



Title	12inch I.I. 間接撮影法による胃X線検査における組織及び器官線量の算定
Author(s)	浦橋, 信吾
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1980, 40(3), p. 222-237
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/20065">https://hdl.handle.net/11094/20065</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# 12inch I.I. 間接撮影法による胃X線検査における 組織および器官線量の算定

日本大学医学部放射線医学教室（主任：鎌田力三郎教授）

浦 橋 信 吾

（昭和54年11月14日受付）

（昭和54年12月19日最終原稿受付特別掲載）

## Estimation of Tissue and Organ Doses in Stomach Photofluorographic Examination by a 12 inch dia. Image Intensifier System

Shingo Urahashi

Department of Radiology School of Medicine, Nihon University

(Director: Prof. Rikisaburo Kamata)

---

Research Code No.: 302

---

Key Words: Tissue or organ dose, Stomach photofluorography,  
12 inch image intensifier

---

The tissue and organ doses in patient during the stomach photofluorographic examinations were estimated based on the records of the irradiated regions of patient and the experimental date obtained from the phantom measurements.

These records of irradiated regions were obtained by using the photographic method in which images on X-ray television monitor were photographed continuously by a 35 mm motor driven camera, and the entrance surface doses of patient were measured with a transmission type ionization chamber attached to the front of the diaphragm of a X-ray tube.

The tissue or organ doses were determined with a ionization chamber and a thermoluminescent dosimeters placed in a tissue equivalent phantom, and the results obtained were as follows:

1) The tissue or organ doses per photofluorography by 12 inch dia. image intensifier (I.I.) system were 2.1 mrad (21  $\mu$ Gy) for the male gonad and 28.4 mrad (284  $\mu$ Gy) for the female gonad. Similarly, the breast; 78.5 mrad (785  $\mu$ Gy), bone marrow; 44.7 mrad (447  $\mu$ Gy), lung; 30.1 mrad (301  $\mu$ Gy), thyroid; 1.4 mrad (14  $\mu$ Gy), bone; 186 mrad (1.86 mGy), stomach; 199 mrad (1.99 mGy), liver; 165 mrad (1.65 mGy), small intestine; 189 mrad (1.89 mGy) and the large intestine; 140 mrad (1.4 mGy).

2) The tissue or organ doses for a I.I. system were about one-tenths smaller than these for a mirror camera system, and so this I.I. system should be more prevalently employed in mass screening of stomach cancer.

### 目 次

#### I 緒言

#### II 被検者の被曝線量の実測

##### 1. 実験装置および方法

- 1) 12inch I.I. 間接撮影装置
- 2) モータードライブカメラによる透視時間および照射部位の記録
- 3) 透過型モニター電離箱による被曝線量の測定

## 2. 結果

- 1) 撮影体位術式と透視時間
- 2) 撮影体位術式と照射部位
- 3) 透視および撮影の入射面線量

## Ⅲ 胃間接X線検査の組織および器官線量の算定

### 1. 実験材料および方法

- 1) 線量測定器
- 2) X線管電圧と線量分布の測定
- 3) 身体各組織または器官の解剖学的位置について
- 4) 不均質水ファントムによる線量測定

### 2. 結果

- 1) TLD 素子の診断域X線に対するエネルギー依存性
- 2) 深部線量百分率および線量分布
- 3) 組織および器官線量の算定
  - i) 12inch I.I. 間接撮影
  - ii) ミラーカメラ間接撮影
- 4) 被曝線量からみた間接X線検査法の比較 (effective dose equivalent の算定)

## Ⅳ 考察

1. 撮影枚数および撮影体位術式と透視時間について
2. 透視および撮影の照射部位の記録について
3. 組織および器官線量について

## V 結語

## Ⅵ 引用文献

### Ⅰ 緒言

胃集団検診では年間320万人以上に間接X線撮影が行われている<sup>1)</sup>。被検者の大多数が健康者であることから、被曝線量の少ない検査法が強く望まれてきた。このことから、X線に対して高感度で解像度もよい CsI 蒸着型の12 inch Image intensifier (以下 I.I. と略) を用いた間接撮影装置が開発され普及している。

従来の放射線防護の考え方は生殖腺や赤色骨髄などの決定組織の被曝を問題にしていたが、最近の UNSCEAR 報告<sup>2)</sup>、NCRP<sup>3)</sup> および ICRP 26<sup>4)</sup>

などによると、この他多くの組織または器官にもリスクがあるという考え方に立っている。したがって、胃間接X線検査法の被曝についての最適化や正当化をはかるには、身体各組織や器官の被曝線量を知らなければならない、それには臨床における透視および撮影の実態を十分把握した線量測定データに裏付けされる必要がある。

今回、著者は透視および撮影時のX線 TV モニター像を 35mm モータードライブカメラで連続的に撮影し記録することと、X線管射出口多重絞り前面に取付けた透過型線量計による被曝線量の測定の組合せとから、胃間接X線検査の際、被検者の身体各部位における被曝線量を計測する方法を開発した。この測定結果とファントム実験から、12 inch I.I. 間接撮影法による胃X線検査時の身体各組織および器官線量を算定したので報告する。

### Ⅱ 被検者の被曝線量の実測

#### 1. 実験装置および方法

##### 1) 12 inch I.I. 間接撮影装置

研究に用いた12 inch I.I. 間接X線撮影装置は東芝 (DT-SI-1 型) 上X線管型消化管専用テレビ透視装置で、焦点—蛍光面間距離 (以下 F.F.D と略す) は 110cm (焦点—天板間距離 105cm)、CsI 蒸着型 12 inch I.I. は東芝 HR 型—RTH 2301—G2である。グリッドは格子比が5:1のものを2枚使用した。12 inch I.I. 間接撮影系の総合解像度は中心部で 3.0 L.P/mm、ほぼミラーカメラ間接と同程度である<sup>5)</sup>。

##### 2) モータードライブカメラによる透視時間および照射部位の記録

透視および撮影の際に、被検者のX線照射部位、照射野、X線入射方向などを知るために Fig. 1 に示す如く、透視診断用 TV モニターとは別のモニターを用意した。この TV モニター像を撮影するために、ニコン 35mm モータードライブカメラ (250枚撮り) を 50cm の距離に固定し、透視および撮影のスイッチと連動させて3秒間隔でフィルムに記録した。TV モニター像には、透視時間をデジタルで表示してあるので、各撮影体

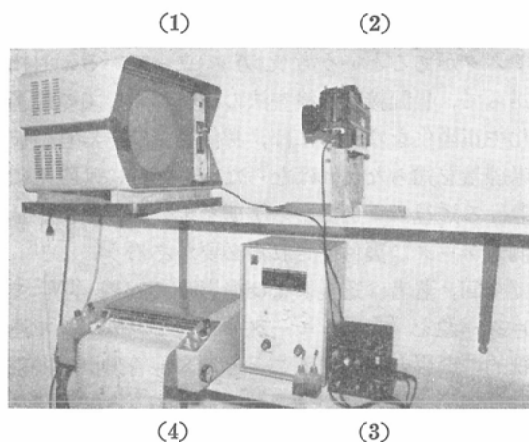


Fig. 1. View of the systems for recording the irradiated regions of patient and measuring X-ray radiations. TV-monitor (1), 35mm motor driven camera (2), dosimeter (3), recorder (4).

位術式に要する透視時間を知ることができる。併せて、X線照射野と照射部位を知ることができる。

### 3) 透過型モニター電離箱による被曝線量の測定

被検者が受ける線量を解析するため、Fig. 2に示す如く、X線管多重絞りの前面に透過型モニター電離箱（島津製 DQ—20面積線量計）を取付け、出力積算線量を測定した。この線量計は、導電性で透明な0.1mm厚さのポリエステルフィルムを平行平板電極としたものである。大きさは電極有効面積  $160 \times 160 \text{mm}$  で、2枚のポリエステルフィルム面間隔 10mm の中間に集電膜面がある三重の構造となっている。この電離箱のX線吸収効果はアルミ当量で0.2mmである。線質依存性は透視撮影に用いられるX線管電圧領域で5%の範囲である<sup>9)</sup>。この線量計の読値は照射線量と照射野の積 ( $R \cdot \text{cm}^2$ ) で表わし、2ペンレコーダーに積算値で記録した。上X線管型12 inch I.I. 間接撮影では照射野を被検者透過面で  $30 \times 30 \text{cm}$  と一定で行ったので、照射線量のモニター線量計の役をしている。

検査時における被検者の入射面線量 ( $R$ ) は次の方法で求める。あらかじめ校正した Ionex 2,500/3の0.6cc電離箱を長さ60cm、幅30cm、厚

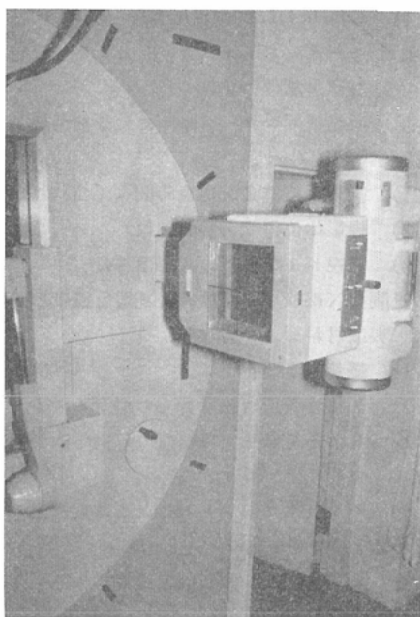


Fig. 2. Transmission type ionization chamber attached to the front of diaphragm of X-ray tube.

さ2cmのMiXDP板の表面に半分埋め、この板の下にMiXDPを重ねて被検者の腹厚に相当するファントムとした。検査時の照射条件で再照射を行い、透過型モニター線量計の読値と入射面線量の関係を求めた。照射野の大きさおよび位置は35mmフィルムによって記録されているが、多重絞りの上下駆動の電気信号をとらえて出力線量測定と同時にレコーダーに記録し、照射野上下幅のチェックを行った。

## 2. 結果

### 1) 撮影体位術式と透視時間

透視および撮影の手順を知るために、X線照射のスイッチと連動させて、透視は3秒毎に、撮影はその都度、TVモニター像を35mmフィルムに記録した。Fig. 3に一例を示す。始めは腹臥位の撮影であるが、胃の位置の把握が不十分なため、5秒後の透視の記録フィルムでは、下腹部が利用線錐内に入っている様子がとらえられている。次に、胃の位置を12 inch I.I.の視野に入るように透視しながら、15秒後に最初の撮影を行ったことが示されている。このようにして、透視お

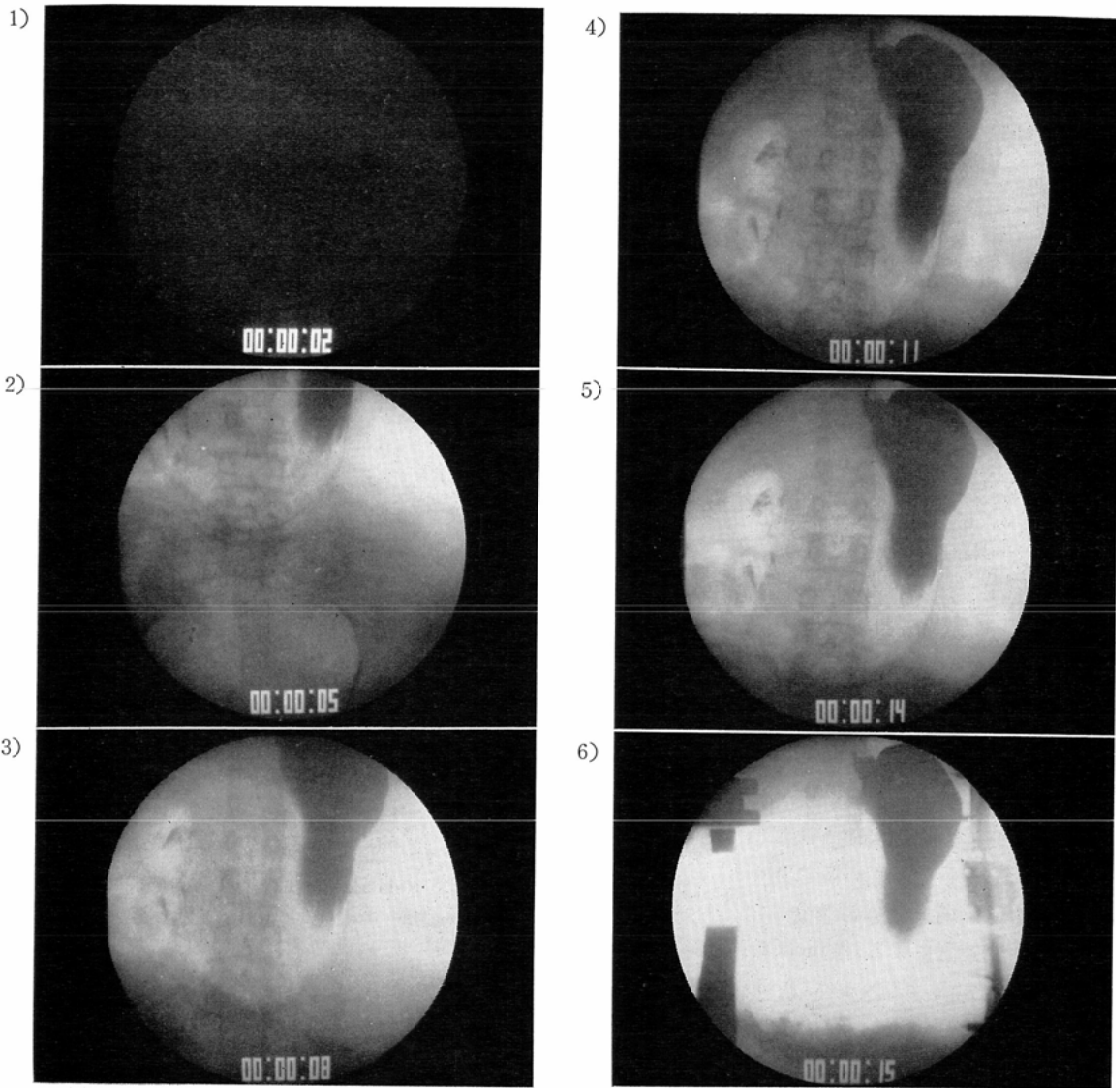


Fig. 3. Photographs taken from the images on X-ray television monitor.

よび撮影の照射部位、各撮影体位を行うまでの透視時間およびX線の入射方向などを正確に知り得た。

Table 1 に、駿河台日大病院放射線科で、スクリーニング的な胃X線検査として行っている11枚撮影体位術式による12 inch I.I. 間接撮影の透視時間の計測結果を示した。2名の技師が行った50例（男25名、女25名）についての各撮影体位を撮影するまでの平均透視時間とその標準偏差であ

る。最初の腹臥位を撮影するには、胃の位置の把握が不十分なため11.5秒を要しているが、その後の撮影では3秒程度短縮され、11撮影体位術式の1体位あたりの平均透視時間は8.5秒であった。このデータを用いて、現在胃集検で広く実施されている6枚撮影法の透視時間を算定した。すなわち、日本胃集検学会の間接撮影標準化委員会が答申したB撮影体位術式（腹臥位レリーフ、立位充満、腹臥位充満、背臥位二重、背臥位二重第

Table 1. Radiographic positioning and fluoroscopy time in upper gastrointestinal photofluorography by 11 films using a 12 inch dia. image intensifier system.

Position	Fluoroscopy time (second)
(1). Prone (relief, P-A)	11.5±6.8
(2). Oesophagus (A-P)	7.1±1.6
(3). Oesophagus (right anterior oblique, A-P)	7.1±4.9
(4). Erect (barium filled, A-P)	9.9±3.2
(5). Supine double contrast (A-P)	8.3±3.7
(6). Prone (barium filled, P-A)	8.3±4.2
(7). Right anterior oblique supine (double contrast, A-P)	9.1±4.3
(8). Left anterior oblique supine (double contrast, A-P)	7.7±3.6
(9). Schatzki (barium filled, A-P)	10.2±5.8
(10). Erect (barium filled, A-P)	7.4±3.6
(11). Right anterior oblique erect (barium filled, A-P)	7.2±3.5
Total	93.8

Table 2. Radiographic positioning and fluoroscopy time in stomach photofluorography by 6 films using a 12 inch dia. image intensifier system.

Position	Fluoroscopy time (second)
(1). Prone (relief, P-A)	11.5
(2). Erect (barium filled, A-P)	9.9
(3). Prone (barium filled, P-A)	8.3
(4). Supine double contrast (A-P)	9.1
(5). Right anterior oblique supine (double contrast, A-P)	7.7
(6). Right anterior oblique erect (barium filled, A-P)	7.4
Total	53.9

2 斜位, 立位第 1 斜位の順序で撮影する)の透視所要時間を Table 2 に示した. 撮影体位の手順によっても透視時間は多少異なるが, この B 撮影体位術式の透視時間の合計は 53.9 秒であった. この算定値を後述の胃間接検査法における身体各組織および器官線量の算定の際に用いた.

2) 撮影体位術式と照射部位

上 X 線管式装置による 12 inch I.I. 間接撮影では人体透過面における X 線錐は 30×30cm と一定で行ったが, 身体各組織および器官の線量を算出するには, 各撮影体位ごとの照射野の位置を知

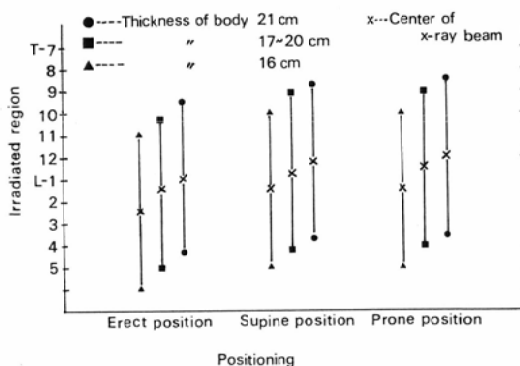


Fig. 4. Relationship between radiographic positioning and irradiated regions of patient in stomach photofluorography using a 12 inch dia. image intensifier system.

る必要がある. Fig. 4 に, 50 例の X 線照射範囲を脊椎の位置で示した. 50 例の被検者の平均腹厚は

Table 3. Entrance surface dose in stomach photofluorographic examinations by 6 films using a 12 inch dia. image intensifier system.

Thickness of body	(1) Fluoroscopic operation operating parameters dose mR	(2) Radiographic operation operating parameters dose mR	(1)+(2) mR	$\frac{(1)}{(1)+(2)}$
16 cm	80 kV, 1 mA time 53.9 sec. 606	85 kV, 150 mA phototimer 147	753	0.8
17—20 cm	90 kV, 1 mA time 53.9 sec. 723	” 257	980	0.74
21 cm	95 kV, 2 mA time 53.9 sec. 1261	” 409	1670	0.75

Dosimeter: Shimadzu Exposure monitor (DQ-20)

18cmであったが、腹厚16cm以下は13例、標準的体格の腹厚17~20cmは28例および腹厚21cm以上は14例であった。腹厚21cm以上の被検者は16cm以下に比べ、照射範囲が1椎体半ほど上方であった。また撮影体位でみると、立位は臥位より1椎体ほど下方に照射範囲があることが判明した。

3) 透視および撮影の入射面線量

撮影術式がB体位の6枚撮影、位置決め透視時間53.9秒の場合の撮影条件とそれから算定した入射面線量をTable 3に示した。透視および撮影の際の入射面総線量は腹厚16cm以下の場合には753mR、標準体格の17~20cmは980mR、そして21cm以上は1,670mRであった。このうち撮影入射面線量はそれぞれ147, 257および409mR(1枚当たり平均で24.5, 42.8および68.1mR)であり、透視線量が74~80%を占めていた。

III 胃間接X線検査の組織および器官線量の算定

従来からの放射線防護では、生殖腺、赤色骨髄などの決定組織の被曝を問題にしていたが、この概念では照射された組織の相対的放射線感受性を考えて損害を合算することができなかった。UNSCEAR, NCRP および ICRP 26 などでは、照射されたすべての組織の被曝に起因する総リスクを考慮に入れた一つの方法を勧告している。

したがって、胃集団検診などによる胃間接X線撮影法の最適化や正当性を論ずるには、検査1件当りの身体各組織や器官線量を知る必要がある。このため、前述のI.I.間接撮影における被検者の入射面線量と照射部位の計測にもとづいて、(1)人の骨格およびコルクで作った肺を含んだ18cm厚さの人体不均質水ファントムによる線量測定、(2)MiXDP均質ファントムによる深部線量曲線と線量分布の測定および(3)人体横断解剖図による臓器の位置から、腹厚18cmの標準体格の被検者の胃間接X線検査における身体各組織や器官の被曝線量を算定した。

1. 実験材料および方法

1) 線量測定器

診断域X線のMiXDP均質ファントム中での深部線量百分率と線量分布の測定には測定レンジ範囲が広く、かつ検出部の容積が小さいことが必要である。このため、Ionex 2,500/3の0.6cc電離箱と応用技研製0.6cc電離箱をタケダTR-84M型振動容量電位計に組合せたものを使用した。いずれも電総研で比較校正された応用技研製0.6cc電離箱で校正した。実効エネルギー25keV以上のX線についての感度の相違は両測定器とも10%以下であった<sup>9)</sup>。

人体不均質水ファントムによる測定には検出器の容積が小さくかつ高感度の極光Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>:Tbガラスカプセル(2mmφ×10mm)封入のTLD素子を用いた。素子の材質は原子番号が高く、ガラスカプセル封入型なのでエネルギー依存性があると考えられるので、MiXDPファントム5cmおよび10cmの深さで、Ionex 0.6cc電離箱と校正して線量を求めた。

2) X線管電圧と線量分布の測定

本実験に用いた12 inch I.I.間接撮影装置は上X線管方式で焦点-天板間距離が105cmと一定である。測定の幾何学的条件をFig. 5に示した。被検者の腹厚18cmに相当するMiXDPファントム(長さ60cm×幅30cm×厚さ18cm)を天板上に置き、透過面での線束を30×30cm(入射面25×25cm)とし、外径7mmの電離箱で深部線量百分率および線量分布を測定した。X線管焦

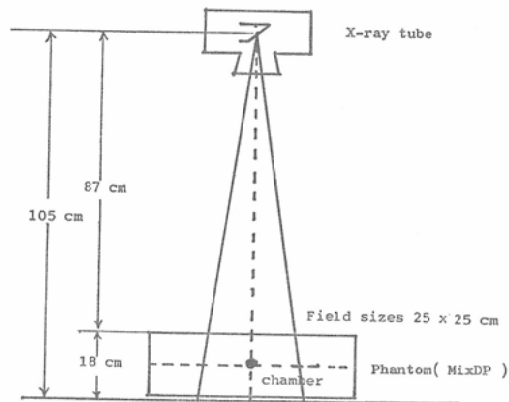


Fig. 5. Schematic diagram of experimental geometry.

点—表面間距離は 87cm で、X線束の総濾過はアルミ当量2.5mm である。X線装置の管電圧および、電流の校正にはそれぞれ ALCO 電機社製の管電圧計および管電流計を用いた。

3) 身体各組織または器官の解剖学的位置について

身体各組織および器官線量を算定するにはそれらの解剖学的位置の決定が必要である。平均的身長を有する被検者のX線写真と Meyers<sup>9)</sup> の CT 解剖書の各横断解剖図譜を参考にして組織や器官の位置を次のように仮定した。

生殖腺の位置は、男性では第Ⅱ腰椎から正中線の下 26cm の距離で深さ 1cm とした。女性では第Ⅱ腰椎より 15cm 下方で、正中より側方へ 5cm、深さ 9cm とした。乳房の位置は第Ⅷ～Ⅺ胸椎の間とし正中より 8cm 側方、深さ 2cm とした。また甲状腺の位置は胸鎖関節上方 5cm で、深さ 1cm とした。以上の組織や器官相当部の線量測定は MiXDP 均質ファントムで行った。胃、肝臓、小腸、大腸などの位置と形状は個人差も大きく、臓器ファントムを決定するのは容易ではない。このため Meyers の人体腹部横断解剖図譜の12枚の横断面図から、臓器の位置を腹厚 18cm 体格に換算して求めた。Fig. 6 に第Ⅱ腰椎の位置の横断解剖図の一例を示した。胃は前面より 4cm、十二指腸は 6cm、肝臓は 7cm、横行結腸、空腸は 6cm、下行結腸は 10cm に存在することが示されている。同様に、各臓器の位置を12枚の横断面図から求め、平均臓器線量は深部線量百

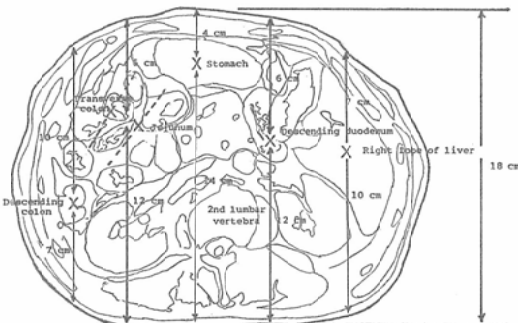


Fig. 6. Cross-section of the abdomen at the level of the 2nd lumbar vertebra.

分率と線量分布から計算で算定した。

4) 不均質水ファントムによる線量測定

放射線治療の際の線量分布などの測定に用いられている Alderson Rando 人体ファントムは検出器を入れる穴の位置が決まっており、診断域X線照射での組織や器官線量を測定するには必ずしも便利ではない。したがって本実験では、骨髄、骨および肺の線量は多くの測定点からの平均値を得る必要があるため、Fig. 7 に示す如く、長さ 80

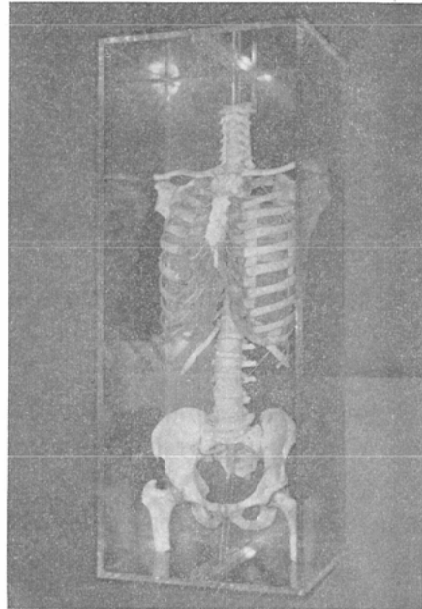


Fig. 7. Photograph of the human phantom consisting of water, containing a human skeleton, with cork for lung tissue.

cm×幅 30cm×高さ 25cm のアクリル製水槽内に人骨およびコルク (=0.25g/cm<sup>3</sup>) で作った肺を入れ、水を 18cm の高さまで満した人体不均質ファントムを使用した。なお人体は矩形ではないので、発泡スチロールで胸郭の形状に合わせて水を排除し胸壁が約 3cm の厚さとなる体形とした。

骨髄線量の測定では広範囲に骨髄が照射され、かつ骨の形状が複雑なので、Table 4 に示す如く片側のみ40個の TLD 素子を使用した。特に寛骨には 8 個を配置した。測定は TLD 素子を細いポリスチロール管に挿入し、骨の中心部まであけ



Table 4. Bone marrow distribution of a Japanese and the number of detectors used for measurements.

Part	Bone marrow weight (g)	Number of detectors
Skull	55.6	
Mandible	1.8	
Cervical vertebrae	22.3	1
Sternum	20.6	1
Scapulae	16.7	1
Clavicles	5.6	1
Ribs	104.5	10
Thoracic vertebrae	101.0	8
Lumbar vertebrae	85.8	8
Sacral vertebrae	65.8	2
Iliac bone	170.2	8
Femur	87.1	
Arm	28.0	
Total	765.0	40

た直径 3mm の穴の中に埋込んで行った。赤色骨髄線量算定の基礎になる値として、山田、橋本<sup>10)</sup>の日本人の赤色骨髄量 765g を用いた。平均赤色骨髄線量 D は次式で計算した。

$$D = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i \cdot d_i$$

ここで M は全身の赤色骨髄総量 765g,  $m_i$  は各検出器が代表する赤色骨髄の重量,  $d_i$  は各検出器によって測定された線量,  $n$  は骨の種類の数を表わした。骨線量は骨髄線量の場合と同様に 40 個の TLD 素子による測定値から求めた。また、肺の線量測定は第 IX, X および XI 胸椎相当部の位置で、片側の肺の真中の深さに、TLD 素子を 2 cm 間隔で左右方向に 3 個並べ合計 9 個を配置して、肺全体の容積を考慮し平均線量を算出した。

## 2 結果

1) TLD 素子の診断域 X 線に対するエネルギー依存性

Fig. 8 に診断域 X 線 60kV~140kV, すなわち実効エネルギーで 26keV~37keV の X 線に対する  $Mg_2SiO_4 : Tb$  ガラス封入素子の MiXDP ファントム 5cm, 10cm 深さでの感度を示した。100kV 程度の X 線で TLD 素子を校正すれば、±7% 程度の誤差範囲でファントム中の線量を知ることが

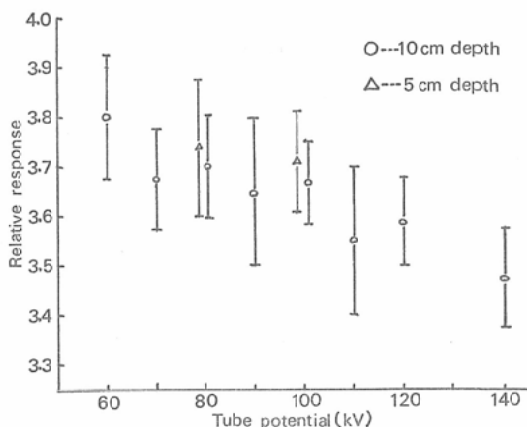


Fig. 8. Energy dependence of TLD ( $Mg_2SiO_4 : Tb$ ) dosimeter to diagnostic X-rays.

できることを示している。

2) 深部線量百分率および線量分布

本測定に用いた上 X 線管方式 12 inch I.I. 間接撮影装置で、管電圧 75, 85, 95, 105kV, 管電流 150mA の撮影条件と、75, 85, 95, 105kV で 1mA

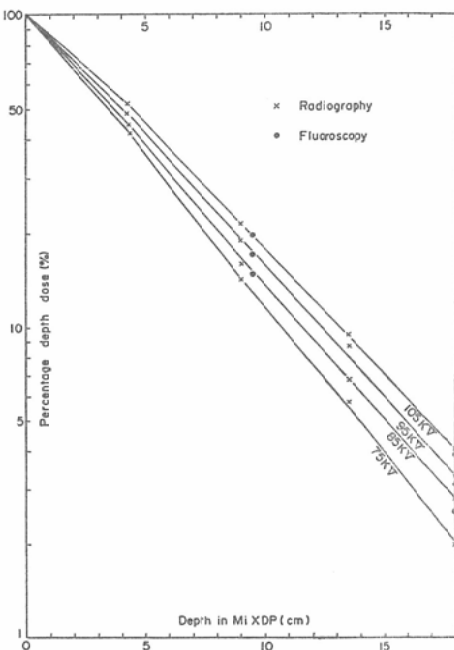
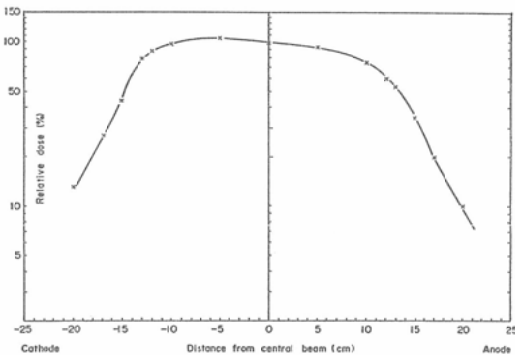


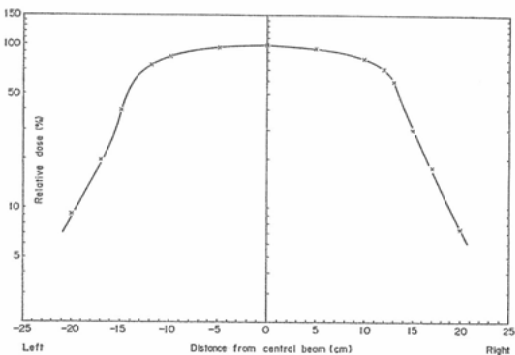
Fig. 9. Central axis percentage depth dose obtained with a  $25 \times 25$  cm field at 87cm from the X-ray focus.

の透視条件についての中心軸深部線量百分率を Fig. 9 に示した。透視および撮影条件での線質はほとんど同じであった。95kV と 105kV の深部線量百分率を比較してみると、MiXDP 9cm の深さでは 95kV は19%、105kV は21.5%であった。また、MiXDP 18cm を透過した場合には 95kV が3.3%、105kV は4%となった。これらの結果から、消化管X線検査で用いられる撮影条件の範囲で、管電圧が 10kV 誤差があったとしても、深部線量の誤差はおおよそ15%であることが明らかになった。

線量分布については、管電圧 95kV、深さ 9cm の場合の測定結果を Fig. 10, A) および B) に示した。X線管軸方向の分布の方が横切りの方向の分布より、対称性が悪い結果を得た。照射野中心か



A) Direction of parallel with the axis of X-ray tube.



B) Direction of crossing the axis of X-ray tube.

Fig. 10. Dose distribution of 25cm wide beam at 9 cm in MiXDP phantom.

Table 5. Measurement points and calculation points for tissue or organ dose.

Tissue or Organ	Points	Method
Gonad	1	ionization chamber
Breast	3	"
Thyroid	1	"
Lung	9	TLD rods
Red bone marrow	40	"
Bone	40	"
Stomach	6	calculations
Liver	7	"
Small intestine		
Duodenum	4	"
Jejunum	4	"
Ileum	2	"
Large intestine		
Ascending colon	4	"
Transverse colon	6	"
Descending colon	9	"
Sigmoid colon	3	"

ら離れた組織または器官線量を算定する場合、中心軸深部線量百分率から求めた値に横方向の線量分布の補正を加えた。なお、本研究に用いた I.I. 間接撮影装置は被検者の頭部が陰極側、足が陽極側となっている。

### 3) 組織および器官線量の算定

人体各組織または器官の被曝線量を算定するために、ファントム実験での測定点、深部線量百分率などから求める組織または器官相当部の線量計算点、および測定方法などを Table 5 にした。これらの各点の線量値から、各組織または器官ごとの平均線量を求めた。

X線管電圧が 85kV、95kV および 105kV で、照射野中心が第1腰椎の下縁の場合における、入射面線量 1 R 当りの組織または器官線量 (mrad) を Table 6, 7 および 8 に示した。なお、組織または器官線量を求める際の R-rad 変換係数は、軟組織に 0.915、骨に対しては 4.29 を用いた<sup>11)</sup>。また、骨髓線量を算定する場合に骨梁からの 2 次電子の影響による過線量補正は橋詰らの 1.03% を用いた<sup>12)</sup>。

管電圧が高くなると透過力が大きくなるので、

Table 6. Tissue or organ dose per entrance surface dose (1 R).

X-ray radiation was generated at 85kV.

Tissue or Organ	Direction of x-ray beam	
	P → A	A → P
Gonads Male	1.8mrad	1.8mrad
Female	18.1	18.1
Breast	59.4	90.0
Red bone marrow	46.8	34.2
Lung	30.0	30.0
Thyroid	1.3	1.4
Bone	194.0	142.0
Stomach	90.0	216.0
Liver	108.0	162.0
Small intestine		
Duodenum	108.0	243.0
Jejunum	78.3	225.0
Ileum	54.0	162.0
Large intestine		
Ascending colon	84.6	180.0
Transverse colon	62.1	261.0
Descending colon	151.0	126.0
Sigmoid colon	8.1	16.2

X-ray apparatus: over head tube

F.F.D: 110cm

Field size: 25×25cm

Thickness of phantom: 18cm

Center of x-ray beam: between 1st and 2nd lumbar vertebra

入射面線量当りの人体各組織または器官線量は増加する。たとえば撮影対象臓器である胃の線量で見ると、85kV に比べ 95kV はおよそ20%の線量増加であり、95kV に比べ 105kV はおよそ10%の線量増加であった。

X線入射方向によっても、組織または器官線量は変化する<sup>13)</sup>。すなわち解剖学的位置が身体中心部から偏っている乳房、骨髄、骨、胃、肝、小腸および大腸の被曝線量は、X線が腹背方向で入射した場合と背腹方向で入射した場合の差が大きいことを示している。また従来放射線防護で決定臓器とされていた生殖腺や赤色骨髄の線量に比較して、撮影対象臓器の胃を含めた肝臓、小腸、大腸および骨の線量が大きい結果を得た。

Table 7. Tissue or organ dose per entrance surface dose (1R).

X-ray radiation was generated at 95kV.

Tissue or Organ	Direction of x-ray beam	
	P → A	A → P
Gonads Male	2.2mrad	2.2mrad
Female	22.0	22.0
Breast	72.6	108.0
Red bone marrow	57.2	41.8
Lung	36.0	36.0
Thyroid	1.5	1.7
Bone	238.0	173.0
Stomach	110.0	264.0
Liver	132.0	198.0
Small intestine		
Duodenum	132.0	297.0
Jejunum	95.0	275.0
Ileum	66.0	198.0
Large intestine		
Ascending colon	103.0	220.0
Transverse colon	75.0	319.0
Descending colon	184.0	153.0
Sigmoid colon	9.7	19.4

X-ray apparatus: over head tube

F.F.D: 110cm

Field size: 25×25cm

Thickness of phantom: 18cm

Center of x-ray beam: between 1st and 2nd lumbar vertebra

次に、標準的体格である腹厚 18cm の場合について、B撮影体位術式(6枚)による上X線管式装置の I.I. 間接とミラーカメラ間接検査法における人体各組織または器官線量を算定した。

## i) 12 inch I.I. 間接撮影

Table 9 は前述のモータードライブカメラによる各撮影体位の透視時間および照射部位とモニター線量計の記録から、I.I. 間接検査における人体各組織または器官の線量を算定したものである。入射面線量が 980mR (透視 723mR, 撮影 257 mR) の場合、生殖腺線量は男性では 2.1mrad, 女性では 28.4mrad, 赤色骨髄線量は 44.7mrad の算定値を得たのに対して、胃を含めた消化管線量は 140~199mrad および骨線量は 186mrad と大

Table 8. Tissue or organ dose per entrance surface dose (1 R).

X-ray radiation was generated at 105kV.

Tissue or Organ	Direction of x-ray beam	
	P → A	A → P
Gonads Male	2.4mrad	2.4mrad
Female	24.0	24.0
Breast	79.2	117.0
Red bone marrow	62.4	45.6
Lung	39.0	39.0
Thyroid	1.7	1.9
Bone	259.0	189.0
Stomach	120.0	288.0
Liver	144.0	216.0
Small intestine		
Duodenum	144.0	324.0
Jejunum	104.0	300.0
Ileum	72.0	216.0
Large intestine		
Ascending colon	112.0	240.0
Transverse colon	82.0	348.0
Descending colon	201.0	169.0
Sigmoid colon	10.5	21.0

X-ray apparatus: over head tube

F.F.D: 110cm

Field size: 25×25cm

Thickness of phantom: 18cm

Center of x-ray beam: between 1st and 2nd lumbar vertebra

きな値を得た。

## ii) ミラーカメラ間接撮影

ミラーカメラ間接検査の場合の装置は上X線管方式でX線管焦点—蛍光板間距離 70cm (焦点—表面間距離 50cm) として、撮影および透視の管電圧は 105kV でファントム実験で行った。撮影入射面線量は1.5R×6枚=9R、また透視入射面線量については、透視時間53.9秒で2Rとした。この透視時間の設定は、ミラーカメラ間接6枚法の透視時間が30~60秒であるという松田<sup>14)</sup>の報告があるので妥当であろうと思われる。I.I.間接の場合と同様に人体不均質水ファントムとMiXDPファントムによる深部線量百分率、線量分布から、検査当りの組織および器官線量を算定

Table 9. Tissue or organ dose in stomach photo fluorographic examinations by 6 films using a 12 inch dia. image intensifier system.

Tissue or Organ	Dose (mrad)
Gonads Male	2.1
Female	28.4
Breast	78.5
Red bone marrow	44.7
Lung	30.1
Thyroid	1.4
Bone	186.0
Stomach	199.0
Liver	165.0
Small intestine	average 189.0
Duodenum	226.0
Jejunum	200.0
Ileum	143.0
Large intestine	average 140.0
Ascending colon	169.0
Transverse colon	220.0
Descending colon	155.0
Sigmoid colon	18.3

Operating parameters.

Fluoroscopy 90kV X-ray apparatus: over head tube

1 mA F.F.D: 110cm

53.9sec. Field size: 25×25cm

Radiography 85kV Thickness of phantom:

Total surface dose 0.98R 18cm

し、Table 10に示した。透視および撮影の入射面線量11Rの場合、生殖腺線量は男性では 20.6mrad、女性では 278mrad、赤色骨髄線量は 435mrad、胃を含めた消化管線量はおおよそ1,400~2,000mrad および骨線量は 1,810mrad であり、12 inch I.I. 間接検査法の約10倍の被曝線量であった。

## 4) 被曝線量からみた間接X線検査法の比較 (effective dose equivalent の算定)

放射線被曝によるリスクには、UNSCEAR の報告があるが、データの最小~最大値の幅が大きく利用には不便である。

ICRP 26 や NCRP に用いられているリスクは基本的には UNSCEAR のデータによっている。Table 11 に ICRP 26 と NCRP の risk factor を

Table 10. Tissue or organ dose in stomach photofluorographic examinations by 6 films using a mirror camera system.

Tissue or Organ	Dose (mrad)
Gonads Male	20.6
Female	278.0
Breast	770.0
Red bone marrow	435.0
Lung	294.0
Thyroid	13.6
Bone	1810.0
Stomach	1952.0
Liver	1618.0
Small intestine	average 1860.0
Duodenum	2217.0
Jejunum	1963.0
Ileum	1402.0
Large intestine	average 1378.0
Ascending colon	1657.0
Transverse colon	2159.0
Descending colon	1520.0
Sigmoid colon	178.0

Operating parameters. X-ray apparatus: over  
 Fluoroscopy 105kV head tube  
 1 mA F.F.D: 70cm  
 53.9sec. Field size: 20×20cm  
 Radiography 105kV Thickness of phantom:  
 Total surface dose 11R 18cm

示した。これらのリスクにはあまり大きな違いはない。したがって、成人を対象に行われている胃間接X線撮影装置の選択を検討するにあたって、放射線取扱従事者や公衆の構成員に適用される

ICRP 26の effective dose equivalent を求める式  $\sum_T W_T \cdot H_T$  を 12 inch I.I. 間接X線検査とミラーカメラ間接X線検査に仮りにあてはめて比較してみた。これには Table 9, 10 に示した検査当りの組織または器官線量と荷重係数  $W_T$  から計算して求めた。Table 12は計算の結果を示したものである。ミラーカメラ間接X線検査では effective dose equivalent は 785mrem となり、公衆の構成員の年線量当量限度の1.5倍となったが、12 inch I.I. 間接X線検査は 79.7mrem でおよそ 1/7であった。

IV 考 案

X線検査における生殖腺および骨髄の被曝線量を算定した報告には Laughlin<sup>15)</sup>, Epp<sup>16)</sup>, 宮川<sup>17)</sup>, 橋詰<sup>18)-24)</sup>, 吉永<sup>25)</sup>, Russell<sup>26)</sup>, 安徳<sup>27)</sup>および高久<sup>28)</sup>らの多くの研究がある。最近の UNSCEAR, NCRP および ICRP 26 などに示されている如く、放射線被曝によって、生殖腺や骨髄以外にも、多くの組織や器官にリスクが見積られている。したがって、X線検査における身体各組織および器官の被曝線量を算定するには、被検者の照射部位と線量を知る必要がある。撮影の場合は、フィルムに照射部位が記録されている。しかし、消化管検査のように透視をとまらぬ検査では、照射部位、照射野の大きさおよびX線入射方向などの時間的変化を知る必要がある。

吉永<sup>25)</sup>は人体ファントムに大きなシートフィルムを巻いてフィルム黒化法で行っている。尾内

Table 11. Risk factor of tissue or organ.

Tissue or organ	Risk factor		Remarks
	ICRP 26	NCRP	
Gonads	$1.0 \times 10^{-4} \text{ rad}^{-1}$	$1.0 \times 10^{-4} \text{ rad}^{-1}$	first two generations.
Breast	$2.5 \times 10^{-5} \text{ ''}$	$(3 \text{ to } 20) \times 10^{-5} \text{ ''}$	age and dose dependence. female.
Red bone marrow	$2.0 \times 10^{-5} \text{ ''}$	$(1 \text{ to } 6) \times 10^{-5} \text{ ''}$	age and dose dependence.
Lung	$2.0 \times 10^{-5} \text{ ''}$	$(2 \text{ to } 10) \times 10^{-5} \text{ ''}$	age dependence.
Thyroid	$0.5 \times 10^{-5} \text{ ''}$	$(2 \text{ to } 15) \times 10^{-5} \text{ ''}$	sex and ? age dependence.
Bone	$0.5 \times 10^{-5} \text{ ''}$	$0.5 \times 10^{-5} \text{ ''}$	age and protraction dependence.
Remainder (Other organ of tissues)	$5.0 \times 10^{-5} \text{ ''}$	$(1 \text{ to } 1.5) \times 10^{-5} \text{ ''}$	for a few other organ or tissues. (stomach, intestine, )

Table 12. Effective dose equivalent in stomach photographic examinations by 6 films.

Method	Irradiation conditions	Effective dose equivalent
Mirror camera	Fluoroscopy 105 kV, 1 mA 53.9 sec. Radiography 105 kV 6 films Surface dose 11 R	785. mrem
12 inch I.I.	Fluoroscopy 90 kV, 1 mA 53.9 sec. Radiography 85 kV 6 films Surface dose 0.98 R	79.7 mrem

ら<sup>29)</sup>は TLD 素子を 7.5cm 間隔で方眼紙に貼付したものを透視撮影装置の天板に固定し、患者の“へそ”を基準点に常に合せるという方法で表面線量分布を実測している。

今回、著者が開発した TV モニター像のモータードライブカメラによる連続記録とモニター線量計による同時測定との組合せで、被曝線量を解析する方法は、被検者や術者に測定を行っているという心理的影響を与えることが少なく、臨床における実態を十分把握した形で照射部位、照射野、各撮影体位術式当りの透視時間、入射面線量、X線入射方向などを計測できた。

### 1. 撮影枚数および撮影体位術式と透視時間について

被検者の被曝線量は撮影枚数に依存する。胃集検学会昭和51年度全国集計によると、330検査機関の54%が6枚撮影、23.3%が7枚以上、21.5%が5枚、1.2%が4枚撮影、全平均で6.1枚撮影である<sup>1)</sup>。1975年の橋詰ら<sup>30)</sup>の115施設へのアンケート調査では、平均撮影枚数は5.8枚と報告されている。本研究でも6枚撮影法で被曝線量を求めた。

次に、被曝線量は撮影体位術式にも関係する。Fig. 3に示した如く、透視を開始して、最初の胃撮影体位を整位するのに要する時間が長く平均

11.5秒であった。以後の撮影に要する透視時間は短縮され、1撮影体位あたり平均8.5秒であった。すなわち撮影体位の術式と手順によって被曝線量は変わることを知り得た。また Table 2に示した如く、胃集検で広く実施されている6枚撮影法のB体位術式の上X線管式装置による12 inch I.I. 間接検査の透視時間は50例から算定して平均53.9秒であった。橋詰らの調査では、ミラーカメラ75%、I.I. 間接25%の装置使用頻度を考慮した6枚撮影の平均透視時間は66.2秒、また松田<sup>14)</sup>の調査によると、上X線管式装置は30~60秒、下X線管式装置は透視時間が多少長くなると報告している。したがって本研究に用いた53.9秒の透視時間の算定は妥当なものと考えられる。

2. 透視および撮影の照射部位の記録について  
身体各組織または器官線量は撮影の対象としている胃の位置が、撮影体位術式により上下の方向に移動すること<sup>31)</sup>により多少影響をされる。橋詰ら<sup>30)</sup>の550枚の胃間接X線フィルムを調べたデータによると、照射部の中心の位置は、立位は第II腰椎の下縁、臥位では第I腰椎の下縁と報告している。今回、Fig. 4に示した如く標準的体格(腹厚17~20cm)の28例の平均的照射野の位置は、橋詰らの平均腹厚18cmの被検者の照射範囲とはほぼ同じであった。腹厚16cm以下では1椎体分だけ照射野が下方に、腹厚が21cm以上では1椎体分だけ上方に位置していた。したがって痩せた人は生殖腺の位置が照射野に近づくことになる。

次に、撮影体位と照射範囲の関係をみると Fig. 4に示した如く、立位撮影は臥位撮影より1椎体分照射野が下方となるので、立位を多く含む撮影体位術式は生殖腺線量が多くなると考えられる。この他肺、乳房など胃X線検査で、照射野縁に位置する組織や器官の透視線量を把握するのに、このモータードライブカメラで記録する方法は役立つ。

### 3. 組織および器官線量について

X線検査の際の被検者についての被曝線量の直接測定は、皮膚表面などに TLD 素子や小型の電離箱を貼付して行われている。皮膚以外の組織や

器官の線量はほとんど人体ファントムを用いた実験や深部線量百分率などから計算で求められている。Alderson Rando ファントムが用いられるが、検出器を挿入する穴の位置が決っていて、骨髄、骨および消化管など多くの point での測定から平均線量を求める場合にはあまり便利でない。

診断域X線の減弱は深さに対して急激なことで、照射野内と外では線量に大きな差が生じるので、測定対象臓器の位置の設定が線量算定に大きく影響を与える。リスク対象とされている組織や器官の解剖学的位置は、ほぼ正中に近い部分に多いので、組織および器官線量を算定するのに矩形ファントムによる深部線量測定データを用いてもさしつかえないと考え実験を行った。本報告では、骨髄、骨、肺などの線量は矩形に近い不均質水ファントムで測定し、また甲状腺、乳房、生殖腺の線量は MiXDP 均質ファントムで臓器相当部の位置で測定を行った。消化管の各臓器の線量は解剖学的位置と形状が複雑なので、CT 用人体横断解剖図譜から各横断面での臓器位置を求め、深部線量百分率と、線量分布からの計算で、各臓器毎に多くの Point について線量を求め、平均線量を算定した。Schulz 氏<sup>32)</sup>は診断域X線の tissue air ratio 表を利用して組織や器官線量を算定する方法を報告しているが、利用線維以外の場合についてはデータがない。

胃間接X線検査における組織または器官線量については、橋詰氏<sup>33)34)</sup>の1969年のアンケート調査による生殖線量と赤色骨髄線量の報告がある。この報告では、間接装置として屈折レンズ方式とミラーカメラが主である。検査当りの平均赤色骨髄線量は 370mrad、生殖腺線量は、男性では 8.7mrad、女性では 130mrad と報告している。橋詰氏<sup>30)</sup>の1975年の調査では、撮影枚数約6枚で、装置はミラーカメラ75%、I.I. 間接25%の割合であった。検査当りの赤色骨髄線量は男性では 450mrad、女性では 390mrad、生殖腺線量は男性では 10.4mrad、女性では 150mrad と報告している。撮影枚数が増加したにもかかわらず、線量は前回と同程度であった。

今回著者の測定結果では、入射面線量11R当りのミラーカメラ間接(6枚法、B撮影体位術式)による、生殖腺線量は男性では20.6mrad、女性では278mradの算定となり、橋詰氏のデータのおよそ2倍となった。これは Fig. 3 に示した如く、実際の透視では生殖腺が照射内に入ることがあり、それを考慮したこと、撮影体位術式およびファントム実験での生殖腺位置の差異によるものと考えられる。しかし赤色骨髄線量は435mradとほぼ同じであった。

被検者の実測データから算出した入射面線量0.98R当りの12 inch I.I. 間接(6枚法、B撮影体位術式)による、生殖腺線量は男性では2.1mrad、女性では28.4mrad、赤色骨髄線量は44.7mradであり、ミラーカメラに比べ著しい被曝低減がみられた。

胃間接X線検査における生殖腺および骨髄以外の組織や器官線量を算定した報告はほとんどみられない。Table 9 に示した如く12 inch I.I. 間接では、撮影対象臓器である胃の線量は199mrad、肝臓は165mrad、小腸は189mrad、大腸は140mrad および骨は186mradであった。照射野縁に位置する乳房は78.5mrad、肺は30.1mradであり照射野から離れた甲状腺は1.4mradであった。次に、Table 10 に示した如くミラーカメラ間接では、身体各組織または器官線量は12 inch I.I. 間接のおよそ10倍であった。

## V 結 語

胃間接透視撮影の際に、TV モニター像をモータードライブカメラで連続的に記録することと、モニター線量計による測定との組合せで、被曝線量を解析し、これに基づいてファントム実験を行い次の結果を得た。

1. 12 inch I.I. 間接X線検査における各撮影体位を撮影するに要する透視時間は平均8.5秒であり、とくに最初の撮影に要する時間が長く11.5秒であった。6枚撮影の合計透視時間は53.9秒であった。

2. 撮影体位と照射部位の関係では、腹厚18cmの平均的体格人の照射部位を基準にすると、

16cm 以下では照射野が1椎体分下方になり、21cm 以上では1椎体分上方であった。立位撮影は臥位撮影より照射野が1椎体分下方であった。

3. 12 inch I.I. 間接撮影法(6枚)における被検者の入射面線量は約1Rであり、検査当りの組織または器官線量は次の如くであった。即ち、生殖腺2.1mrad(男性)、28.4mrad(女性)、乳房(女性)78.5mrad、骨髄44.7mrad、肺30.1mrad、甲状腺1.4mrad、骨186mrad、胃199mrad、肝165mrad、小腸189mrad、および大腸140mradであり、胃を含めた消化管線量および骨線量が生殖腺線量や骨髄線量に比較して大きな結果を得た。

4. 12 inch I.I. 間接検査法における組織または器官線量はミラーカメラ間接検査法のおよそ1/10であった。

仮りにICRP 26のeffective dose equivalentを求める式を胃間接検査に適用して計算してみると、ミラーカメラ間接は公衆の構成員の年線量当量限度の1.5倍であったのに対して、12 inch I.I. 間接検査はその1/7であった。12 inch I.I. 間接を胃集検にさらに普及させ、国民線量の低減をはかるべきである。

稿を終るにあたり、本研究の御指導、御校閲を賜った日本大学医学部鎌田力三郎教授に深甚なる謝意を表します。御指導、御校閲をいただいた癌研究会癌研究所尾内能夫部長に深く感謝いたします。また研究に御助言をいただいた栗原龍太郎講師、実験に御協力をいただいた教室員各位および高間良夫技師はじめ放射線技師各位に御礼申し上げます。

本論文の要旨は第36回日本医学放射線学会総会(昭和52年5月、大阪)および第16回日本胃集検学会秋季大会(昭和53年9月、岐阜)、シンポジウムⅡ「I.I. 間接の評価」で発表した。

#### 引用文献

- 1) 竹本忠良：昭和51年度胃集検全国集計報告。胃癌と集団検診，No. 41，8～30，1978
- 2) 放射線医学総合研究所 監訳：放射線の線源と影響(1977年国連科学委員会報告書)。下巻，1978，アイ・エス・ユ
- 3) Pochin, E.E.: Why be quantitative about radiation risk estimates?. NCRP publications, No. 2, 1978, Washington
- 4) ICRP 26: Recommendations of the international commission on radiological protection. 1977, Pergamon Press, Oxford, New York, Frankfurt
- 5) 鎌田力三郎，浦橋信吾，高間良夫：ミラー方式とI.I.方式，よりよい胃集検のために，6～12，1978，医学図書
- 6) 金森宏司，駒井徳蔵：面積線量モニタDQ-20の開発。島津評論，34：35—38，1977
- 7) 有賀槐三他：間接撮影標準化委員会答申，胃癌と集団検診，No. 28，114—116，1974
- 8) 加藤義雄，橋詰雅，西村明久，浦橋信吾，鎌田力三郎：診断X線量のTLDによる相互比較(1)，第31回日本医放会物理部会，1976
- 9) Meyers, M.A.: Dynamic radiology of the abdomen. Normal and pathologic anatomy. 1976, Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin
- 10) 橋本美智雄，山田和麻呂：診療用電離放射線による国民線量について(代表者宮川正)，昭和38年度文部省科学研究費による研究報告集録(放射線影響編)，1964
- 11) ICRU Report 17: Radiation dosimetry: X rays generated at potentials of 5 to 150 kV. ICRU publications, 1970, Washington
- 12) 橋詰雅，加藤義雄：骨髄線量の測定(その1)骨梁間隔と骨髄線量について。放射線医学総合研究所年報(昭和36年度)，1961
- 13) 浦橋信吾，鎌田力三郎，栗原龍太郎，吉田俊郎：消化管検査の被曝線量に就いて，第1報骨髄線量からみた胃間接撮影の被曝線量。日本医放会誌，35：臨増号，1975
- 14) 松田一：胃X線集検における透視時間に関する研究(代表者市川平三郎)。昭和50年度厚生省がん研究助成金による研究報告集(下)，11，1975
- 15) Laughlin, J.S., Meurk, M.L., Pullman, I. and Sherman, R.S.: Bone, skin, and gonadal doses in routine diagnostic procedures. Am. J. Roentgenol., 78: 961—982, 1957
- 16) Epp, E.R., Weiss, H. and Laughlin, J.S.: Measurement of bone marrow and gonadal dose from the chest X-ray examination as a function of field size, field alignment, tube kilovoltage and added filtration. Brit. J. Radiol., 34: 85—100, 1961
- 17) Miyakawa et al.: The genetically significant dose by the X-ray diagnostic examinations in Japan. Nippon Acta Radiologica, 21: 565—616, 1961
- 18) 橋詰雅，加藤義雄：日本人の医学診療用放射線による遺伝有意線量の測定。放射線医学総



- 合研究所年報(昭和36年度), 1961
- 19) 橋詰 雅, 加藤義雄, 野田博, 丸山隆司, 中島敏行, 白貝彰宏: 生殖腺被曝線量への照射野の影響. 日医放会誌, 73: 1165~1172, 1964
  - 20) 橋詰 雅, 加藤義雄, 丸山隆司, 白貝彰宏, 丸山静雄, 滝沢正臣: 診断用X線撮影による骨髓線量の推定. 日医放会誌, 24: 1087~1093, 1964
  - 21) 橋詰 雅, 加藤義雄, 丸山隆司, 白貝彰宏, 鈴木茂雄, 丸山静雄: 間接撮影による骨髓線量の推定. 日医放会誌, 25: 991~997, 1965
  - 22) 橋詰 雅, 加藤義雄, 丸山隆司, 白貝彰宏, 丸山静雄, 鈴木茂雄: X線透視診断による骨髓線量の推定. 日医放会誌, 25: 1410~1418, 1966
  - 23) 橋詰 雅, 丸山隆司, 隈元芳一: 診断用X線による国民線量の推定(1974), 第2報 遺伝有意線量の推定. 日医放会誌, 36: 208~215, 1976
  - 24) 橋詰 雅, 丸山隆司, 隈元芳一: 診断用X線による国民線量の推定(1974), 第3報 骨髓線量と白血病有意線量. 日医放会誌, 36: 216~224, 1976
  - 25) Yoshinaga, H., Takeshita, K., Sawada, S., Russell, W.J. and Antoku, S.: Estimation of exposure pattern and bone marrow and gonadal doses during fluoroscopy. *Brit. J. Radiol.*, 40: 344~349, 1967
  - 26) Russell, W.J.: Medical X-ray exposure among Hiroshima and Nagasaki. *Nippon Acta Radiologica*, 30: 13~54, 1971
  - 27) Antoku, S. and Russell, W.J.: Dose to the active bone marrow, gonads, and skin from roentgenography and fluoroscopy. *Radiology*, 101: 669~678, 1971
  - 28) 高久祐治: X線撮影における赤色骨髓線量推定の一方法. 日医放会誌, 35: 685~691, 1975
  - 29) 尾内能夫, 都丸禎三, 入船寅二, 内田 勲, 熊倉賢二, 丸山雅一, 松山憲義, 黒川利雄: 上部消化管のX線検査時における患者の入射面線量. 日医放会誌, 38: 669~681, 1978
  - 30) 橋詰 雅, 加藤義雄, 丸山隆司, 録田力三郎, 浦橋信吾: 胃集団検診による国民線量の推定. 日医放会誌, 37: 578~589, 1977
  - 31) 大島統男, 安河内浩, 町田喜久雄, 菅原正: 胃の形態学的位置について. 日医放会誌, 35: 959~968, 1975
  - 32) Schulz, R.J. and Gignac, C.: Application of tissue-air ratios for patient dosage in diagnostic radiology. *Radiology*, 120: 687~690, 1976
  - 33) Hashizume, T., Kato, Y., Maruyama, T., Kumamoto, Y., Shiragai, A. and Nishimura, A.: Genetically significant dose from diagnostic medical X-ray examinations in Japan, 1969. *Health Physics*, 23: 827~843, 1972
  - 34) Hashizume, T., Kato, Y., Maruyama, T., Kumamoto, Y., Shiragai, A. and Nishimura, A.: Population mean marrow dose and leukaemia significant dose from diagnostic medical X-ray examinations in Japan, 1969. *Health Physics*, 23: 845~853, 1972