



Title	EMI 5005による生殖線, 甲状腺, 水晶体及び骨髓線量の測定
Author(s)	西沢, かな枝; 岩田, 猛男; 古屋, 儀郎 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1979, 39(2), p. 144-151
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16398
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

EMI 5005による生殖線, 甲状腺, 水晶体 及び骨髓線量の測定

杏林大学医学部放射線医学教室

西沢かな枝 岩田 猛男 古屋 儀郎

放射線医学総合研究所物理研究部

丸 山 隆 司 橋 詰 雅

(昭和53年6月29日受付)

(昭和53年7月27日最終原稿受付)

Determination of Gonad, Eye and Bone Marrow Doses with EMI-5005 Head and Whole Body Scans

K. Nishizawa, T. Iwata and Y. Furuya

Department of Radiology, School of Medicine, Kyorin University, 6-20-2 Shinkawa, Mitaka, Tokyo, 181

T. Maruyama and T. Hashizume

Division of Physics, National Institute of Radiological Sciences, 9-1, 4-chome

Anagawa, Chiba, 260

Research Code No.: 203

Key Words: Film dosimetry, Thermoluminescent dosimetry, Computed
tomography, Organ dose

Dose determinations of tissues and organs during head and whole body scanning with an EMI computed tomographic equipment have been carried out using a Rando woman phantom. The surface dose on the phantom was measured with a Sakura lith Contact film dosimeter system. The absorbed doses in the eyes, thyroids, ovaries and the bone marrow were measured with a thermoluminescent dosimeter

The resultant surface doses for head scanning were 2.8 rad (28 mGy) per scan at maximum and 0.26 rad (2.6 mGy) per scan at minimum, and the doses for whole body scanning were 2.7 rad (27 mGy) per scan at maximum and 0.1 rad (1.0 mGy) per scan at minimum. For the complete gynecological scanning consisting of 8 slices, the eye, thyroid, ovary and the bone marrow dose was 2.4 mrad (24 μ Gy), 3.5 mrad (35 μ Gy), 500 mrad (5 mGy) and 225 mrad (2.25 mGy), respectively. And, for a typical head scanning consisting of 5 slices, the eye, thyroid, ovary and the bone marrow dose was 1400 mrad (14 mGy), 46 mrad (460 μ Gy), 0.60 mrad (6 μ Gy) and 73 mrad (730 μ Gy), respectively.

1. 緒 言

コンピュータ断層撮影装置(CT装置)が開発

されて以来, その普及はめざましく多くの医療施設に設置されている. CT装置に用いられるX線

束は極めて細く、利用線維に照射される部位は極度に限定されるが、皮膚表面での線量は頭部スキャンの場合にX線入射面で最大3R/スキャン程度である¹⁾。通常のX線撮影に比して皮膚線量が大きく、CT装置では数倍以上の線量が見込まれる²⁾³⁾。さらに、CT装置を使用して診断を行う場合に、1回の検査で3～8スキャンが必要である。単位面積当りの皮膚線量はスキャン数によらないとしても、スキャン部位の下にある臓器・組織の線量はスキャン数と共に増大するであろう。

CT装置による診断が盛んになるにつれて、それによる国民線量の問題が提起されよう。最近の国連科学委員会の報告書²⁾に、CT装置による被曝線量が取上げられている。5年後に予定されている次の報告書にはCTスキャンからの国民線量が各国から報告されることになろう。本報は国民線量推定の基礎資料を得ることを目的とし、EMI 5005を用いて脳外科検査ならびに婦人科検査に多いスキャン法について、生殖腺、骨髓、皮膚、水晶体および甲状腺の被曝線量を測定したものである。

2. 装置および方法

使用したCT装置はEMI 5005で、頭部スキャンには管電圧120KV、管電流33mA、全身スキャンには140KV、28mAのX線が用いられる。この装置からのX線ビーム・プロファイルは、フィルムに撮影したところ Fig. 1に示すように、ビームの中央部に濃度の大きい帯状部があり均一分布ではなかつた。このフィルムの濃度分布をマイクロデンスitometaで測定したところ、Fig. 2の如くであつた。次に、ランドファントムにフィルムを巻きつけ、通常のスキャンを行つたところ、ビームの入射、出射側でも同様の分布が得られた (Fig. 2)。一般にCT装置に用いられるX線ビームは均一なプロファイルをもっている⁴⁾。

Fig. 2に示すようなビーム・プロファイルが、当病院のEMI 5005だけに特有かどうかを調べるため、他の施設のEMI 5005 (1台) および EMI 1010 (2台) CT装置について同様のビーム・プロファイルを測定した。その結果、Fig. 2に示

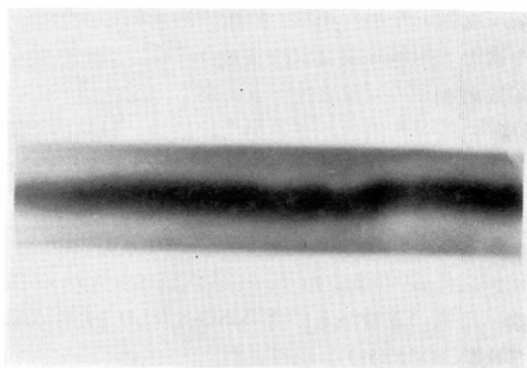


Fig. 1 A beam profile of X-rays from an EMI 5005 type computed tomographic equipment. This photograph was taken with a fan angle of 10°

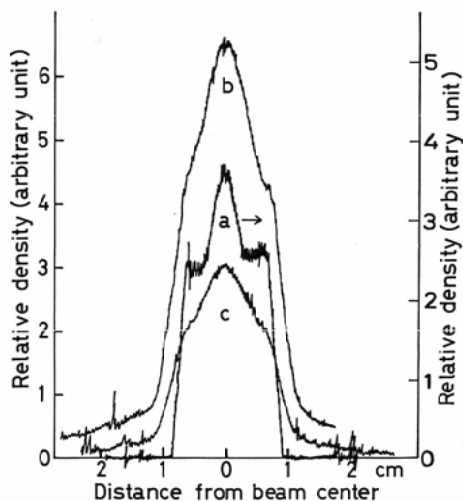


Fig. 2 Axial density distribution measured with a Sakuralith contact film around a Rando woman phantom. The curve (a) is the density distribution obtained from Fig. 1 using a microdensitometer. The upper curve (b) is the density distribution at the front of head of the phantom, and the lower curve (c) at the back. The curves (b) and (c) were determined with X-ray photographs taken during one head scan. Scan parameters are 120kV, 33mA and 20sec.

すような不均一分布はEMI 5005だけにみられ、EMI 1010ではDixon⁴⁾らの示したような均一分布であることがわかつた。

このように、EMI 5005からのX線のビーム・プロファイルは中央に鋭いピークをもち、その両

端は比較的平坦な不均一分布であつた。ビーム内の臓器・組織線量を求める場合には、ピークでの線量を測定の対象とすべきである。鋭いピークの位置の線量を電離箱や熱発光線量計 (TLD) で測定することは困難である。そこで、本実験ではビーム内の線量測定にはサクラリスコンタクトフィルム CS 100E (ベース厚ポリエステル100 μ m, ハロゲン化銀0.5mg/cm²) を用い、ビーム外の臓器・組織の線量測定には MSO-S TLD (大日本塗料社製, Mg²SiO₄) を用いた。

フィルムおよび TLD 素子は低エネルギー X 線領域でレスポンスのエネルギー依存性が大きく、ファントム内での線量測定を困難にしている。本実験では、X 線発生装置として島津 CIRCLEX-P 33C を用い、MixDp ファントム (25×25×20cm) 中でフィルムおよび TLD 素子のレスポンスを R 単位に比較校正した。校正には電子技術総合研究所で校正した0.6cm³ の円筒型電離箱 (応用技研製) を用いた。EMI 5005からの X 線の実効エネルギーは、フィルム・バッジによる測定では、管電圧120KV および140KV で35~40keV であつた。校正に用いた P33C X 線装置では、アルミニウムの半価層の測定で管電圧120kV で37keV, 140kV で39keV であつた。CS 100Eフィルムを MixDp に挟み、フィルム面を X 線ビームに垂直に置いたときと平行に置いたときについて、フィルムの黒化度と電離箱による線量との関係を、ファントム中のいろいろな深さについて求めた。1例として、Fig. 4に管電圧120kV, 管電流32mA で測定した単位の照射線量当りの黒化度と MixDp の深さとの関係を示す。フィルム面と平行に X 線を入射した場合、深さ8cm 程度まではフィルムのレスポンスは深さと共に増加し、その後一定となり、12cm 程度から深さと共に徐々に減少する。フィルム面に垂直に X 線を入射した場合、深さによるレスポンスの変化は小さかつた。TLD についても同様の測定を行い、単位照射線量当りの TLD レスポンスをいろいろな深さで求めた。TLD では深さ5cm 以上で、レスポンスはほぼ一定であつた。

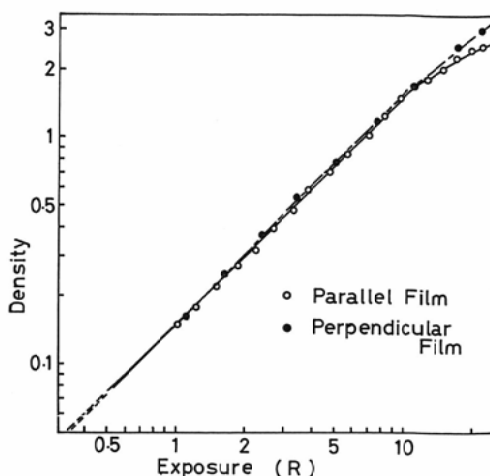


Fig. 3 Density-Exposure calibration curves of Sakuralith contact film. The films sandwiched in MixDp phantom (25×25×20cm) were irradiated in perpendicular and parallel to film with X-ray beams from the EMI 5005 computed tomographic equipment.

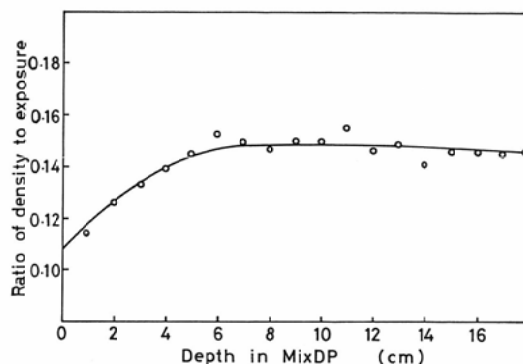


Fig. 4 Ratio of density to exposure as a function of depth in a MixDp phantom (25×25×20cm). The ratios were measured with X-ray beams parallel to the film.

(a) 体表面の線量

Rando 女性ファントム (Alderson 社製) を患者にみたて、恥骨上縁から胸部方向へ2cm おきに5スキャンおよび腹部1スキャンした場合のファントム表面での線量を、ファントムにまぎつてたフィルムの黒化度から測定した。

頭部については、外髂縁から頭頂に1cm おきに3スキャンおよび外髂縁部で1スキャンした場

合のファントム表面の線量をフィルムで測定した。

(b) ビーム内の線量分布

Rando ファントムの卵巣を含む断面にフィルムを挟み、1 スキャンにおけるビーム内の線量分布を測定した。頭部についても、外背縁部1 スキャンにおける線量分布を求めた。

(c) 臓器・組織線量

体内臓器・組織として、水晶体、甲状腺、卵巣および骨髄について線量を測定した。Rando ファントムの水晶体、甲状腺および卵巣の位置に、TLD 素子 (2mmφ×12mm) を3本ずつ挿入し、

Table 1 Active bone-marrow distribution for Japanese adults and number of dosimetric points

Part	Active bone-marrow weight (g)	Dosimetric points
Head	57.4	8
Skull	(55.6)	(6)
Mandible	(1.8)	(2)
Cervical vertebrae	22.3	1
Sternum vertebrae	20.6	1
Thoracic vertebrae	101.0	4
Lumbar	85.5	5
Sacral vertebrae	65.8	1
Ribs	104.5	5
Scapulae	16.7	1
Clavicles	5.6	1
Iliac bone	170.2	3
Femur	87.1	1
Arm	28.0	1
Total	765	32

腹部1 スキャンおよび恥骨上縁より胸部方向へ2cm おきに8 スキャンした。骨髄では、全身の活性骨髄量の分布に従い、Rando ファントムの代表的部位に TLD 素子を挿入し、同様のスキャンにおける線量を測定した。Table 1 に活性骨髄量の分布と各骨髄に挿入した TLD 素子の数を示す。骨髄線量の算定には、次式を用いた²⁾。

$$d = \frac{1}{M} \sum_{r=1}^n m_r \cdot d_r \quad \dots\dots (1)$$

ここで、Mは全身の活性骨髄総量、 m_r は r 番

目の活性骨髄量、 d_r は r 番目の活性骨髄の線量を示す。

測定に用いた TLD 素子間の相互のパラッキは ±7% であった。頭部スキャンについても Rando ファントムの所定の位置に TLD 素子を挿入し、外背縁から頭頂にむかつて上方に 0, 2, 3, 5 および 6.5cm の部位を5 スキャンした場合 および外背縁部を1 スキャンした場合の臓器・組織の線量を測定した。

(a) から (c) までの測定には、いずれもビーンズ・バッグを用い通常の CT スキャンと同一条件でファントム照射を行った。

3. 結 果

(a) 体表面の線量

ファントム表面にまきつけて、所定の照射を行ったフィルムの黒化度分布をフジ濃度計モデル P (フジ写真フィルム社製) で測定し、Fig. 4 に示した黒化度—照射線量校正係数を用いて照射線量を算出した。次に、R-rad 変換係数 0.92 を用い吸収線量を求めた。結果の1例として、Fig. 5 に恥骨上縁から胸部方向へ2cm おきに5 スキャンした場合と卵巣を含む断面を1 スキャンした場合について、ビーム・プロファイル上の最高濃度の部

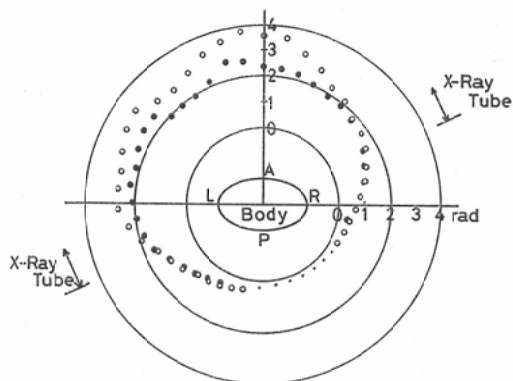


Fig. 5 Surface dose distribution around phantom.

The open circles show the surface doses at the intermediate slice level during a 5-scan procedure consisting of every 2cm scan from upper edge of pubic bone to chest. The closed circles show the surface doses at the slice level containing the ovaries during one scan procedure.

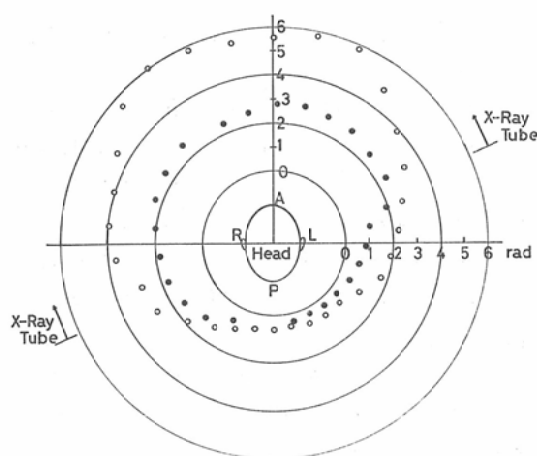


Fig. 6 Surface dose distribution around head phantom. The open circles show the surface doses at orbito meatal line during a three scan procedure consisting of every 1cm scan from orbito meatal line to the top of head. The closed circles show the surface doses at the slice level containing orbito meatal line during one scan procedure.

Table 2 Surface dose on the Rando woman phantom (rad)

Procedure	Whole body (Lower abdomen)		Head	
	A	B	C	D
Maximum dose	2.7	3.9	2.8	6.0
Minimum dose	0.1	0.1	0.26	0.48

These data were obtained from Fig. 5 and 6 in the present article.

A: The surface doses at the slice level containing the ovaries during one scan procedure.

B: The surface doses at the intermediate slice level during a 5-scan procedure consisting of every 2cm scan from upper edge of pubic bone to chest.

C: The surface doses at the slice level containing orbito-meatal line during one scan procedure.

D: The surface doses on orbito meatal line during a 3-scan procedure consisting of every 1cm scan from orbito-meatal line to the top of head.

分から求めた線量分布を示す。5スキャンの場合は、1枚のフィルム上に5本のスキャン・ビームが現像されるが、丁度中央にある3番目のビーム・プロファイルに最高濃度が観測された。従つて、5スキャンの場合には、3番目のスキャンに

よるフィルム像からの線量を求めた。その結果を Fig. 5 に示した。

頭部では、外眥縁上の1スキャンおよび外眥縁から頭頂に3スキャンした場合、外眥縁を含む断面にまきつけたフィルムから線量を算出し、その結果を Fig. 6 に示す。

Table 2 に、Fig. 5 および 6 から得た体表面線量の最大および最小値を示す。産婦人科検査に多いスキャンでは、体表面の最大線量は1回スキャンで2.7rad、5回スキャンで3.9radであり、最小線量はビームの出口の表面で0.1radであると推定される。5回スキャンでは、3番目のスキャン・ビーム以外のビームのファントムによる後方散乱などにより、1回スキャンの場合より大きな体表面の線量を与えたものと考えられる。ビーム・プロファイルで両端の帯状部の線量は、中央部の線量の83%であつたが、ファントムのビーム出口の体表面では両者に有為の差は認められなかつた。

5回スキャンで3番目と4番目のスキャンビームの間では、直接X線ビームに照射されないが、ファントムからの後方散乱などにより高い黒化度が測定された。散乱線についても Fig. 3 の校正曲線が適用できると仮定すれば、この黒化度は2.1radに相当する。この線量は1回スキャンの場合に直接線があつた部位の線量と殆んど変わらない。

脳外科に多い頭部スキャンでは、1回スキャンで2.8rad、3回スキャンで6.0radの最大体表面線量を得た。ファントムのビーム出口の体表面でも、1回スキャンで0.26rad、3回スキャンで0.48radであつた。

(b) ビーム内の線量分布

Fig. 7 は、ファントム中の卵巣を含む断面を中心に1スキャンしたときの断面内の線量分布を示す。腹部体表面で最大2.7radであつたが、ファントムの中心線上、深さ1.3cmで2.5radであつた。ファントムの中心線に対して、分布は非対称的であるが、これはCT装置のX線管球の回転中心線がファントムの中心線に対して反時計回りに24.6°の角度だけずれていることに起因してい

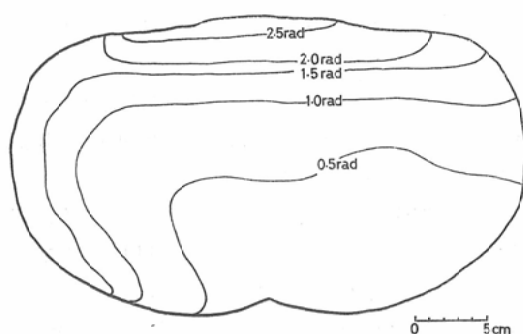


Fig. 7 Iso-dose curves in the cross section containing the ovaries. These curves were determined with an X-ray photograph sandwiched in the Rando woman phantom and exposed to X-rays during one scan procedure on the slice level containing the ovaries.

Table 3 Tissue and organ doses during various scan procedure. (mrad)

P.cedure	Whole body (Lower abdomen)		Head C
	A	B	
Eye (Right)	0.300	2.35	1420
Thyroids	0.287	3.46	46.1
Ovary (Right)	244	504	0.604
Bone marrow	25.1	225	73.1

These doses were measured with thermoluminescent dosimeters.

A: The doses during one scan procedure on the slice level containing the ovaries.

B: The doses during a complete gynecological procedure consisting of a 8-scan (every 2cm scan from upper edge of pubic bone to chest).

C: The doses during a complete brain scan procedure consisting of a 5-scan (at the slice levels of 0, 2, 3, 5 and 6.5cm from orbito-meatal line to the top of head).

る。卵巣の線量は腹部からみて左側で0.6rad, 右側で0.3radであつた。

(c) 臓器・組織線量

(1) 恥骨上縁を1回スキャンした場合, (2) 恥骨上縁から胸部に向つて2cm おきに8スキャンした場合, および (3) 外背縁から頭頂に向つて, 0, 2, 3, 5 および6.5cm のところを1スキャンずつ計5スキャンした場合について, 水晶体, 甲状腺, 卵巣および骨髄の線量を TLD で測定した。それらの結果を Table 3 に示す。水晶

体および卵巣については, 右側の臓器・組織の線量を測定した。フィルムによる線量分布の測定結果では, 水晶体は左右でほぼ変わらないが, 卵巣では, 左側が右側の約2倍の線量であつた。

骨髄線量は成人の全身活性骨量を765gとして, 式(1)から算出した。活性骨髄は骨梁間隙に分布しているため, 平均原子番号の高い骨梁からの二次電子の影響により, 骨髄は超過線量(excess dose)を受ける。このため式(1)で算出した骨髄線量に3%の超過線量の補正を行つた。

4. 考 察

Fig. 1, 2 に示したように, X線写真でみると, EMI 5005からのX線ビームは中央の濃度の高い帯状部分とその両端の濃度の平坦部分とからなり, これらが一体となつて CT スキャン用のビームが形成されているものと考えられる。このようなビーム・プロファイルは EMI 5005のみに特有であるようである。また Fig. 1 で明らかなように, 中央の線束は完全な直線ではなく一部で曲線をえがいている。この傾向は当病院の CT 装置だけにみられる固有のものであるらしい。

EMI 5005のX線ビームが均一でなかつたため, 限られた大きさの検出器では線量測定が困難であつた。本研究では, このようなX線ビームの特性を考慮して, サクラリス・コンタクト・フィルムを用いて体表面の線量を測定した。フィルムの黒化度から線量を算出するため, 黒化度—線量校正曲線を求めた。ファントムからの散乱線のため, ファントム表面および内部ではX線の線質が利用線のそれとかなり異なる。本研究では Mix Dp ファントム (25×25×20cm) と0.6cm³ の電離箱を用いて, フィルム黒化度—照射線量校正曲線を測定した。CT 装置からのX線ビームで校正すべきであつたが, 幾何学的に十分な空間が得られなかつたため, 通常のX線撮影装置を用いて校正を行つた。CT 装置からのX線の線質についても, 半価層の測定ができないため, フィルム・パッジを用いて実効エネルギーを推定した。管電圧120kV, 140kV で CT 装置からのX線の実効エネルギーは35~40keV の範囲にあつた。一方, 校

正に用いたX線の実効エネルギーは120kV および140kV の管電圧でそれぞれ37, および39keV であった。このエネルギー領域での電離箱の校正定数は0.97~0.965であり, X線の実効エネルギーの不確かさはあまり問題とならないであろう。

黒化度—照射線量校正定数がファントム中の浅い部分で深さに依存するのは, この部分では散乱線とフィルタ効果により線質が複雑に変化していることによる。深さ8cm 以上では, 深さによる依存性は無視しうる程度に小さい。臓器・組織の線量を TLD で測定したが, フィルムと同様にファントム内外で0.6cm³ 電離箱を用いて, TLD 素子を比較校正した。TLD も深さによる発光量—照射線量校正定数の依存性がみられた。サクラリス・コンタクト・フィルムから得た線量は TLD からのそれと10%以内で一致がみられた。

ファントム表面での線量は, 最大濃度のところで1 スキャンあたり2.8rad であった。この値は古賀⁹⁾が日立 CT-H 250で測定した結果とよく一致している。臓器の線量についてはいくつかの報告^{6)~10)}があるが, Gyldensted は Mark I EMI 頭部 CT 装置を用い, 患者の大腿部につけた TLD 素子で生殖腺線量を推定している。その結果によれば, スキャンあたりの平均線量が0.55mR であり, 4 スキャンでの男性生殖腺線量はほぼ2mR であった。

本報告で得た卵巣線量は頭部5 スキャンで0.60 mrad であった。直接両者を比較することはできないが, 頭部スキャンの場合にも生殖腺線量を無視することができないことを示している。逆に, 産婦人科領域でのスキャンでも, 甲状腺線量を無視することはできない。

5. 結 言

(1) 杏林大学病院に設置された EMI-5005からのX線ビーム・プロファイルをX線写真で調べたところ, ビームの中央に濃度の高い帯状部分があり, その両端が比較的平坦な不均一分布をもっていることがわかった。この傾向は EMI-5005に共通しているようである。

(2) Rando ファントムにフィルムを巻きつ

け, 脳外科でよく行われている外眥縁での頭部スキャンと産婦人科的腹部スキャンを行いファントム表面での線量を測定した。最大線量はいずれも1 スキャンあたり頭部で2.8rad (28mGy), 腹部で2.7rad (27mGy) であった。

(3) 頭部および腹部スキャンにおける眼, 甲状腺, 卵巣ならびに骨髄の線量を TLD で測定した。頭部で外眥縁から頭頂に5 スキャンしたとき, 眼で1,400mrad (14mGy), 甲状腺で46mrad (0.46mGy), 卵巣で0.60mrad (0.006mGy) および骨髄では73mrad (0.73mGy) であった。恥骨上縁から胸部に8 スキャンしたとき, 眼で2.4mrad (0.024mGy), 甲状腺で3.5mrad (0.035mGy), 卵巣で500mrad (5mGy), および骨髄で230mrad (2.3mGy) であった。

(4) CT 装置からのX線ビームのプロファイルは均一分布とは限らないので, 直接線の測定にあたっては, X線写真などでプロファイルを確認すべきである。

(5) サクラリス コンタクト・フィルムは, 10R (2.6mC/Kg) 以下でフィルムのレスポンスがほぼ直線となり, レスポンスのエネルギー依存性はあるが, 校正さえすれば CT 装置からのX線の線量測定に利用できる。

本稿を終るにあたり, 始終実験に御協力下さった杏林大学病院放射線科の山川 悟, 伊藤博美, 吉田 隆の各氏をはじめ, 放射線科の諸氏に深甚の謝意を表わすと共に, 比較のためX線撮影に御協力いただいた群馬大学病院ならびに東京女子医大病院の放射線科のグループの皆様に感謝します。

参考文献

- 1) Villafana, T., Scouras, J., Kirkland, L., McElroy, N. and Paras, P.: Health physics aspects of the EMI computerized tomography brain scanner. *Health Phys.* 34: 71—82, 1978.
- 2) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources and Effects of Ionizing Radiations: United Nations, New York, 1977.
- 3) 古賀佑彦, 山本千秋, 田宮 正: X線診断の際の患者被曝, 臨放, 17: 122—129, 1972.
- 4) Dixon, R.L. and Ekstrand, K.E.: A Film dosimetry system for use in computed tomography.

- Radiology 127: 255—258, 1978.
- 5) 古賀佑彦, 山本千秋, 沢田武司, 鈴木昇一: CT の被曝線量—CT-H 250 の被曝を中心にして—, 臨放, 21: 1073—1076, 1976.
 - 6) Gyldensted, C.: Gonadal thermoluminescence dosimetry in cranial computed tomography with EMI scanner. Neuroradiology, 14: 111—112, 1977.
 - 7) Bhavé, D.G., Kelsey, C.A., Burstein, J. and Brogdon, B.G.: Scattered Radiation doses to infants and children during EMI head scans. Radiology, 124: 379—380, 1977.
 - 8) Shrivastava, P.N, Lynn, S.L. and Ting, J.Y.: Exposures to patient and personnel in computed axial tomography. Radiology, 125: 411—415, 1977.
 - 9) 阿保昌公, 馬場仁, 吉本清一, 小枝専一郎, 松浦啓一: EMI スキャナーの被曝線量及び散乱線量, 断層撮影会誌 5: 113—115, 1977.
 - 10) 本保善一郎, 稲月伸一, 木下博史, 春日隆昌: 頭部用 CT について 2, 3 の考察—とくに被曝線量について, 断層撮影会誌, 5: 110—112, 1977.
-