

## ノート

## CT 検査時における防護シートの遮蔽効果について

藤淵俊王・加藤英幸・橋本成世  
越智茂博・梁川範幸・守田文範

千葉大学医学部附属病院放射線部

論文受付  
2004年8月24日

論文受理  
2004年11月2日

Code No. 621

## 緒言

医療における放射線診断は、種々の疾患の一次診断、また確定診断において欠かすことのできないものである。X線が発見されて100余年が経過するが、撮影装置の発達は近年目を見張るものがある。特にX線コンピュータ断層撮影装置(X-rays computed tomography: CT)では、1980年代後半に登場したヘリカルスキャン方式に端を発した技術革新により、1スキャン0.5秒未満の高速化や、マルチスライスというように急激な進歩を遂げつつある。さらに装置の普及に伴い、撮影件数、撮影枚数ともに増加傾向にある<sup>1)</sup>。

最近のマスコミ報道などにより、一般撮影に比べてCTは被曝線量が高いこと<sup>2)</sup>を患者も知っており、一般市民向けの医学書などにはCT検査時に生殖腺防護シートの装着を推奨する記載のあるものも見受けられ

る。しかし、すべての医療施設で、それを使用しているわけでもなく、有効性に関する発表もあまり見受けられない。そこで、われわれは、CTにおける防護シートの有効性について検証した。

## 1. 方法

## 1-1 測定方法

Fig. 1に示す人体ファントム(京都科学製, THRA1型)以下、ファントム)を使用して、頭部CT検査と胸部CT検査を想定し線量測定を行った。その際、防護シートを以下の3通りに配置した。

- (a) 防護シート(極光株式会社製, 0.25mm鉛当量, サイズ50cm×90cm)を装着しない場合
- (b) 腹側に防護シート(Protector1)を腰部から下腹部にかけて装着した場合

## Shielding Effect of Protective Seats During CT Examination

TOSHIOU FUJIBUCHI, HIDEYUKI KATO, MASATOSHI HASHIMOTO, SHIGEHIRO OCHI,  
NORIYUKI YANAGAWA, and FUMINORI MORITA

Department of Radiology, Chiba University Hospital

Received August 24, 2004; Revision accepted Nov. 2, 2004; Code No. 621

## Summary

Because the exposure to radiation from CT scanning is higher than that from other X-ray diagnostic devices, it is necessary to lower this exposure. In this study, we placed a protective seat on the abdomen and dorsal side of a human body phantom. Three different kinds of CT units, with a single detector, four detectors, and 16 detectors, were used to compare the absorbed dose on the skin surface and uterus. Head and chest CT scans were taken with the standard protocol. The difference in exposure to the uterus with and without the protective shield was found to be small. Exposure to the skin surface was about 0.2 mGy without the protective seat. We found that the exposure dose to chest could be reduced as much as 50% by using the protective seat. Effective radiation differs depending on the institution, and these differences can be more than the amount that can be reduced by using the protective seat. Thus, we conclude that it is important for each institution to determine the best protocol optimization for each individual.

**Key words:** CT, Protective seat, Uterus dose, Skin dose

別刷資料請求先: 〒260-8677 千葉県千葉市中央区亥鼻1-8-1  
千葉大学医学部附属病院 放射線部 藤淵俊王 宛

(c)腹側および背側に防護シート( Protector1および Protector2 )を装着した場合

ファントムにおける線量計配置の模式図をFig. 2に、線量測定時のファントムの幾何学的配置をFig. 3に示す。線量計の装着位置は、子宮位置の測定位置、同一横断面上の腹側皮膚表面、背側皮膚表面である。(b)の場合は の位置での防護シートの前面、(c)の場合は および の位置での背部の防護シートの外側にも線量計を配置した。さらに、直接線の吸収線量を測定するため、頭部CTでは、水晶体の横断面での頭部中心、水晶体部、後頭部に、胸部CTでは気管分岐部の断層面での肺野内、前胸部、背部にも線量計を配置した。

## 1-2 使用機器

### 1-2-1 線量計

子宮位置および皮膚表面の吸収線量を測定するにあたり、測定器は熱ルミネセンス線量計(極光株式会社製MSO-SⅩ以下、TLD)、読み取り装置は極光株式会社製TLD READER 2500を使用した。また、エネルギー依存性を小さくするためにTLDを極光株式会社製TLDホルダFに入れて使用した。TLDの校正定数は、2004年に日本品質保証機構にて校正されている指頭型電離箱線量計(Radcal Corporation製10X5-6)との置換校正法で求めた。置換校正時の幾何学条件は焦点-線量計間距離100cm、線量計の位置での照射野 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ とし、始めに10X5-6をビーム軸上空気に配置し、照射条件を管電圧120kV、管電流200mA、照射時間0.025sにして、10回照射を行い、10X5-6での空気中の吸収線量を測定した。次に、同一の幾何学条件にTLDを配置し、同一の照射条件で測定を行った。これにより、TLDの測定値を空気中の吸収線量に変換する校正定数 $N_{X, \text{air}}$  [mGy/mSv]を得た。ここで、[mSv]はTLD測定値の単位である。空気中の吸収線量をファントム中の吸収線量に変換するため、ファントムの質量エネルギー吸収係数を空気中の質量エネルギー吸収係数で割った係数を $N_{X, \text{air}}$ に掛け、TLD測定値をファントム中の吸収線量に変換する校正定数 $N_{X, \text{ph}}$  [mGy/mSv]を求めた。

### 1-2-2 CT装置

今回、検出器配列の異なるsingle detector CT(以下、SDCT: GEメディカルシステム社製HiSpeed DX/i)、検出器が4列(以下、4-MDCT: 東芝メディカルシステムズ社製Aquilion TSX-101A/4E)および16列(以下、16-MDCT: GEメディカルシステム社製LightSpeed Ultra16)のmulti detector CTという3種類のCTを用いた。



Fig. 1 Overview of measurement.

### 1-2-3 撮影条件

#### (a) 頭部の撮影条件

SDCT: 当院の標準撮影プロトコルである尾頭方向に管電圧120kV、管電流200mA、撮影スライス厚5mmで撮影範囲55mm、その位置から連続して管電圧120kV、管電流200mA、撮影スライス厚10mm、撮影範囲60mmのコンベンショナルスキャンを行った。測定精度を上げるため、上記のシーケンスを5回連続して行った。測定結果とファントム中の校正定数 $N_{X, \text{ph}}$ より、1回当たりの吸収線量を求めた。

他のCTにおいても、以下の撮影条件で、それぞれ5回連続撮影により測定を行った。

4-MDCT: 管電圧120kV、管電流200mA、撮影スライス厚5mm、撮影範囲56mm、続けて管電圧120kV、管電流200mA、撮影スライス厚10mm、撮影範囲60mmのコンベンショナルスキャン。

16-MDCT: 管電圧120kV、管電流180mA、撮影スライス厚10mm、撮影範囲55mm、続けて管電圧120kV、管電流150mA、撮影スライス厚5mm、撮影範囲50mmのコンベンショナルスキャン。

#### (b) 胸部の撮影条件

以下の撮影条件で、それぞれ5回連続撮影により測定を行った。

SDCT: 管電圧120kV、管電流250mA、撮影スライス厚10mm、撮影範囲290mmのヘリカルスキャン。

4-MDCT: 管電圧120kV、管電流300mA、撮影スライス厚10mm、撮影範囲300mmのヘリカルスキャン。

16-MDCT: 管電圧120kV、管電流250mA、撮影スライス厚5mm、撮影範囲290mmのヘリカルスキャン。

## 2. 結果

### 2-1 頭部CTにおける防護シートの効果

頭部CT撮影における子宮断面での散乱線の測定結

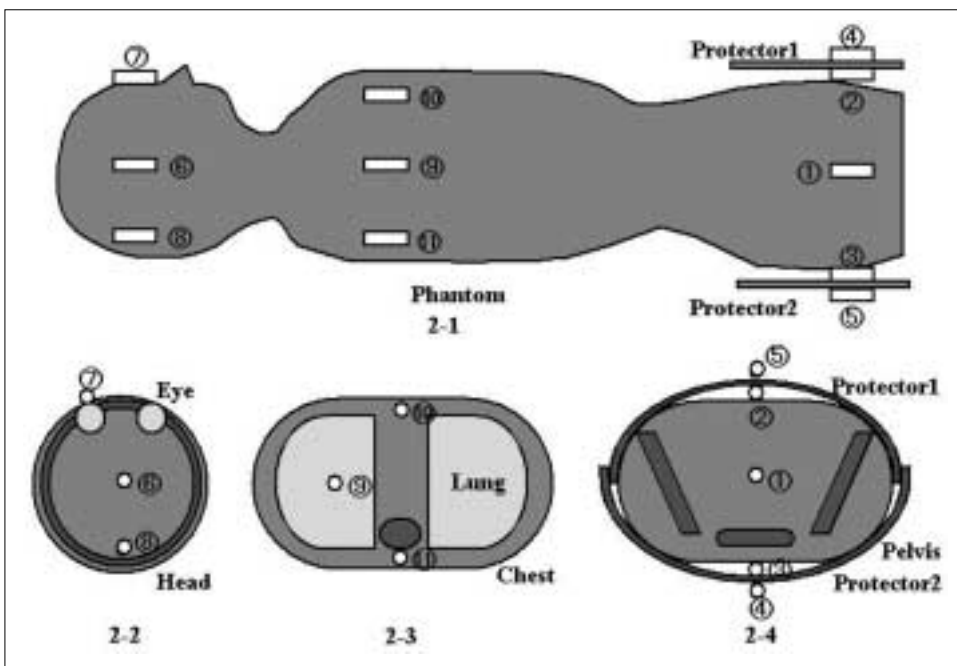


Fig. 2 Arrangement of TLD in the human phantom. Absorbed dose was measured in three patterns: a. no attached protective seat, b. protector seat ( Protector 1 ) attached ventrally, c. protector seats ( Protector 1 and Protector 2 ) attached ventrally and dorsally. is uterus point, is ventral skin surface at the same axis section of , is dorsal skin surface at the same axis section of . In the case of b, TLD is arranged to the position of , and the front of the protection seat ( ) and in the case of c, TLD is arranged to the position of , and the back of the protection seat ( ) For direct radiation measurement, TLD is attached at the axis section of the lens, center of the head , lens , and back of the head in the case of head CT, and at the axis section of the bifurcatio tracheae, inside the lung field , precordia , and back chest in the case of chest CT. 2-1 shows sagittal view, 2-2 shows head region, 2-3 shows chest region, and 2-4 shows uterus region of axial view.

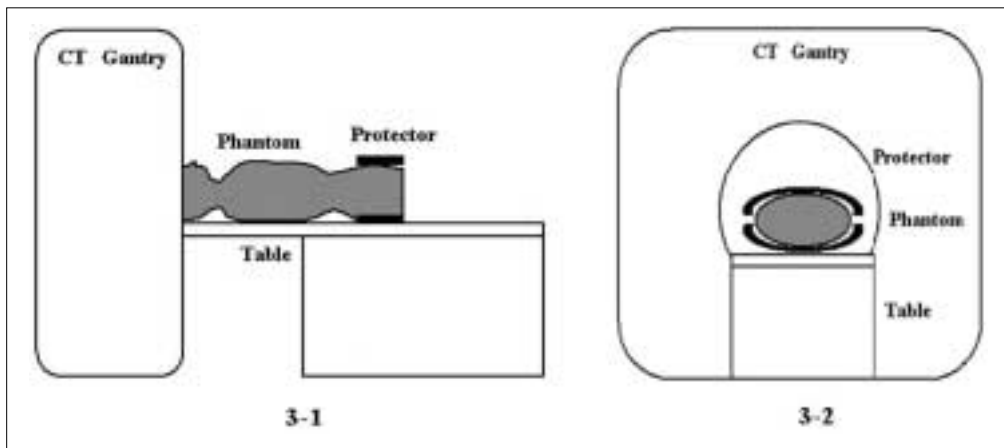


Fig. 3 Geometric figure of the measurement. Figure 3-1 is the lateral view, and Fig. 3-2 is the caudal view.

果をTable 1に示す．次に，SDCTにおける背側防護シート外の線量( Fig. 2 の位置の線量 )を1.0として規格化したものをFig. 4に示す．SDCTにおける子宮位置の線量は，防護シートなしで3.5 $\mu$ Gy，腹側に防護シートを着用した場合で5.2 $\mu$ Gy，腹側および背側に防護シートを着用した場合で6.4 $\mu$ Gyであった．皮膚表面線量の方が子宮位置の線量より高く，最も高い背側

の防護シート外で19.5 $\mu$ Gyであった．防護シートをつけることにより皮膚表面線量は腹側背側ともに10 $\mu$ Gy程度減少した．

4-MDCT，16-MDCTについてもFig. 4と同様の処理をしたものをFig. 5とFig. 6に示す．4-MDCTでの子宮位置の線量は，防護シートなしで1.0 $\mu$ Gy，腹側に防護シートを着用した場合で，1.3 $\mu$ Gy，腹側および背

Table 1 Absorbed dose of the scattered radiation in the uterus section and the surface of the skin in a case of head CT. It is shown that absorbed dose ( $\mu\text{Gy}$ ) and relative dose which normalized value at the outside of the dorsal protection seat in each CT device.

Measurement Position	SDCT		4-MDCT		16-MDCT	
	TLD	Normalized	TLD	Normalized	TLD	Normalized
( without protector )	3.49	0.18	1.00	0.14	3.93	0.28
( with protector 1 )	5.24	0.27	1.26	0.17	2.87	0.20
( with protector 1 and 2 )	6.36	0.33	1.40	0.19	3.02	0.21
	4.52	0.23	0.89	0.12	2.46	0.17
	8.97	0.46	2.38	0.33	6.93	0.49
	12.72	0.65	4.85	0.67	8.98	0.63
	19.45	1.00	7.23	1.00	14.26	1.00

(  $\mu\text{Gy}$  )

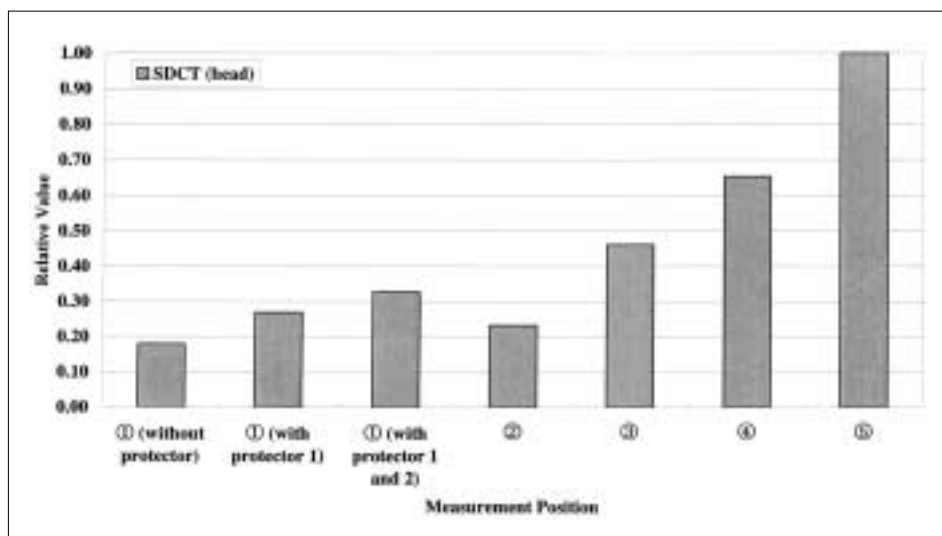


Fig. 4 Bar graph of the relative absorbed dose of the scattered radiation in the uterus section and the surface of the skin in head CT scan with single detector. SDCT means single-detector CT, and 4-MDCT and 16-MDCT mean multi-detector CT with 4 and 16 line detectors, respectively.

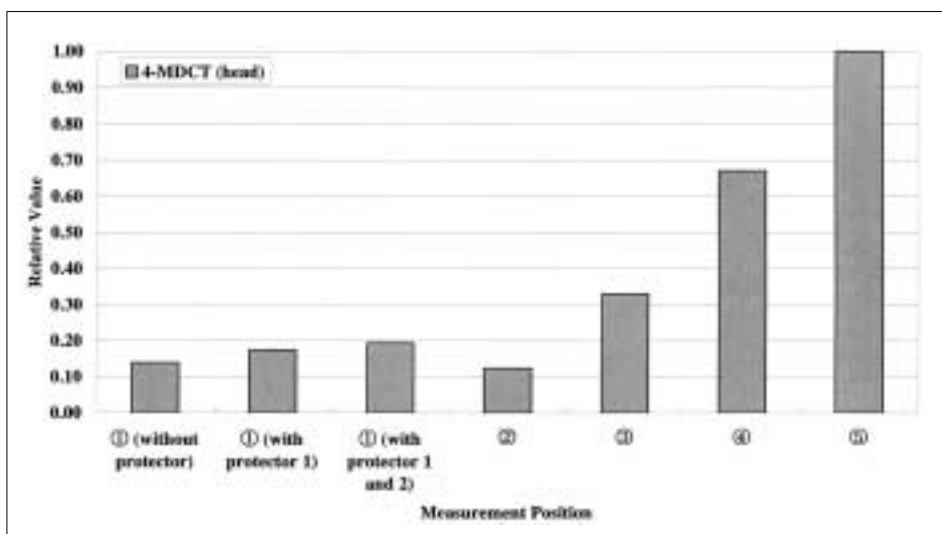


Fig. 5 Bar graph of the relative absorbed dose of the scattered radiation in the uterus section and the surface of the skin in head CT scan with 4 line detectors.

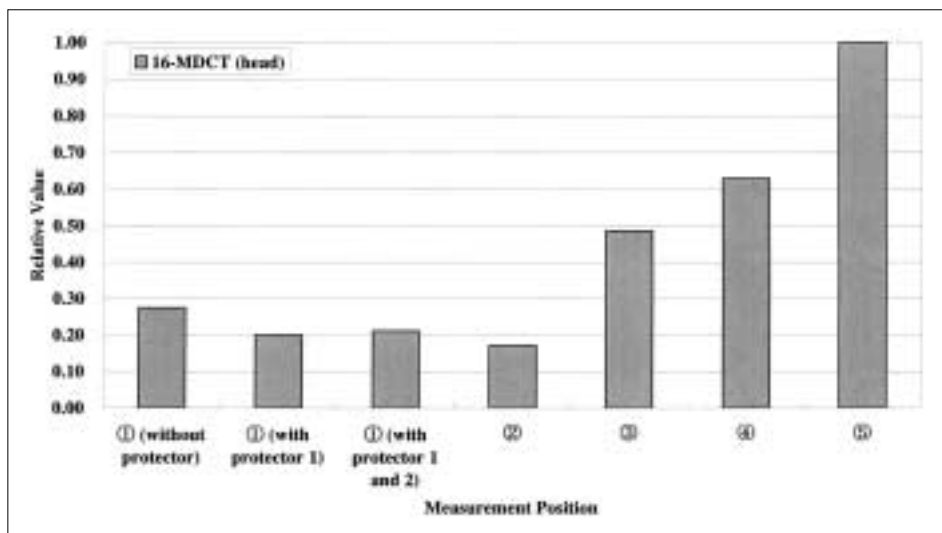


Fig. 6 Bar graph of the relative absorbed dose of the scattered radiation in the uterus section and the surface of the skin in head CT scan with 16 line detectors.

側に防護シートを着用した場合で $1.4\mu\text{Gy}$ であった。また、16-MDCTでは、防護シートなしで $3.9\mu\text{Gy}$ 、腹側に防護シートを着用した場合で $2.9\mu\text{Gy}$ 、腹側および背側に防護シートを着用した場合で $3.0\mu\text{Gy}$ であった。

直接線に曝露される水晶体断面の測定結果をTable 2に示す。頭部中心の線量も機種により異なり、SDCTで $32.8\text{mGy}$ 、4-MDCTで $42.8\text{mGy}$ 、16-MDCTで $59.5\text{mGy}$ であった。また測定位置のなかでは水晶体の線量が、後頭部の線量に比べ高い傾向となった。

### 2-2 胸部CTにおける防護シートの効果

胸部CT撮影における子宮断面での散乱線の測定結果をTable 3に示す。次に、頭部CTの場合と同様にSDCTにおける背側防護シート外の線量 (Fig. 2 の位置の線量) を1.0として規格化したものをFig. 7に示す。SDCTにおいて子宮位置の線量は、防護シートなしで $69.7\mu\text{Gy}$ 、腹側に防護シートを着用した場合で、 $51.8\mu\text{Gy}$ 、腹側および背側に防護シートを着用した場合で $66.7\mu\text{Gy}$ と、頭部CT時に比べ約10倍の吸収線量ではあるが、差は小さく防護シートの効果はほとんどみられなかった。頭部CT時と同様、皮膚表面線量の方が子宮位置の線量より高く、最も高い背側の防護シート外で $118.1\mu\text{Gy}$ であった。防護シートを用いることにより背部において $56.6\mu\text{Gy}$ 線量が減少した。同様に、4-MDCT、16-MDCTにおける相対線量をFig. 8、9に示す。4-MDCTでの子宮位置の線量は、防護シートなしで $160.7\mu\text{Gy}$ 、腹側に防護シートを着用した場合で、 $142.5\mu\text{Gy}$ 、腹側および背側に防護シートを着用した場合で $163.0\mu\text{Gy}$ であり、16-MDCTでは、防護シートなしで $108.2\mu\text{Gy}$ 、腹側に防護シートを着用し

Table 2 Absorbed doses of center of head, lens, and back of the head in a case of head CT (mGy)

Measurement Position	SDCT	4-MDCT	16-MDCT
	32.76	42.78	59.49
	41.04	57.60	59.06
	30.72	29.72	37.68

(mGy)

た場合で、 $107.8\mu\text{Gy}$ 、腹側および背側に防護シートを着用した場合で $89.7\mu\text{Gy}$ であった。

直接線に曝露される胸部断面の測定結果をTable 4に示す。直接線のあたる肺野内での吸収線量はSDCTで $8.8\text{mGy}$ 、4-MDCTで $16.7\text{mGy}$ 、16-MDCTで $18.1\text{mGy}$ という結果であった。いずれのCTにおいても、前胸部での吸収線量が最も大きな値であった。

## 3. 考察

### 3-1 防護シートの効果

頭部CTにおいて子宮位置の散乱線量は、防護シートの有無にかかわらず、いずれもTLDのバックグラウンドレベルの値であった。一方、胸部CTにおける子宮位置の散乱線量は約 $50\sim 160\mu\text{Gy}$ であり、線量そのものは頭部CTより多いが、防護シートを用いても、頭部CTの場合と同様に線量はほとんど変わらなかった。頭部、胸部いずれのCTにおいても、子宮位置への散乱線量が、防護シートの有無にかかわらず変わらないことから、ほとんどが体内での散乱線によるものと考えられ、子宮位置における防護シートの効果はないことが判明した。

頭部CTにおける皮膚表面での吸収線量は、腹側、

Table 3 Absorbed dose of the scattered radiation in the uterus section and the surface of the skin in a case chest CT ( $\mu\text{Gy}$ )

Measurement Position	SDCT		4-MDCT		16-MDCT	
	TLD	Normalized	TLD	Normalized	TLD	Normalized
( without protector )	69.71	0.59	160.70	0.62	108.22	0.52
( with protector 1 )	51.75	0.44	142.49	0.55	107.83	0.52
( with protector 1 and 2 )	66.74	0.57	163.01	0.63	89.74	0.43
	33.64	0.28	76.45	0.29	58.35	0.28
	61.52	0.52	96.93	0.37	103.19	0.50
	64.32	0.54	102.12	0.39	89.31	0.43
	118.10	1.00	259.19	1.00	208.11	1.00

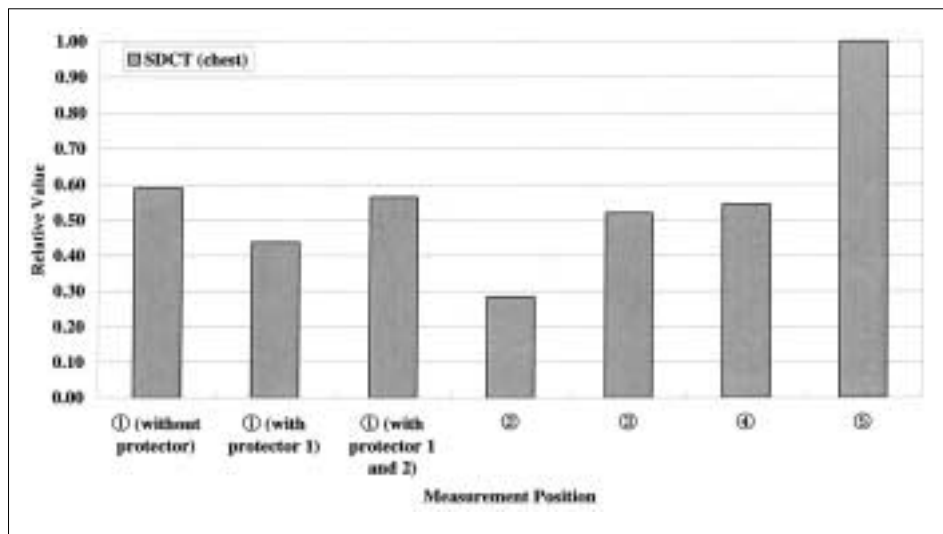
( $\mu\text{Gy}$ )

Fig. 7 Bar graph of the relative absorbed dose of the scattered radiation in the uterus section and the surface of the skin in chest CT scan with single detector.

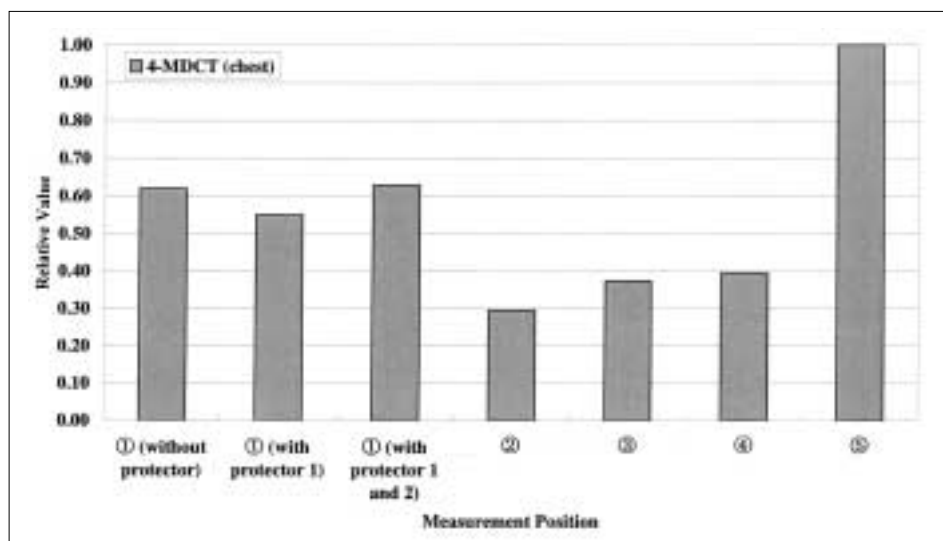


Fig. 8 Bar graph of the relative absorbed dose of the scattered radiation in the uterus section and the surface of the skin in chest CT scan with 4 line detectors.

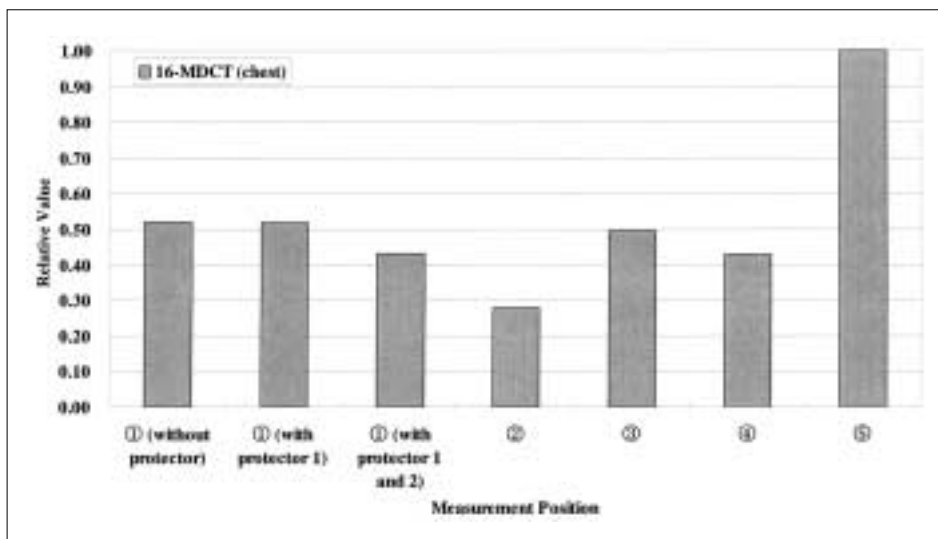


Fig. 9 Bar graph of the relative absorbed dose of the scattered radiation in the uterus section and the surface of the skin in chest CT scan with 16 line detectors.

背側ともに防護シートを着用することにより低下し、背側の線量は腹側の線量より高い傾向が認められた。このことは、胸部CTにおいても同様の結果が得られた。これらのことから、皮膚表面近傍ではベッドによる散乱線の影響があるものと考えられた。

3-2 利用線錐内外の線量に対する検討

今回の実験配置で、頭部を撮影した場合、直接線に曝露される水晶体断面上では、水晶体の線量が高く、後頭部の線量が低い値となった。同様に、胸部CTにおいても前胸部の線量が高く背部の線量が低い傾向となった。CTでの撮影範囲において、腹側の線量が高くなることは鈴木らの報告<sup>3)</sup>、前越らの報告<sup>4)</sup>、中江らのシミュレーション結果<sup>5)</sup>にも認められ、CTの最大線量点は、表面もしくは表面近傍に存在することが確認できた。

ベッド上に仰臥した部位の撮影をする場合、頭部、胸部にかかわらず、背部よりも腹部の方が高線量になることが分かった。線量の増減におけるベッドの寄与として吸収と散乱が考えられるが、利用線錐内ではベッドによる直接線の吸収による低下が散乱による増加よりも大きく寄与し、背部の線量が低かったものと考えられた。

一方、利用線錐外では前述したように、腹側に比べ背側の線量が高いこと、防護シートの使用により、背側に比べ腹側の減少が小さいことから、ガントリからの散乱線に比べてベッドからの散乱線量が大きく影響したものと考えられた。

Table 4 Absorbed dose of inside the lung field, precordia, and back chest in a case of chest CT( mGy )

Measurement Position	SDCT	4-MDCT	16-MDCT
	8.77	16.70	18.13
	16.13	25.93	27.30
	11.16	17.73	19.08

( mGy )

3-3 防護シートの有効性

測定データから、CT検査における防護シートの有効性について考察した。今回の測定データで最も大きかったのは胸部CTにおける 0.16mGyである。ICRP1990年勧告<sup>6)</sup>には生殖腺の確定的影響のしきい値を、精巣一時不妊の場合では0.15Sv、永久不妊では3.5~6.0Sv、卵巣の永久不妊では2.5~6.0Svとある。また、ICRP Publ.84では妊娠初期の胎児への影響しきい線量は100mGyとしており<sup>7)</sup>、それ未満では確定的影響を心配する必要はないと考えられる。

リスク評価法により検討してみると、ICRP1990年勧告で報告されているリスク推定値 [致死確率係数 (10<sup>-4</sup>/Sv)]は、卵巣で10、皮膚で2であり、リスクは卵巣で1.6×10<sup>-7</sup>、皮膚で5.0×10<sup>-8</sup>となる。リスク評価において社会的規制、リスク低減への取り組みが必要とされる値は10<sup>-6</sup>とされており、この点からも防護シートを使用しなくても十分に社会に受容されるレベルと判断できる。またUNSCEAR2000年報告によると、施設間での実効線量には5倍近くの差があり<sup>9)</sup>、このことを考慮しても十分受容されるレベルである。

以上のことから、頭部、胸部CT検査における防護

シートの有効性は見いだせなかった。

### 3-4 CT機種間の比較

今回、3機種 of CTを用いて患者に照射される散乱線量の測定を行った。装置間の差は、最大で約2倍あった。撮影プロトコルが異なることや、線量計が必ずしもスライス断面の最大線量を記録できる場所に配置されていない場合もあり得るため、正確な比較ができたとはいえない。

しかし、IAEAのガイダンスレベルでは、頭部CT 50mGy、体部CT 20mGyが提唱されている。また、他施設でのCT検査の典型的な線量として、Shrimptonらの報告では頭部CTで眼が50mGy、子宮では0.005mGy未満、胸部CTにおいて乳房が21mGy、子宮が0.06mGyという値が示されている<sup>10)</sup>。今回の測定ではそれらの報告とほぼ同等な値が得られたことは、ある程度妥当な値であるのかもしれない。線量計の配置等、今後の検討課題である。

## 4. 結語

CTにおける防護シートの使用は、確定的影響、確率的影響の双方から検討した結果、有効性は見いだされなかった。しかし、緒言で述べたように、CT検査の利用が拡大するにつれ、患者の被曝に対する不安も増加している。また、一般市民向け医学書には防護シートの有効性が記載されている。そのような情報をもって医療機関を受診する患者に、リスク評価を説明して受容されるとは到底思われない。地道な啓発活動が必要であり、われわれのデータが役立てば幸いである。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、人体等価ファントムをお貸しいただいた放射線医学総合研究所の西澤かな枝先生に深謝いたします。また論文作成にあたり、ご協力いただいたサイニクス株式会社の津田由美香様に深謝いたします。

## 参考文献

- 1)西澤かな枝：X線CT検査による被曝線量。放射線科学，33，334-341，(1990)。
- 2)UNSCEAR 1993 Report, Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Publication Sales No. E.94.IX.2, New York(1993)
- 3)鈴木昇一：CT検査における被曝線量の研究：CT検査の患者被曝。医器学，68(3)，100-104，(1998)。
- 4)前越 久：医療被曝測定セミナーテキスト。日本放射線技術学会中部部会・日本放射線技術学会計測分科会，(1998)。
- 5)中江保夫，小田雅彦，源 貴裕：放射線治療計画装置を用いたX線CTの被曝線量分布シミュレーション。日放技学誌，59(8)，935-943，(2003)。
- 6)ICRP Publication 60：国際放射線防護委員会の1990年勧告。日本アイソトープ協会(発売元 丸善)，東京，(1991)。
- 7)ICRP Publication 84：妊娠と医療放射線。日本アイソトープ協会(発売元 丸善)，東京，(2002)。
- 8)松下純一：胸部撮影における患者さんの防護衣は必要か - 不要の立場から -。日本放射線技術学会 放射線防護分科会会誌，17，7-9，(2003)。
- 9)United Nations: Sources and Effects of Ionizing Radiation, Volume I. Sources. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations Sales Publication, No.E.00.IX3, New York(2001)
- 10)Shrimpton PC, Jones DG, Hillier MC, et al.: Survey of CT practice in the UK. Part 2: Dosimetric aspects. NRPB-R 249. HMSO, London, UK(1991)

..... 図表の説明 .....

Fig. 1 測定時の概観図

Fig. 2 人体ファントムにおけるTLDの配置図

a. 防護シートを装着しない場合, b. 腹側に防護シート( Protector1)を腰部から下腹部にかけて装着した場合, c. 腹側および背側に防護シート( Protector1およびProtector2)を装着した場合の3通りで行った. 子宮部位の測定ポイントとして, 同一横断面上の腹側皮膚表面上として, 背側皮膚表面として にTLDを配置した. b. の場合は の位置と防護シートの前面にもTLDを配置し( ), c. の場合は に加え背部の防護シートの外側にもTLDを配置した( ). 頭部CT撮影においては水晶体の断層面で, 頭部中心, 水晶体部, 後頭部 に, 胸部CT撮影においては, 気管分岐部の断層面で肺野内, 前胸部, 背部 にTLDを配置した. 2-1は矢状断面, 2-2は頭部横断面, 2-3は胸部横断面, 2-4は子宮位置の横断面を示す.

Fig. 3 測定の幾何学的配置図. 3-1は側面から見た図, 3-2は足側から見た図.

Fig. 4 single detector CTでの頭部CT撮影における子宮断面および皮膚表面での散乱線の相対吸収線量の関係

Fig. 5 4列のmulti detector CTでの頭部CT撮影における子宮断面および皮膚表面での散乱線の相対吸収線量の関係

Fig. 6 16列のmulti detector CTでの頭部CT撮影における子宮断面および皮膚表面での散乱線の相対吸収線量の関係

Fig. 7 single detector CTでの胸部CT撮影における子宮断面および皮膚表面での散乱線の相対吸収線量の関係

Fig. 8 4列のmulti detector CTでの頭部CT撮影における子宮断面および皮膚表面での散乱線の相対吸収線量の関係

Fig. 9 16列のmulti detector CTでの頭部CT撮影における子宮断面および皮膚表面での散乱線の相対吸収線量の関係

Table 1 頭部CT撮影における子宮断面および皮膚表面での散乱線の吸収線量( $\mu\text{Gy}$ ). 絶対線量およびそれぞれのCT装置において背側防護シート外の線量を規格化した相対値を示す.

Table 2 頭部CT撮影における水晶体断面および頭部中心, 後頭部の吸収線量(mGy)

Table 3 胸部CT撮影における子宮断面および皮膚表面での散乱線の吸収線量( $\mu\text{Gy}$ )

Table 4 胸部CT撮影における前胸部および胸部中心, 背部の吸収線量(mGy)