

X線テレビによる顎機能運動撮影時の 頭部の被曝に関して

加藤 一 誠, 河野 正 司, 岩片 信 吾, 櫻井 直 樹
笠井 み か, 平野 秀 利, 伊藤 壽 介*, 林 孝 文*
中山 均*, 竹内 由 一*, 伊藤 宰*, 佐野 耕太郎**

新潟大学歯学部歯科補綴学第一講座 (主任: 河野正司教授)

*新潟大学歯学部歯科放射線学講座 (主任: 伊藤壽介教授)

**シーメンス旭社 RX 部門

(受付: 平成7年5月31日; 受理: 平成7年6月7日)

A study on x-ray exposure with a new digital fluorographic system (X-ray TV system) during examination of stomatognathic functions

Kazumasa Kato, Shoji Kohno, Shingo Iwakata, Naoki Sakurai
Mika Kasai, Hidetoshi Hirano, Jusuke Ito*, Takahumi Hayashi*
Hitoshi Nakayama*, Yoshiichi Takeuchi*, Tukasa Ito* and Kotaro Sano**

Department of Removable Prosthodontics

(Chief : Prof. Shoji Kohno)

**Department of Oral and Maxillofacial Radiology*

(Chief : Prof. Jusuke Ito)

***Siemens-Asahi Medical Technologies Ltd.*

(Received on May 31, 1995 ; Accepted on June 7, 1995)

Key words : digital fluorographic system (X線テレビシステム), x-ray exposure (診断用X線被曝), thermoluminescent dosimeter (熱蛍光線量計), TMJ clicking (顎関節クリック), stomatognathic function (顎口腔機能)

Abstract : The purpose of this study is to quantify the x-ray exposure on fluorography with a new digital fluorographic system (X-ray TV system) and to evaluate the usefulness of fluorography for the diagnosis of stomatognathic functions. A thermoluminescent dosimeter (TLD) was used to assess x-ray exposure.

The results are as follows.

1. The maximum x-ray exposure dose per one frame of this X-ray TV system was 1/41 in the center of the exposure field, 1/15 in the region of the eye, and 1/75 in the region of the thyroid as compared with exposure on one dental radiograph.
2. Clicking movement of the mandibular condyle was clearly shown with this X-ray TV system.
3. X-ray exposure during examination of TMJ clicking and mastication were estimated based on the result of this study.
4. A new filter was devised to provide protection for the x-ray-sensitive organs during examination of stomatognathic functions.

抄録: X線テレビは、顎関節の機能異常および咀嚼、嚥下、発音などの顎口腔の機能時の動態の検査・診断に有用である。しかし、顎関節撮影や顎機能動態撮影時のX線の照射領域には水晶体や甲状腺などX線感受性が高い部位が隣接しているために被曝を特に少なくする配慮が必要となる。

本研究ではX線テレビ MULTISKOP® を使用した顎機能動態撮影例における被曝量を TLD (Thermoluminescent Dosimeter) によって測定し、その結果をデンタルおよびセファロ撮影時の被曝量と比較し、考察した。

その結果、

- 1) 本研究のX線テレビは上顎大白歯部のデンタル撮影と比較して1画像あたりの被曝線量は最大でも照射野内中央部で1/41, 照射側眼窩中央部で1/15, 甲状腺中央部で1/75であった。
- 2) 本研究のX線テレビは最速の50画像/秒の撮影速度で下顎頭のクリック部分の動態が平均で5画像を撮影可能と考えられた。
- 3) 咀嚼運動の撮影時に、頭部のX線感受性の高い部位を防護するためのフィルターを考案した。

結 言

従来のX線テレビは撮影中に連続的にX線が照射される方式であった。しかし、近年のelectronicsの進歩によりX線テレビの撮影方式に改良が加えられ、本研究の対象機器であるX線テレビのように1画像ごとに断続的にX線を照射する機構を採り、照射時間を短時間にして被曝量を少なくすることが可能となってきた。また、撮像側のイメージ・インテンシファイアも感度が向上すると共に、X線の入力窓の直径を切り替えることができるようになり、拡大撮影や広角撮影もできるようになった。

本研究の目的は、最新型のX線テレビの顎機能動態検査における生体のX線被曝量について、特に、頭部のX線感受性が高い水晶体や甲状腺を対象として測定することにある。また、被曝量についてはセファロおよび上顎大白歯部のデンタルの被曝量を対照として比較、考察した。

研究 方法



図1 特注Cアーム型マルチパルスX線テレビ

1. X線発生装置

X線テレビ撮影装置はシーメンス社製マルチパルス特注Cアーム型 MULTISKOP® (図1) である¹⁾。また、被曝線量の測定の対照として用いたX線撮影装置は本学附属病院歯科放射線室に設置してあるX線セファロ撮影装置(日立メディコ社製)とデンタルX線撮影装置ヘリオデント70(シーメンス社製)とした。

2. 線量測定機器および関連する機器

X線の線量測定にはTLD(Thermoluminescent Dosimeter: 熱蛍光線量計)を用いた。本研究のTLD素子は松下電器産業株式会社製のBeOタイプの素子UD-170Aである。BeOは低線量測定用で、実効原子番号が7.6で生体等価素子であり、照射した線量に対する感度の変化が少ないという特徴をもつ。このTLD素子は被曝線量の測定下限線量が0.2mGy, 上限線量が500mGyで、この間で感度曲線は直線性を保っている²⁾。また、このTLD素子は蛍光灯の光の影響を受けやすいので、直径5mm, 長さ20mmの黒いカプセル内に保護されている³⁾(図2)。

被曝線量の測定はX線を照射した後に加熱処理を行って発生した熱蛍光量(TL)をHARSHAW社製TLDリーダーのTHERMOLUMINESCENCE DETEC-



図2 Thermoluminescent Dosimetry 素子: TLD 素子

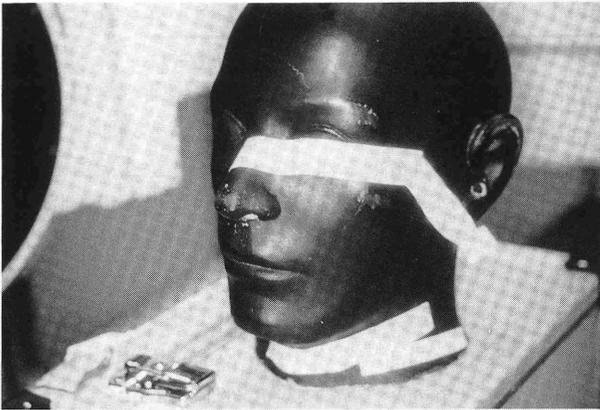


図3 ファントームに貼付したTLD素子：顎関節部の照射野中央部，照射側眼窩中央部，甲状腺中央部

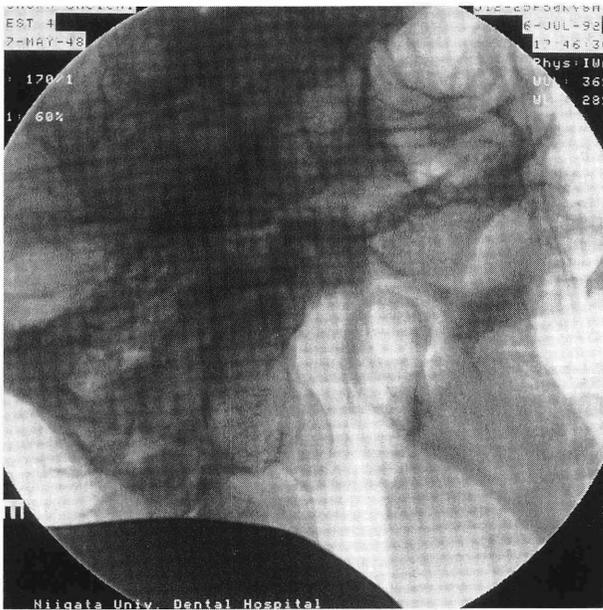


図4 拡大モードによって撮影した顎関節部の撮影範囲

TOR, MODEL 2000C および AUTOMATIC INTEGRATING PICOAMMETER 2000B で計測した⁴⁾。この TLD リーダーの測定範囲は0.001mGy~2kGy である。

3. 測定部位

測定にあたって京都科学標本製の頭部ランドファントームの照射野内中央部，照射側眼窩中央部，甲状腺中央部の3ヶ所に TLD 素子を粘着テープによって張り付けた(図3)。また，X線テレビ室，セファロおよびデンタル撮影室にバックグラウンド測定用 TLD 素子を設置した。

4. 各撮影装置のX線照射実験

1) X線テレビの照射実験

顎関節部の照射実験は顎関節部およびその周囲のみの



図5 広角モードによって撮影した咀嚼運動時の撮影範囲

撮影を想定して，照射野の直径が170mmの拡大モードで行った(図4)。撮影方法はシューラー氏変法，X線発生管球の焦点の大きさは1.0mm，管電圧は84kV，管電流量は自動制御で被写体と管球間の距離は60cm である。

咀嚼運動の撮影状態を想定した照射実験は，側方より顔面を撮影するために直径が230mmの照射範囲をもつ広角モードで行った(図5)。広角モードのときは直径が230mmの照射範囲となる。このときのX線発生管球の焦点の大きさは1.0mm，管電圧は74kV，管電流量は自動制御で被写体と管球間の距離は60cm である。

撮影時間を決めるにあたり，前述した BeO タイプの TLD 素子の測定範囲内に被曝量を設定する必要がある。そこで，X線テレビの撮影速度を6画像/秒として試行的に10秒間の被曝線量の測定を行った。これによると，照射野中央部のデータで広角モードが約10mGy，拡大モードが約40mGy であったことから，照射野中央部から離れた部位の線量も考慮して，照射時間を4倍の40秒として，測定線量が TLD 素子の感度内に入るように配慮した。これを1回の照射実験として，3回繰り返したときの平均と標準偏差をデータとし，これから1画像あたりの被曝線量を算出した。

2) セファロ撮影装置の照射実験

側面および正面のセファロの照射条件は管電圧86 kVp，管電流量100mA，被射体X線管球間の距離165cm とし，照射時間は1秒としてこれを3回行った。

実際のセファロ撮影では撮影時間は0.2秒であるが，この撮影時間による照射線量では TLD 素子の感度内にならない。そこで，セファロ撮影装置に負荷をかけない程度に長時間照射することとして，照射時間を1秒とした。デー

表1 各撮影方法における照射実験の1画像あたりの被曝線量

撮影方法	測定部位	平均	SD	バックグラウンド補正後の平均
デンタル撮影 (上顎第一大臼歯部)	照射野中央部	25.616	1.092	25.353
	照射側眼窩部	2.163	0.433	1.900
	甲状腺中央部	1.380	0.540	1.117
セファロ (側面の撮影)	照射野中央部	0.575	0.032	0.557
	照射側眼窩部	0.499	0.042	0.481
	甲状腺中央部	0.071	0.004	0.054
セファロ (正面の撮影)	照射野中央部	0.536	0.023	0.518
	照射側眼窩部	0.026	0.003	0.009
	甲状腺中央部	0.059	0.004	0.041
X線テレビ (広角モード)	照射野中央部	0.171	0.013	0.170
	照射側眼窩部	0.127	0.010	0.126
	甲状腺中央部	0.016	0.001	0.015
X線テレビ (拡大モード)	照射野中央部	0.624	0.030	0.623
	照射側眼窩部	0.016	0.001	0.015
	甲状腺中央部	0.005	0.000	0.004
バックグラウンド	/	0.263	0.047	/

単位：mGy

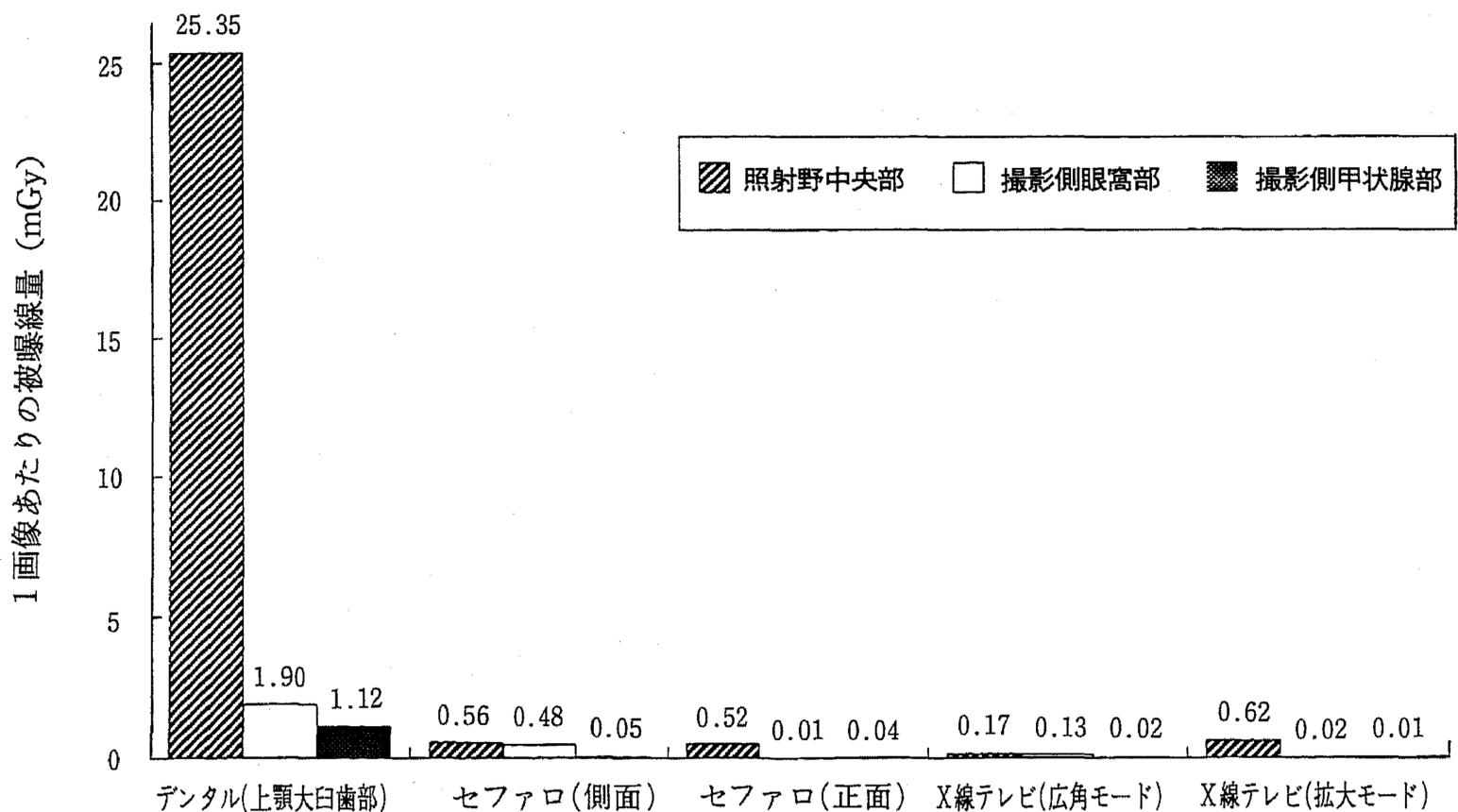


図6 各撮影方法で1画像あたりに換算した被曝線量の平均値

タはこれを3回繰り返したときの平均と標準偏差とし、
これから1画像あたりの被曝線量を算出した。

3) デンタル撮影装置の照射実験

デンタルの照射実験は顎関節部に近い上顎大白歯部の撮影の条件を想定し、管電圧70kVp、管電流量7mAとし、照射時間は3秒とした。データはこれを3回繰り返したときの平均と標準偏差である。

結 果

X線テレビは1画像では診断的価値は低く、動画として観察するためには数十画像が必要となる。しかし、本研究では1画像あたりの被曝線量をまず求め、他の撮影方法における1画像におけるそれと比較する方法を採り、さらに、実際の顎機能検査に必要な時間中に撮影される

画像数に合わせて被曝線量を考察した。

X線テレビ、セファロ、およびデンタルの各照射実験の被曝線量の測定結果と各撮影方法における照射時間によって1画像あたりに換算した結果を表1に示した。なお、1画像あたりのデータに換算するにあたり、本学歯学部附属病院歯科放射線室のX線の撮影時間がセファロが0.2秒、デンタルが3秒（上顎大白歯部）であることを用いた。

被曝線量はTLDリーダーによってnC単位で読み取られるが、既知の校正定数0.618 (mGy/nC) を剰じて、被曝線量をmGy単位に換算した。バックグラウンドの値は 0.263 ± 0.047 mGyであり、この値を各照射実験によって得られた総被曝線量から差し引いた。

1. X線テレビの被曝線量に関して

1画像あたりに換算した被曝線量を照射野中央部について求めると、広角モードで 0.170 ± 0.013 mGy、拡大モードで0.623 mGyとなった。照射側の眼窩部では広角モードで 0.126 ± 0.010 mGy、拡大モードで 0.015 ± 0.001 mGyとなった。甲状腺部では広角モードで 0.015 ± 0.001 mGy、拡大モードで 0.004 ± 0.000 mGyとなった（表1、図6）。

拡大モードでは照射野中央部の被曝線量が最も多かったが、照射範囲が狭いために照射範囲から離れている眼窩部や甲状腺部では、被曝線量は非常に少なくなった。しかし、広角モードでは照射範囲が広いために照射野中央部は比較的少なかったが、照射範囲に近接した眼窩部は多くなった。

2. セファロ撮影時の被曝線量に関して

被曝線量を1画像に換算した結果は表1、図6に示す。側面の撮影では照射野中央部は 0.557 ± 0.032 mGy、眼窩部は 0.481 ± 0.042 mGy、甲状腺中央部は 0.054 ± 0.004 mGyとなった。正面撮影では照射野中央部 0.518 ± 0.023 mGy、眼窩部 0.009 ± 0.003 mGy、甲状腺中央部 0.041 ± 0.004 mGyとなった。

3. デンタル撮影時の被曝線量

1画像あたりの被曝線量は照射野中央部で 25.353 ± 1.092 mGy、照射側眼窩部で 1.900 ± 0.433 mGy、甲状腺中央部で 1.117 ± 0.540 mGyとなった（表1、図6）。

考 察

1. 各撮影法における被曝線量の比較に関して

各撮影方法の被曝線量についてデンタル撮影を基準として表2に相対値で示した。照射野中央部についての比較では、デンタル1画像の被曝線量を1とするとX線テ

表2 デンタル撮影時の被曝線量を1としたときの各撮影法における1画像あたりの相対的な被曝線量の大きさ

撮影方法	照射野中央部	照射側眼窩部	甲状腺中央部
デンタル（上顎大白歯）	1/ 1.0	1/ 1.0	1/ 1.0
セファロ（側面）	1/ 45.5	1/ 4.0	1/ 18.5
セファロ（正面）	1/ 48.9	1/211.1	1/ 27.2
X線テレビ（広角モード）	1/149.1	1/ 15.1	1/ 74.5
X線テレビ（拡大モード）	1/ 40.7	1/126.7	1/279.3

レビ広角モード（1/149.1）、セファロ正面（1/48.9）、セファロ側面（1/45.5）、X線テレビ拡大モード（1/40.7）の順に少なかった。照射側眼窩部では、セファロ正面（1/211.1）、X線テレビ拡大モード（1/126.7）、X線テレビ広角モード（1/15.1）、セファロ側面（1/4）の順に少なかった。甲状腺部では、X線テレビ拡大モード（1/279.3）、X線テレビ広角モード（1/74.5）、セファロ正面（1/27.2）、セファロ側面（1/18.5）の順に少なかった。

X線テレビ撮影の場合は動画像なので、撮影が数秒から数分かかり、撮影画像数が多くなるために被曝線量が多くなることが考えられる。そこで、X線テレビで6画像/秒の撮影速度で1分間の撮影したときの被曝線量を考察する。この撮影速度でX線テレビを1分間撮影すると360画像を撮影することになる。このときの被曝線量は表1、2のデータから算出し、デンタル撮影の照射野中央部との比較で考えると、広角モードでは61.6 mGyでデンタル約2.4枚分となり、拡大モードでは224.6 mGyでデンタル8.8枚分となると考えられた。

2. 顎口腔機能の動態検査における被曝線量に関して

X線テレビを用いた顎口腔機能検査の中で、運動速度の速いものと運動時間の長いものの動態検査の典型的な2例において、本研究で得られたデータをもとにして、X線テレビの撮影時の被曝線量を検討した。

1) 運動速度の速い動態検査時の被曝線量

顎関節のクリック時の下顎頭の運動は顎口腔系の動態の中でも速度が速い例の1つと考えられる⁵⁾。これをとらえるには撮影速度が速くなければならない。そこで、実際に我々の教室の下顎の開閉口運動データ⁶⁾でクリックに関してその持続時間およびクリック部分の下顎頭の移動距離⁷⁾（図7）、移動速度およびその間に撮影される画像数に関して検討した結果を表3に示した。

これらのデータをまとめると、クリックの持続時間は平均で 83.8 ± 35.4 msecとなり、最短で40 msec、最長で150 msecであった。また、クリック時の下顎頭の移動距離は平均で 1.8 ± 1.1 mmとなり、最短で0.7 mm、最長で3.4 mmであった。

次に、下顎頭のクリックを本X線テレビで捉えること

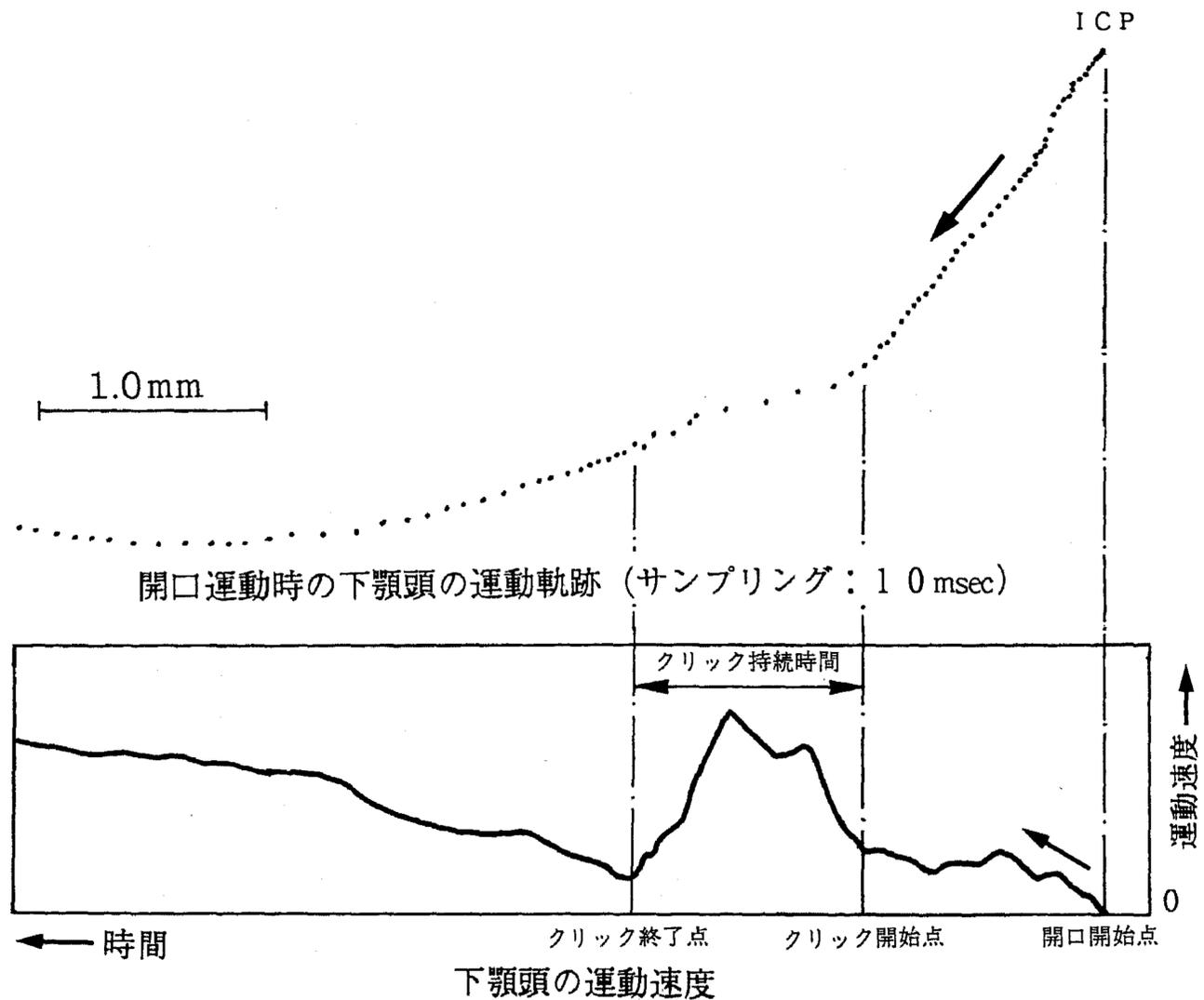


図7 下顎頭の運動軌跡上のクリックの持続時間の測定方法
(下顎運動データのサンプリングは100Hz)

表3 X線テレビによるクリックの撮影に関するデータ

	被 験 者								平均	SD
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
クリック持続時間 (msec) *	50	150	100	70	70	40	110	80	83.8	35.4
撮影可能画像数**	3	8	5~6	4	4	2~3	6	4~5	5	2
クリック距離 (mm) ***	1.00	3.30	1.20	1.60	3.40	0.70	2.10	0.80	1.76	1.08
クリック速度 (mm/msec) ****	0.02	0.02	0.01	0.02	0.05	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
1画像あたりの下顎頭のぶれ (mm) *****	0.20	0.22	0.12	0.23	0.49	0.18	0.19	0.10	0.22	0.12

- * クリック持続時間とは開閉口運動中の下顎頭の運動が急に速くなる間の時間とする (図7)。
 ** 撮影可能画像数とはクリック中に撮影される可能性の画像数とし、クリック持続時間を撮影速度 (20msec/画像数) で除した値となる。
 *** クリック距離とは下顎頭の運動路上でクリック開始点と終了点とを結ぶ直線距離とする (図7)。
 **** クリック速度とはクリック距離をクリック時間で除したものである。
 ***** ぶれとは1画像撮影する間に生じる下顎頭の位置のずれで、クリック速度にX線の照射時間の10 msec を剰じた値とする。

に関して、クリックの間に撮影できる画像数と1画像あたりの下顎頭の位置のずれとについて検討する。

X線テレビの最速の撮影速度は1秒間に50画像の撮影速度であり、これは1画像を20msec間隔で撮影することになるので、表3に示すように計算上ではクリック部

分の撮影可能画像数は平均で5画像、最少で2画像、最多で8画像の撮影が可能となる。

X線テレビのこの撮影速度では、X線は10msec照射され、10msec休止しているが、この10msecの照射時間中に生じた下顎頭の位置のずれは、連続的に観察する場

表4 X線テレビ(拡大モード)で2秒間、100画像を撮影した場合の被曝線量

測定部位	総被曝線量 (mGy)	デンタルへの換算 (枚数)
照射野中央部	62.3	2.5
照射側眼窩部	1.5	0.8
甲状腺中央部	0.4	0.4

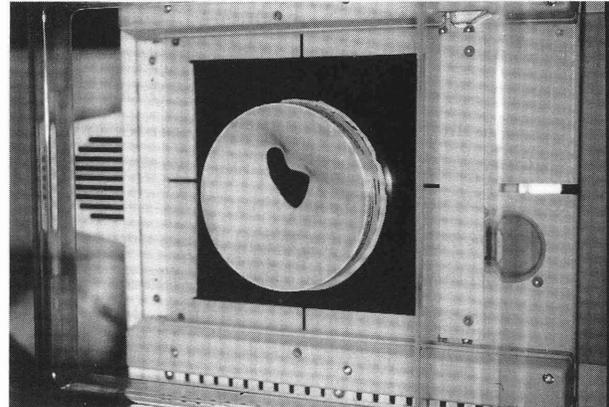


図8 X線の発生管側に取り付けた自作のフィルター

合には問題ないが、1画像ごとに下顎頭の形態や位置をトレースする場合には、被射体ぶれとなり、画像上の下顎頭の輪郭を不明確にするおそれがある。そこで、この被射体ぶれの大きさを検討するために、クリック時の下顎頭の移動速度を算出すると平均で $0.02 \pm 0.01 \text{ mm/msec}$ となった。これにX線の照射時間の10msec 剩じると1画像の撮影時間中の下顎頭像の被射体ぶれの大きさが得られ、算出すると平均で $0.22 \pm 0.12 \text{ mm}$ となった。しかし、この被射体ぶれの大きさは画面中の下顎頭の大きさと比較するとわずかと考えられ、画像の明確さを損なわないと考えられた。

次に、クリック撮影時の被曝線量に関して検討する。50画像/秒の撮影をすると、開閉口運動は通常1回につき2秒程度を要するので合計で100画像を撮影することになる。このときの被曝線量を表4にまとめた。なお、被曝線量の測定実験時には6画像/秒の撮影速度で行っているが、このX線テレビのシステムでは50画像/秒の撮影速度のときも単位時間あたりの被曝線量が一定となるように線量率が制御されている。これによると照射野内の中央部は100画像の合計で62.3mGyとなり、デンタルの撮影に換算すると2.5枚分となった。照射側眼窩部では約1.5mGyとなり、デンタル撮影時の照射側眼窩部の被曝線量の0.8枚分となった。甲状腺部ではさらに少なく0.4mGyとなり、デンタル撮影時の甲状腺部の0.4枚分となった。すなわち、X線テレビ撮影で開閉口運動1回分の被曝線量はデンタル1枚以下の被曝線量に相当すると

表5 X線テレビ(広角モード)で20秒間、120画像を撮影した場合の被曝線量

測定部位	総被曝線量 (mGy)	デンタルへの換算 (枚数)
照射野中央部	20.4	0.8
照射側眼窩部	15.1	7.9
甲状腺中央部	1.8	1.5

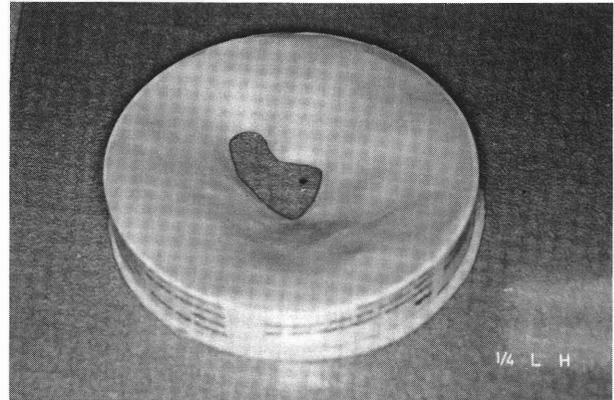


図9 咀嚼機能検査撮影用フィルター：撮影に必要な範囲の周囲の厚みを移行的にすると画像中に境界線が出ない。

考えられた。

2) 長時間の顎機能動態検査時の被曝線量

咀嚼から嚥下までの長時間の顎機能動態検査のときのX線テレビは、通常、広角モードで、6画像/秒の撮影速度で撮影している。咀嚼開始から嚥下まで1秒間に1回のストロークで20回ほど開閉口運動が行われたとすると合計で約20秒、計120画像の撮影が行われることになる。このときの被曝線量を表5にまとめた。これによると照射野中央部で20.4mGyで、デンタルに換算すると0.8枚分となり被曝線量は少ないが、他の部位では照射側眼窩部が被曝線量が最も多く15.1mGyとなり、デンタル撮影時の照射側眼窩部の被曝線量の7.9枚分となった。これは広角モードで撮影していることにより照射野が広がっているためと考えられた。

このように頭部の広い範囲の撮影では検査に無関係でX線感受性の高い眼窩部や甲状腺部への被曝が多くなるので、被曝線量を少なくするためには別の対策を考える必要がある。

われわれは、眼窩部および甲状腺部など放射線感受性の高い臓器に相当する部位のX線の被曝量を少なくするために、X線テレビの発生管側に独自に製作したフィルターを取付けて撮影を行っている(図8)。

フィルターは油粘土に粉末の硫酸バリウムを混和し、アクリル板に張り付けたものである。検査に必要な部分の周囲は厚みを移行的にし、画像の解析に支障がないように工夫されている(図9)。

図5で眼窩部, 甲状腺部, 頸椎部, 顔面前方部が黒く影になっていることわかるように, このフィルターによってこれらの部分の被曝線量を減少させることができ, また, 顔面前方部の空間のようにコントラストが強い部分をマスクすることによって, 画像の階調がより細かに表示できるようになった。

ま と め

TLD素子を用いてX線テレビの被曝線量を測定し, 顎機能検査時の被曝量に関して検討した結果, 以下のよう

- 1) 本研究のX線テレビは, 上顎大臼歯部のデンタル撮影と比較して1画像あたりの被曝線量は最大でも照射野内中央部で1/41, 照射側眼窩中央部で1/15, 甲状腺中央部で1/75となり, 非常に少なかった。
- 2) 顎関節のクリックおよび咀嚼運動のX線テレビ撮影に伴う被曝線量を推定した。
- 3) 本研究のX線テレビは, 最速の50画像/秒の撮影速度でクリック部分の下顎頭の動態が平均で5画像を撮影可能と考えられた。このように顎機能動態の中で最も速い動態の1つである下顎頭のクリック運動の撮影が可能であることがわかった。
- 4) 咀嚼運動撮影時に頭部のX線感受性の高い眼窩部や甲状腺部などを防護するためのフィルターを製作した。

X線撮影時の被曝量は少なければ少ないほどよい。本研究で用いたX線テレビMULTISKOP®は撮影時の

被曝線量が非常に少ないことから, 今後, 臨床において顎機能の診断支援システムの一翼を担い, 活用されて行くと考えられた。

本論分の要旨は平成6年度新潟歯学会第1回例会(1994年7月16日)において発表した。

文 献

- 1) Kato, K., Iwakata, S., Kohno, S.: The fluorographic system for analysis of stomatognathic function in physiological posture: The proceeding of the first international symposium on the methods and processes of Japan-Rusia North East Asia Medical Exchange, 91, 1993.
- 2) 都丸禎三: CaSO₄とBeO熱ルミネセンス線量計素子の特性と線量測定への応用, 日医放物理会誌 Suppl-18, 31-60, 1983.
- 3) 加藤義雄, 橋詰雅, 辛島博ほか: TLD蛍光体素子郵送法による診断用X線線量測定の相互比較の研究, 日医放物理会誌, 41(9), 857-867, 1981.
- 4) 都丸禎三: TLDによる医療用放射線測定の実際, 日本医放会誌36, 808-825, 1976.
- 5) 大井啓二: 顎関節雑音を有する顎機能異常者の顎運動分析, 補綴誌, 37, 362-375, 1993.
- 6) 加藤一誠: 切歯路傾斜度の顎頭運動に与える影響第1報矢状切歯路傾斜度, 補綴誌, 30: 108-127, 1986.
- 7) 深川聖彦: 相反性クリック発生時の顎関節部の動態, 補綴誌, 39, 296-302, 1995.