 90 kVp with equal clarity as on the 50 kVp films. The exposure factors and doses to the critical organs for each dental film were revealed at this reevaluation.

50kVp で撮影されたフィルムが最良であったと指摘した日本人歯科医に、90kVp で撮影されたすべてのフィルムの再評価を依頼し、90kVp でも、16の観察点が50kVp で撮影したフィルムの場合と同じ明確度で見えるかどうか調べてもらった。この再評価の段階で、各フィルムの撮影条件及び決定臓器への線量を明らかにした。

TABLE 7 EXPOSURE FACTORS FOR FILMS DESIGNATED MOST DESIRABLE
AND CORRESPONDING DOSES TO CRITICAL ORGANS

表7 最も望ましいフィルムの撮影条件とそれに伴う決定臓器線量

Film No.	No. of Dentists		Film	kVp	mAs	Dose in mrad/Exposure			
	Japanese	American				Lens	Thyroid	Pituitary	Surface
41	1	2	Kodak	50	10	21.2	20.7	7.5	169
42	4	5	Kodak	50	15	31.8	31.2	11.2	254
43	5	3	Kodak	50	20	42.4	41.5	15.0	338
44		1	Kodak	50	28	59.4	58.0	21.0	473
50		1	Kodak	60	7	23.5	21.8	11.6	190
58	1		Kodak	70	3	15.8	14.2	10.6	128
68	1		Kodak	90	1.7	12.4	11.6	10.5	120

Five of the eight dentists who reappraised the radiographs determined that all the diagnostic information on radiographs exposed at 50 kVp was also present on those exposed at 90 kVp, although the latter were of lower contrast. Three of the eight judged the 90 kVp radiographs unsatisfactory for providing necessary diagnostic information.

DISCUSSION

Updegrave¹⁴ stated that the interpretive value of radiographs should not be decided on the basis of general "eye appeal", but on the usefulness of the information provided. In addition to general eye appeal, 16 observation points were used as criteria for assessing radiographs in this study. For eye appeal, all participating Japanese dentists selected the radiographs exposed at 50 kVp as best and using the 16 criteria their appraisals generally coincided with those made on eye appeal.

In a survey of hospitals and clinics in Hiroshima and Nagasaki,⁶ 70% of the dental X-ray films in use were of the "instant" packet-developed type processed by injecting the processing solution into their sealed envelopes with a hypodermic syringe and needle. These instant films are basically the same as the Fuji dental films used in this study. All are screen-type films, but are used without screens in dental radiography. They were therefore less sensitive, with images of poorer quality than the Kodak Ultra-Speed films.

Opinions vary on the advisability of using high kilovoltage techniques. Pentel and Goren,⁴

X線写真の再評価を行った8人の歯科医のうち5人は、90kVpで撮影されたフィルムはコントラストは劣るが、50kVpで撮影したX線写真の診断情報はすべて確認できたと述べた。残り3人は、90kVpのX線写真は、必要な診断情報を提供するには不満足であると判定した。

考 察

Updegrave¹⁴は、X線写真の価値は一般的な"視覚的訴え"によらず、その提供する情報の有用性に基づいて決定されるべきであると述べている。本調査ではX線写真の評価の際、一般的な視覚的訴えに加えて16の観察点を基準として用いた。視覚的な訴えでは日本人歯科医の全員が50kVpで撮影したX線写真を最良と選定し、16項目の基準を用いた場合も、その評価は視覚的訴えで定めたものと大体一致していた。

広島及び長崎の病医院における調査⁶では、使用中の歯科用X線フィルムの70%は、皮下注射器と針を用いて現像処理液を密封した封筒の中へ注入して現像処理する"インスタント"袋現像処理式のものであった。これらのインスタントフィルムは、本質的に本調査で用いたフジ歯科用フィルムと同じである。本来スクリーン型フィルムであるが、歯科用X線検査ではスクリーンなしに用いられている。したがって、感度が低く、画像もKodak Ultra-Speedフィルムよりも質的に劣っていた。

高電圧技法の使用の当否については、意見は様々である。Pentel及びGoren⁴は、階段型のくさびを

using step-wedges, compared image quality and concluded that Kodak Ultra-Speed film exposed at 90 kVp displayed the best tonal scale, and was not suitable at 65 kVp because of the images this technique produced. Similar conclusions have been based on images of step-wedges radiographed with low and high kVp techniques.^{15,16} From the analysis of characteristic Hurter and Driffield (HD) curves at 65 and 90 kVp, Webber and Ryge¹⁷ suggested that more diagnostic information concerning the enamel is obtainable at a higher kVp, and that the diagnostic potential registered through soft tissue would be similar or slightly less. According to Richards et al,¹⁸ radiographs made with 40 keV monoenergetic X-rays displayed excellent contrast and a complete range of densities, compared to 23, 69, and 98 keV X-rays. Cho et al¹⁹ measured the energy spectra produced by the X-ray potentials used in the present study using step-wedges observed that radiographs photons with effective energies of 40 keV originated from 70 kVp X-rays. Investigators using step wedges observed that radiographs exposed at relatively high kVp provide more diagnostic information, and that the patients incur lower doses. However, the dentists participating in the present study favored films exposed at relatively low kVp.

Doses to patients from X-ray examinations should be as low as reasonably achievable. For this reason, higher kVp is used in medical X-ray examinations. The reduction in dose using 90 kVp as opposed to 50 kVp is at first an attractive advantage. At 90 kVp, doses to critical organs are about one-half those at 50 kVp except for the pituitary gland.

Training and experience in interpreting radiographs are of utmost importance in the detection of abnormalities. The situations in dental radiology differ from those of medical radiology. In general, medical radiographs are interpreted by radiologists; whereas, dental radiographs are usually interpreted by practicing dentists not specializing in radiology. The present study indicates that 90 kVp films provide less diagnostic information than those exposed at 50 kVp. Some abnormalities seen on 50 kVp films were difficult to detect on those exposed at 90 kVp. This may be anticipated with dental practitioners, since their time is not entirely allocated to film interpretation. Like the Japanese, the American dentists selected as their

用いて画像の質の比較を行い、90kVpで撮影した Kodak Ultra-Speed フィルムは最良の色調を示したが、65kVpでこの技法での画像は適当でなかったと結論している。撮影した階段型のくさびの画像を基に、同様の結論が他の研究者からも発表されている。^{15,16} Webber 及び Ryge¹⁷ は、65kVp 及び 90kVp で Hurter 及び Driffield (HD) 特性曲線の解析を行い、高いkVpではエナメルに関する診断情報がより多く得られ、軟組織について得られる診断情報は同程度かやや劣ることを示唆した。Richards ら¹⁸ によれば、40keV 単一エネルギー X 線による写真は、23,69 及び 98keV X 線に比べて、非常によいコントラストと濃淡全域にわたる像が得られている。Cho ら¹⁹ は、Si (Li) 半導体検出器を使用して、本調査で用いた X 線装置のエネルギースペクトルの測定を行った。70kVp X 線から、40keV の実効エネルギーを有する光子が得られた。階段型くさびを用いて調査を行った研究者は、比較的高いkVpで撮影した X 線写真はより多くの診断情報を提供し、しかも患者の受ける線量はより低いことを認めている。しかし、本調査に参加した歯科医は、比較的低いkVpで撮影したフィルムの方を好んだ。

X 線検査によって患者が受ける線量は、できる限り低い方がよい。このため医用 X 線検査には高いkVp が用いられる。50kVp に対して90kVp を用いる場合の線量の軽減は、第一に魅力的な利点のようにみえる。90kVp では決定臓器への線量は、下垂体を除けば50kVp における場合の約半分である。

異常の診断においては、X 線写真を判読する訓練と経験は最も重要なことである。歯科 X 線検査の場合には、医用 X 線検査の場合とは異なる。おおむね、医用 X 線写真は放射線科医が判読するが、歯科 X 線写真は通常、放射線科を専門としない開業歯科医が行う。今回の調査では、90kVp フィルムで得られる情報は、50kVp で撮影した場合より少ないことを示す。50kVp フィルムで認められる異常の一部は、90kVp で撮影したよりも診断が困難なものがあつた。開業歯科医はその全時間をフィルム判読に当てているわけではないので、このような結果は予想できる。日本人歯科医と同様、米人歯科医も50kVpで撮影した Kodak

first choice Kodak films exposed at 50 kVp, indicating that for both groups more diagnostic information was available at lower than at higher kVp.

The 90 kVp X-ray head assembly is often found by dentists to be relatively heavy and cumbersome to position, and sometimes cannot be maintained in position due to its weight. The use of 90 kVp instead of lower kVp greatly reduces the value of existing primary barriers, results in a greater hazard for any persons beyond those barriers, and necessitates additional shielding where the X-ray apparatus is located.²⁰

The most suitable kVp for dental radiography must be decided on the basis of a benefit-risk-ratio (i.e., maximum diagnostic information in detecting abnormalities vs risk of harmful X-ray exposure). The thyroid gland is the most sensitive organ in or near the exposure fields for intraoral dental radiography. Fatal thyroid cancers have been reported at the rate of 5-15 cases per 10^6 per rad.²¹ From the data in Table 7, using 90 kVp, the saving of dose to the thyroid gland is about 30 mrad per exposure. Considering the reported frequency of dental X-ray examinations in Hiroshima of 0.7 exposures per capita per year,²² potential deaths from thyroid cancer using 50 kVp instead of 90 kVp are estimated to be about 0.063-0.19 per 6×10^5 Hiroshima population.

The benefits of dental radiography cannot easily be expressed as number of lives saved by detecting an abnormality because the dental diseases involved are rarely fatal. However, if at 90 kVp, some abnormalities are not detectable, or are likely to be missed, then a modest dose reduction will be meaningless, because the entire purpose of the examination will have been lost. For these reasons, relatively low (50-70) kVp may be more suitable for intraoral radiography in clinical dentistry.

フィルムのものを第1に選択した。このことは、両国歯科医にとって高いkVpで撮影したものよりも低圧の方に、より多くの診断情報が含まれていることを示す。

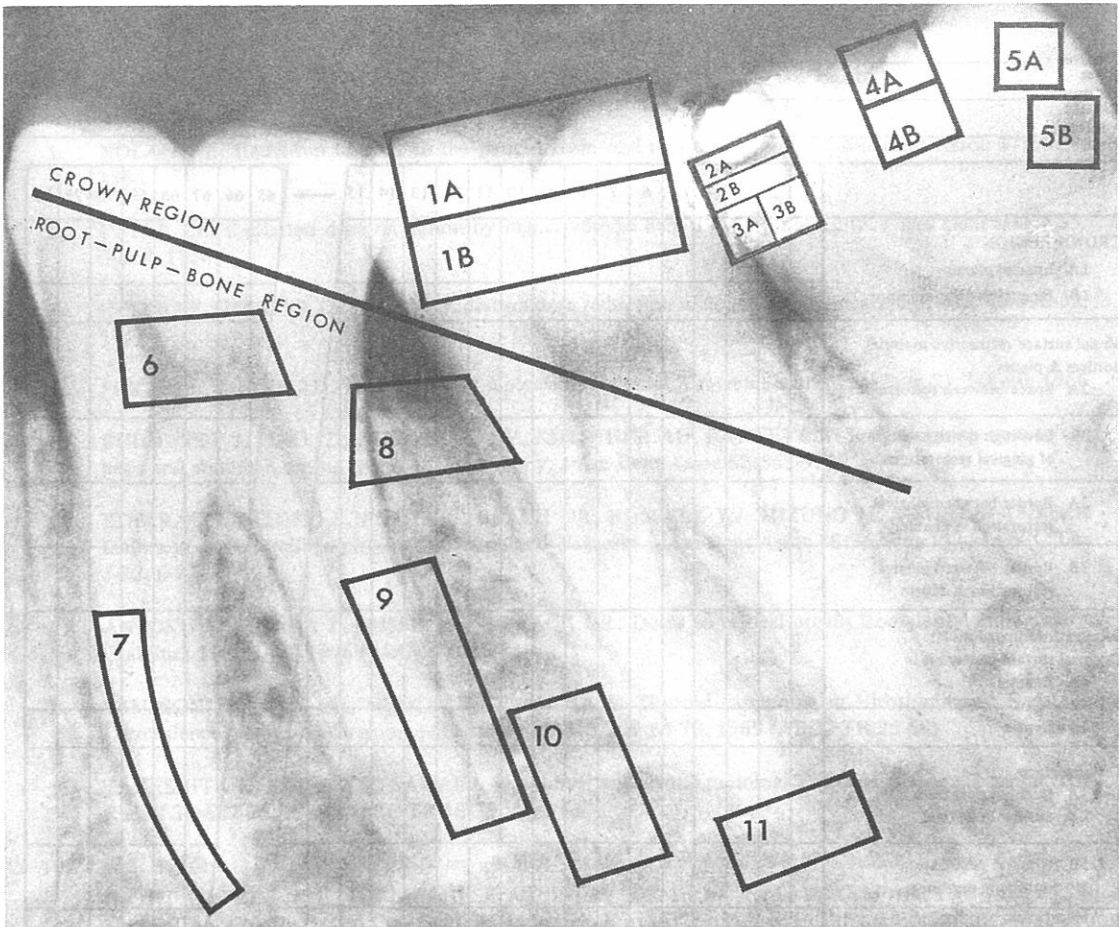
また歯科医にとって、90kVp X線装置の管球部は一般に比較的重く、撮影時の位置決定が困難であり、場合によっては重量のため固定の位置で保持できないこともある。低いkVpの代わりに90kVpを用いた場合、現在使用している一次遮蔽の効果を大幅に削減し、その遮蔽の反対側にいる人により大きい危険をもたらすことになり、X線装置が置かれている場所に更に遮蔽物を補強する必要がある。²⁰

歯科X線検査に最適のkVpは、利益-危険比率(すなわち、異常検出のための最大の診断情報入手に対し、有害なX線への被曝による危険度)に基づいて決定されなければならない。口内歯科X線検査の照射野又はその周辺で、最も敏感な臓器は甲状腺である。甲状腺癌による致死は、rad当たり 10^6 人当たり5-15例の率と報告されている。²¹90kVpを用いると、表7の資料によれば、甲状腺に対する線量の軽減は、撮影当たり約30mradである。広島では歯科X線検査の頻度は、1人当たり年に0.7回と報告されていることから考えると、²²90kVpの代わりに50kVpを用いた場合の甲状腺癌の死亡率は、広島で 6×10^5 人当たり約0.063-0.19人と推定される。

歯科疾患は生命にかかわることはまれであるので、歯科X線検査の利益を異常の発見で救われる人命の数によって表現することは容易ではない。しかし、90kVpで一部の異常が発見できないか、見逃がされる可能性があるとするれば、検査を行う本来の目的が失われるので、少量の線量軽減は無意味になる。これらの理由により、臨床歯科における口内X線検査には、比較的低い(50-70)kVpがより適当であるかもしれない。

APPENDIX 1 ASSESSMENT OF IMAGES ON ORAL RADIOGRAPHS – CRITERIA FOR EVALUATION

付録1 口内X線撮影による画像の評価－評価基準



CROWN REGION
冠部

- 1A Enamel planes
- 1B Enamel-dentin junctions
- Mesial surface restorative material borders & planes
- 2A Space between restorations
- 2B Low-high density margins of gingival restorations
- 3A Border between gingival restoration & enamel
- 3B Border between gingival restoration & dentin
- Penetrations in 3rd molar: Occlusal surface-center pit in
- 4A Enamel
- 4B Dentin
- Distal surface
- 5A Occlusal penetration outline in enamel
- 5B Gingival penetration outline in dentin

ROOT-PULP-BONE REGION
根-髓-骨部

- 6 Pulp chamber planes & borders
- 7 Root canal
- 8 Col area²³
- 9 Periodontal membrane (PDM)-lamina dura
- 10 Trabeculae
- 11 PDM (apical curve)

- 1A エナメル面
- 1B エナメル・象牙質境界部
- 近心面修復材の境界と表面
- 2A 修復材間の間隙
- 2B 歯齦修復材の周辺における濃度の高低
- 3A 歯齦修復とエナメルとの境界
- 3B 歯齦修復と象牙質との境界
- 第3臼歯の穿孔：咬合面中心部の凹み
- 4A エナメル
- 4B 象牙質
- 遠位面
- 5A エナメルにおける咬合穿孔の輪郭
- 5B 象牙質における歯齦穿孔の輪郭
- 6 髓質面及び境界
- 7 根管
- 8 Col部²³
- 9 歯根膜(PDM)白線
- 10 小柱
- 11 PDM(根尖曲線)

APPENDIX 2 ASSESSMENT OF IMAGES ON ORAL RADIOGRAPHS – CRITERIA FOR EVALUATION

付録2 口内X線撮影による画像の評価—評価基準

Observer 観察者 _____
 Institution 所属機関 _____
 Address 所在地 _____

Date 年月日: _____

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	65	66	67	68	69	70	71	72
CROWN REGION																							
1A Enamel planes																							
1B Enamel-dentin junctions																							
Mesial surface restorative material borders & planes																							
2A Space between restorations																							
2B Low-high density margins of gingival restorations																							
3A Border between gingival restoration & enamel																							
3B Border between gingival restoration & dentin																							
Penetrations in 3rd molar: Occlusal surface-center pit in																							
4A Enamel																							
4B Dentin																							
Distal surface																							
5A Occlusal penetration outline in enamel																							
5B Gingival penetration outline in dentin																							
ROOT-PULP-BONE REGION																							
6 Pulp chamber planes & borders																							
7 Root canal																							
8 Col area																							
9 PDM-lamina dura																							
10 Trabeculae																							
11 PDM (apical curve)																							

Diagnostically 診断上の判定

1 Excellent 非常によい

2 Satisfactory よい

3 Unsatisfactory 不満足

Please indicate: (1) Before you fill in the above form your choice of contrast by film numbers:
 脚注 上記書式への記入前に、あなたがコントラストの面から最適と思うもののフィルム番号を記入して下さい。

- (a) At about 70-75 cm distance 距離約70-75cmの場合
- (b) Close-up, using magnifying lens 拡大鏡を用いた場合

Choice 選択

1st	2nd
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>

(2) After you fill in the above form your choice as the ideal film number:
 上記書式への記入後、あなたが理想的なフィルムと思うものの番号を記入して下さい:

REFERENCES

参考文献

1. NOLAN WE: Radiation hazards to the patient from oral roentgenography. *J Am Dent Assoc* 47:681-4, 1953
2. ETTER LE: Radiation dose reduction by higher voltage dental roentgenography. *J Am Dent Assoc* 53:305-9, 1956
3. ETTER LE, SIDHU SS, CROSS LC: Radiation dose reduction in dental roentgenography. *AJR* 80:926-32, 1958
4. PENTEL L, GOREN AD: Tone scale and separation in dental X-ray emulsions. *Oral Surg* 21:748-60, 1966
5. BUDOWSKY J, PIRO JD, ZEGARELLI EV, KUTSCHER AH, BARNETT A: Radiation exposure to the head and abdomen during oral roentgenography. *J Am Dent Assoc* 52:555-9, 1956
6. KIHARA T, ANTOKU S, FUJITA S, BEACH DR, RUSSELL WJ, MIZUNO M, NISHIO S: Technical factors in dental radiography in Hiroshima and Nagasaki. *J Am Dent Assoc* 88:367-77, 1974 (ABCC TRs 5-72, 6-72, 24-72)
7. ANTOKU S, KIHARA T, RUSSELL WJ, BEACH DR: Doses to critical organs from dental radiography. *Oral Surg* 41:251-60, 1976 (ABCC TR 40-72)
8. SAMPSON RJ, KEY CR, BUNCHER CR, IJIMA S: Thyroid carcinoma in Hiroshima and Nagasaki. I. Prevalence of thyroid carcinoma at autopsy. *JAMA* 209:65-70, 1969 (ABCC TR 25-68)
9. TAKESHITA K, KIHARA T, SAWADA S: Medical and dental radiological trends in Japan. *Nippon Acta Radiol* 38:682-96, 1978 (ABCC TR 18-75)
10. 厚生省通達番号177, 昭和33年6月30日. 厚生省保険局医務課長通達, 保険発139, 昭和33年10月20日 (NOTIFICATION NO. 177, JAPANESE MINISTRY OF HEALTH AND WELFARE, 30 June 1958: Notice from Chief, Medical Care Section, Insurance Bureau, Ministry of Health and Welfare, Hokenhatsu 139, 20 October 1958)
11. GARRETT R, LAUGHLIN JS: A diagnostic X-ray exposure dose chamber. *Health Phys* 2:189-94, 1959
12. ANTOKU S, RUSSELL WJ, MIZUNO M, SUGA Y: Memorial ionization chambers: construction and response. *Health Phys* 23:559-63, 1972 (ABCC TR 30-70)
13. NATIONAL BUREAU OF STANDARD: Handbook 62, Report of the International Commission on Radiological Units and Measurements (ICRU), U.S. Department of Commerce, 10 April 1957. p 16
14. UPDEGRAVE WJ: High or low kilovoltage. *Dent Radiogr Photogr* 33:71-8, 1960
15. WUEHRMANN AH, MONACELLI CJ: Selection of optimum kilovoltage for dental radiography. *Radiology* 57:240-7, 1951
16. SPANGENBERG HD Jr., POOL ML: A 65 or a 90 kilovolt X-ray machine? *Oral Surg* 13:552-65, 1960
17. WEBBER RL, RYGE G: The significance of exposure parameters in dental radiography. *Oral Surg* 27:740-53, 1969
18. RICHARDS AG, BARBOR GL, BADER JD, HALE JD: Samarium filters for dental radiography. *Oral Surg* 29:704-15, 1970

19. CHO T, UEHARA S, YOSHIMURA T, YOSHINAGA H: Dental X-ray spectrometry with an Si (Li) semiconductor. Oral Surg 45:965-77, 1978
20. Personal communication. Albert G. Richards, M.S., Professor of Dentistry, University of Michigan, School of Dentistry, letter dated 17 January 1973
21. UNSCEAR: Ionizing Radiation, Levels and Effects. II Effects. New York, United Nations, 1972. p 413
22. KIHARA T, ANTOKU S, TAKESHITA K, RUSSELL WJ, SAWADA S, OTAKE M, YOSHINAGA H, BEACH DR: Exposure factors and doses from dental radiology in the Adult Health Study and the Hiroshima and Nagasaki populations. Report presented at the Japan Radiological Society Meeting, May 1977
23. WILKINS EM: Clinical Practice of the Dental Hygienist. Philadelphia, Lea & Febiger, 1971. p 473