

## 心血管IVR用X線装置の空間散乱X線量の装置間比較

稲葉洋平<sup>1</sup>, 江端綾子<sup>2</sup>, 田浦将明<sup>3</sup>, 結城裕子<sup>4</sup>,  
竹川弥香<sup>4</sup>, 梁川 功<sup>1</sup>, 田村 元<sup>5</sup>, 町田好男<sup>5</sup>,  
小倉隆英<sup>5</sup>, 森 一生<sup>5</sup>, 本間経康<sup>5</sup>, 石橋忠司<sup>5</sup>,  
齋藤春夫<sup>5</sup>, 高井良尋<sup>5</sup>, 佐藤行彦<sup>5</sup>, 仲田栄子<sup>5</sup>,  
丸岡 伸<sup>5</sup>, 細貝良行<sup>5</sup>, 千田浩一<sup>5</sup>

<sup>1</sup>東北大学病院 診療技術部 放射線部門

<sup>2</sup>新潟県立中央病院 中央放射線部

<sup>3</sup>宮城県立がんセンター 診療放射線技術部

<sup>4</sup>東北大学医学部保健学科 放射線技術科学専攻

<sup>5</sup>東北大学大学院医学系研究科 保健学専攻 放射線技術科学コース

## Comparison of Scattered Radiation in a Cardiac IVR X-ray System

Yohei INABA<sup>1</sup>, Ryouko EBATA<sup>2</sup>, Masaaki TAURA<sup>3</sup>, Hiroko YUKI<sup>4</sup>,  
Mika TAKEGAWA<sup>4</sup>, Isao YANAGAWA<sup>1</sup>, Hajime TAMURA<sup>5</sup>, Yoshio MACHIDA<sup>5</sup>,  
Takahide OGURA<sup>5</sup>, Issei MORI<sup>5</sup>, Noriyasu HONMA<sup>5</sup>, Tadashi ISHIBASHI<sup>5</sup>,  
Haruo SAITO<sup>5</sup>, Yoshihiro TAKAI<sup>5</sup>, Yukihiko SATO<sup>5</sup>, Eiko NAKATA<sup>5</sup>,  
Shin MARUOKA<sup>5</sup>, Yoshiyuki HOSOKAI<sup>5</sup> and Koichi CHIDA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiology, Tohoku University Hospital

<sup>2</sup>Department of Radiology, Niigata Prefectural Central Hospital

<sup>3</sup>Department of Radiology, Miyagi Cancer Center

<sup>4</sup>Department of Radiological Technology, School of Health Sciences, Faculty of Medicine, Tohoku University

<sup>5</sup>Course of Radiological Technology, Health Sciences, Tohoku University Graduate School of Medicine

Key words: 術者被曝, 散乱X線, IVR, 施設間比較

Radiation protections for physicians are important in interventional radiology (IVR). This study investigated the scattered radiation doses of a phantom in cardiac catheterization laboratories with various radiography systems used in percutaneous coronary intervention (PCI). The scatter doses with cineangiography and fluoroscopy of acrylic phantoms were compared for 12 radiography systems at 7 facilities. The maximum dose exceeded the minimum dose by 9-fold for cineangiography and 8.0-fold for fluoroscopy. Therefore, radiation dose management for physicians is important in IVR procedures.

## 1. 緒 言

X線透視撮影下でのカテーテル治療 (Interventional Radiology: IVR) は、低侵襲的な治療法として極めて有効であり、現在広く普及し、そして多数の患者が生命予後改善という恩恵を受けている。しかし IVR は、X線透視時間が長く撮影回数も多い傾向にあり、患者の被曝線量とともに、空間散乱 X 線による術者の被曝線量も問題となっている<sup>1-6)</sup>。

さらに、IVR は技術の進歩による手技の高度化、細分化のために特定の医師により施行されることが多く、すなわち特定医師のみに放射線量が蓄積されると考えられるため、IVR 術者は放射線被曝に対してより注意が必要である。国内では IVR に従事した医師の放射線被曝線量限度超過報告があった(原子力安全局 2000 年 9 月)<sup>7)</sup>。海外では IVR 従事者の放射線障害例(白内障: 確定的影響)が報告されている<sup>8,9)</sup>。

IVR 術者の適切な被曝防護を施行するためには空間散乱 X 線量の把握、管理が重要であり、それらを踏まえて放射線障害の防止に取り組まなければならない。

現在、IVR 時の患者の被曝測定やその低減法等については、盛んに検討されており、患者被曝測定を目的とした IVR 用 X 線装置の入射線量の多施設比較についても、従来から多く報告されている<sup>10-14)</sup>。しかし、術者被曝測定を目的とした IVR 用 X 線装置の空間散乱 X 線量の多施設比較については、ほとんど報告がない。そこで今回我々は、IVR 用 X 線装置間でどの程度線量較差があるのか現状を把握するために、7 施設 12 装置における透視及びデジタルシネ撮影時の空間散乱 X 線量について基礎的な比較検討を行うこととした。

## 2. 方 法

### 2.1. 使用機器

- 線量計(医療用個人被曝線量計): PDM-117(アロカ株式会社製)

特徴: パルス状の X 線の測定が可能。測定値は 1 cm 線量当量。

エネルギー依存性: 20 keV 以上の X 線が測定可能 (エネルギー特性: 30 keV~200 keV  $\pm 30\%$  以内)

方向依存性:  $\pm 60^\circ$  の範囲で約 90% 以上の検出感度

- ・アクリルファントム (30 cm  $\times$  30 cm  $\times$  1 cm): 20 枚=20 cm

### 2.2. 測定対象

仙台市内で心臓 IVR を、原則として年間 100 例以上行っている 7 施設 12 装置を対象とした。Table 1 はその要約である。X 線検出器 (受像系) は、フラットパネル検出器 (FPD) が 8 台、イメージインテンシファイア (I.I.) が 4 台であった。なお、今回測定を行った X 線装置は、全てアンダーテーブル X 線形装置である。

### 2.3. 測定方法

Fig. 1 に示すように、カテーテル寝台横側の X 線管焦点より垂直 100 [cm] の地点における床面から 50 cm (膝位置)、100 cm (生殖腺位置)、150 cm (甲状腺位置) の高さを測定点(計 3 点)とし、透視 1 min、撮影 15 sec. の X 線照射を行い、その時のアクリルファントム等からの空間散乱 X 線を線量計 PDM-117 で測定した。測定に際して使用したアクリルファントム、線量計及び測定者は

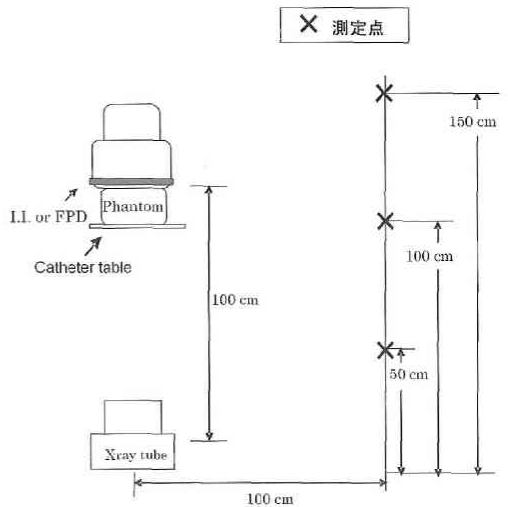


Fig. 1. 測定の幾何学的配置

心血管IVR用X線装置の空間散乱X線量の装置間比較

Table I. IVR用X線装置 (12装置)

使用装置	A Innova 2100 (GE)	B Innova 2100 (GE)	C Advantx (GE)	D Advantx (GE)	E Infinitx DP (TOSHIBA)	F Bicor T.O.P. (SIEMENS)	G Infinitx CS (TOSHIBA)	H Infinitx CS (TOSHIBA)	I Infinitx DP (TOSHIBA)	J Infinitx CS (TOSHIBA)	K Bicor T.O.P. (SIEMENS)	L Axiom Artis (SIEMENS)
X線発出器(受像系) 実測視野サイズ [cm] 使用年数 ろ過 (付加フィルター 除) [mm] グリット比 [-:1] グリット密度 [lines/cm]	FPD 16.4 3 3.5AI 13 70	FPD 16.4 3 3.5AI 13 70	IL 11 1.1 2.4AI 10 44	IL 14.5 5 2.5AI 10 44	FPD 16.3 2.5 2.8AI 13 70	IL 13.5 5.5 3.1AI 11 40	FPD 11.5 1.5 2.8AI 13 70	FPD 14 1.5 2.8AI 13 70	FPD 11.6 0.5 2.8AI 13 70	FPD 11.7 0.5 2.8AI 13 70	IL 13.5 8.5 3.1AI 11 40	FPD 13.5 1.5 3.1AI 15 80
透視条件 管電圧 [kV] 管電流 [mA] パルスレート [pulses/s] 付加フィルター [mm]	73.0 15.6 15.0 0.9 Cu	74.0 15.6 15.0 0.9 Cu	70.0 7.0 12.5 1.0Al+ 0.1Cu	80.0 6.3 Continuous -	70.0 13.4 15.0 0.06 Ta	70.0 4.3 15.0 0.1 Cu	70.0 10.0 7.5 0.03 Ta	70.0 8.8 7.5 0.06 Ta	70.0 13.7 7.5 0.06 Cu	70.0 6.1 7.5 0.03 Ta	76.7 2.3 7.5 0.1 Cu	70.0 5.8 7.5 0.2 Cu
撮影条件 管電圧 [kV] 管電流 [mA] フレームレート [frames/s] 付加フィルター [mm]	70.0 37.5 15.0 0.2 Cu	72.0 35.5 15.0 0.2 Cu	83.0 62.0 12.5 1.0Al+ 0.1Cu	80.0 14.0 12.5 -	75.0 58.2 15.0 0.03 Ta	70.0 31.2 15.0 0.2 Cu	72.0 60.0 15.0 0.06 Ta	72.0 48.0 15.0 1.8 Al	66.0 96.0 15.0 1.8 Al	71.0 60.0 15.0 0.06 Ta	66.0 30.5 15.0 0.1 Cu	68.7 24.7 10.0 0.1 Cu

Al: アルミニウム, Cu: 銅, Ta: タルタル

同一で行った。

線量計 PDM-117 は、カメラ用の三脚に固定具を取り付けて固定し、高さを変化できるようにした。

測定は、透視及びシネ撮影を各 3 回行いその平均をとった。透視条件、撮影条件、照射野サイズ、付加フィルタ等の X 線条件は、各施設において、冠動脈拡張術 (percutaneous coronary interventional: PCI) で使用しているものとした。

また高さ 50 cm における透視時の空間散乱 X 線量測定と同時に、スキンドーズモニタ (SDM) 線量計を用いたアクリルファントム入射表面線量の測定も行い、両者の関係を比較した。

### 3. 結 果

#### 3.1. 透視時の散乱 X 線量 (Fig. 2)

高さ 50 cm は、平均値±標準偏差が  $8.26 \pm 6.18 \mu\text{Sv}/\text{min}$  であり、最大/最小は 8.5 倍であった (最小値:  $2.67 \mu\text{Sv}/\text{min}$ , 最大値:  $22.67 \mu\text{Sv}/\text{min}$ )。高さ 100 cm は、平均値±標準偏差が  $6.95 \pm 5.04 \mu\text{Sv}/\text{min}$  であり、最大/最小は 9.2 倍であった (最小値:  $2.00 \mu\text{Sv}/\text{min}$ , 最大値:  $18.33 \mu\text{Sv}/\text{min}$ )。高さ 150 cm では、平均値±標準偏差が  $4.33 \pm 3.44 \mu\text{Sv}/\text{min}$  であり、最大/最小は 9.0 倍であった (最小値:  $1.33 \mu\text{Sv}/\text{min}$ , 最大値:  $12.00 \mu\text{Sv}/\text{min}$ )。装置毎に大きなバラツキがあり、また測定点の高さが低い方が空間散乱 X 線量は多くなる傾向を

示した。これは、X 線管がテーブルより下にある、アンダーテーブル X 線形装置であるので、テーブルより低い位置の空間散乱 X 線量が多くなっているためである。すなわち、アンダーテーブル X 線形装置では、術者の下半身の被曝が多くなることを意味している。

また、検出器間 (FPD と I.I.) での空間散乱 X 線量の比較では有意差は見られなかった (50 cm 位置での平均±標準偏差, FPD:  $7.79 \pm 24.9 \mu\text{Sv}$ , I.I.:  $8.42 \pm 90.9 \mu\text{Sv}$ ,  $p=0.91$ )。

#### 3.2. シネ撮影時の散乱 X 線量 (Fig. 3)

高さ 50 cm は、平均値±標準偏差が  $17.27 \pm 10.53 \mu\text{Sv}/15 \text{ sec}$  であり、最大/最小は 7.2 倍であった (最小値:  $5.33 \mu\text{Sv}/15 \text{ sec}$ , 最大値:  $38.33 \mu\text{Sv}/15 \text{ sec}$ )。高さ 100 cm は、平均値±標準偏差が  $14.22 \pm 8.70 \mu\text{Sv}/15 \text{ sec}$  であり、最大/最小は 8.0 倍であった (最小値:  $4.00 \mu\text{Sv}/15 \text{ sec}$ , 最大値:  $32.00 \mu\text{Sv}/15 \text{ sec}$ )。高さ 150 cm では、平均値±標準偏差が  $8.47 \pm 5.32 \mu\text{Sv}/15 \text{ sec}$  であり、最大/最小は 8.7 倍であった (最小値:  $2.33 \mu\text{Sv}/15 \text{ sec}$ , 最大値:  $20.33 \mu\text{Sv}/15 \text{ sec}$ )。透視時同様に、装置毎に大きなバラツキがあり、またアンダーテーブル X 線形装置であるため低い高さの空間散乱 X 線量が多くなる傾向を示した。

検出器間 (FPD と I.I.) での空間散乱 X 線量の比較では、FPDの方が有意に大きい値を示した。(50 cm 位置での平均±標準偏差, FPD:  $21.49 \pm$

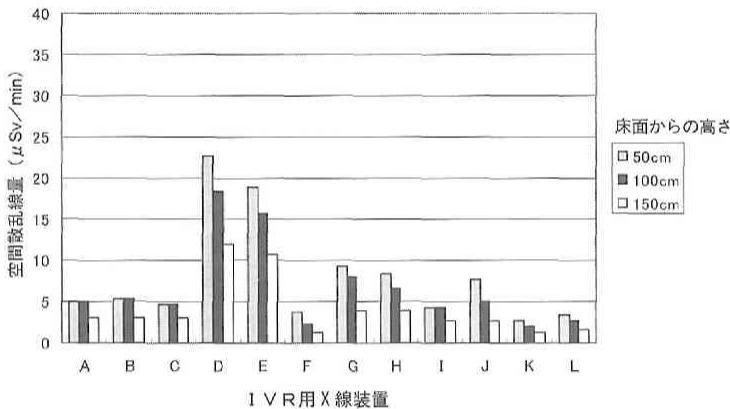


Fig. 2. 透視時の空間散乱 X 線量の比較

心血管 IVR 用 X 線装置の空間散乱 X 線量の装置間比較

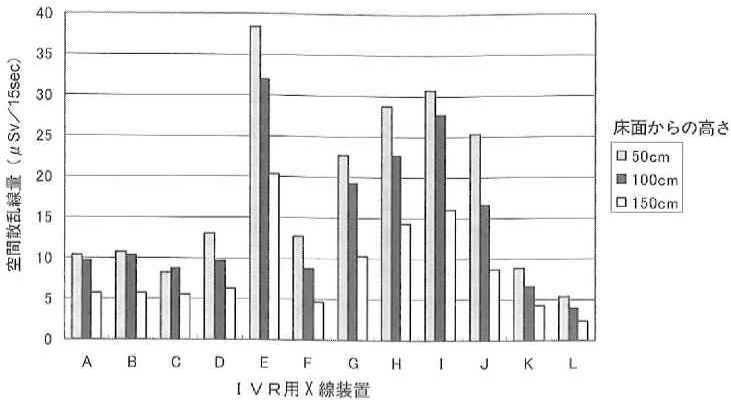


Fig. 3. シネ撮影時の空間散乱 X 線量の比較

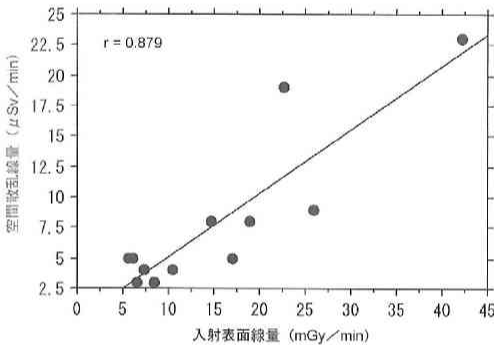


Fig. 4. 空間散乱 X 線量と入射表面線量

133.9  $\mu\text{Sv}$ , I.L.:  $10.71 \pm 6.15 \mu\text{Sv}$ ,  $p < 0.05$ ).

3.3. 空間散乱 X 線量と入射表面線量の比較 (Fig. 4)

アクリルファントムの入射表面線量と、空間散乱 X 線量は、高い正の相関を示した (相関係数 0.879)。

4. 考 察

4.1. 各測定点(高さ)における空間散乱 X 線量

今回測定を行った 3 点の高さの中で、高さ 50 cm の位置での空間散乱 X 線量が最も多く、床面からの高さが高いほど空間散乱 X 線量が少なくなることが確認できた。術者被曝となる主な空間散乱 X 線の発生源は、被写体入射面付近からによる

ものと考えられる。また、X 線可動絞り前面付近からの空間散乱 X 線の影響も大きいと考えられる。これらの空間散乱 X 線が大きく作用し、50 cm の高さが最も線量が大きかった要因と考えられる。

近年、IVR は複雑・高度化しているために検査時間が長くなる傾向にあり、また患者の近傍で手技を行うため距離をとることは実質的に困難である。そのため術者は、被曝防護三原則 (距離・時間・遮蔽) のうちの遮蔽 (防護) が最も大切になる。そのため、IVR 手技を行う術者は空間散乱 X 線に対する適切な防護が必要であると考えられる。今回の結果からも分かるように、アンダーテーブル X 線形装置では術者の下半身部分の空間散乱 X 線が多くなるため、放射線防護衣を装着するのはもちろんのこと、近年、血管撮影 IVR 装置に装備されている追加シールドも、術者被曝防護には有用と考えられる<sup>15,16)</sup>。

4.2. 各装置間における空間散乱 X 線量

今回 7 施設 12 装置で透視及びシネ撮影の空間散乱 X 線量の比較を行ったが、大きな装置間較差があった。そこで、各装置の線量較差の要因を考える。

透視では、今回の最大空間散乱 X 線量を示した装置は D 装置であり、最小空間散乱 X 線量を示した装置は K 装置であった。さらに最大と最小では約 9 倍程度の大きい線量較差があった。最も空

間散乱 X 線量が大きかった D 装置は、追加の付加フィルタが無くそして連続透視であることに加え、透視線量モードがノーマルモードを使っている点が要因であると考えられる。さらに D 装置の I.I. 使用年数は多いため、I.I. 劣化に起因して線量が大きくなっていることも考えられる。反対に、最も空間散乱 X 線量が小さかった K 装置は、低線量モードで且つ低パルスレート (7.5 pulses/sec) を使用していたことが低線量となった要因と考えられる。

シネ撮影では、最大は E 装置であり、最小は L 装置であった。最大と最小では約 8 倍程度の大きい線量較差を表した。最も空間散乱 X 線量が大きかった E 装置は、低線量モードを使用していなかった点が他装置より大線量である要因と考えられる。反対に、最も空間散乱 X 線量が小さかった L 装置は、低線量モードを使用し、フレームレートが最も小さいことが低線量となった要因と考えられる。

今回測定を行ったなかで、同一機種 of IVR 用 X 線装置であるにもかかわらず大きく線量の異なった装置 C と D、装置 E と I について、その要因を考える。装置 C と D では、撮影時はほぼ同等の空間散乱 X 線量であるのに対して、透視時のそれが大きく異なった理由は、使用した透視モード (装置 C: パルス透視, 装置 D: 連続透視) の違いに起因するものと考えられる。また装置 E と I においても、撮影時は同等であるのに対して透視時のそれが大きく異なったのは、パルスレートが 2 倍違う (装置 E: 15 pulses/s, 装置 I: 7.5 pulses/s) ことに起因すると考えられる。

IVR 用 X 線装置における患者被曝を目的とした入射表面線量の多施設評価に関する過去の調査や、我々の先行研究の結果では、約 10 倍程度の入射表面線量の装置間較差が示されている<sup>10-14,17)</sup>。すなわち今回の結果から示された空間散乱 X 線量の装置間の較差は、入射表面線量の較差とほぼ同等であることが分かった。

今回の測定結果から、透視時とシネ撮影時の空間散乱 X 線量は比例関係にないことが分った (Fig. 2, 3)。すなわち透視時の空間散乱 X 線量が

多い装置が、シネ撮影時のそれが多いとは限らない。したがって空間散乱 X 線量を評価する際には、透視とシネ撮影の両者とも測定する必要があると思われた。

さらに、検出器間 (FPD と I.I.) での空間散乱 X 線量の比較では、透視時は有意差は無いが、シネ撮影時には有意差があった。詳しい原因は不明であり、更に測定装置数を増やして検討する必要がある。

#### 4.3. 空間散乱 X 線量と入射表面線量の比較

空間散乱 X 線量と入射表面線量は、高い相関関係が得られた (相関係数: 透視; 0.879)。言い換えれば、術者被曝と関係する空間散乱 X 線量と、患者被曝と関係する入射表面線量は相関するということであり、よって、患者被曝を少なくすれば、術者被曝は減少できると思われた。今後は、シネ撮影時における空間散乱 X 線量と入射表面線量の関係について測定し比較を行う必要があると考えられる。

## 5. 結 語

IVR を多く行っている施設間においても、空間散乱 X 線量は大きなバラツキがあることがわかった。この結果より、適切な装置管理・防護を早急に行う必要があると考えられる。また、空間散乱 X 線と入射表面線量が高い相関関係にあることから、患者被曝となる入射表面線量を少なくすれば、術者被曝は少なくすることができると思われる。すなわち、患者被曝の低減方法は、術者被曝低減方法でもある。IVR 装置はアンダーテーブル方式を使用しているため高さが低い方が空間散乱 X 線量は大きい。今回は正面方向での透視およびシネ撮影時における検討を行った。実際の IVR 手技はアームが多方向になるため、今後さらに検討する必要がある。

## 謝 辞

線量測定に際しご協力をいただきました、東北大学病院、仙台厚生病院、東北厚生年金病院、東北公済病院、仙台市立病院、国立病院機構仙台医療センター、仙台オープン病院の技師長並びに担

当技師の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 85: Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures, Ann ICRP, 30/2, Publication 85, 2001
- 2) Hirshfeld, J.W., Balter, S., Brinker, J.A., Kern, M.J., Klein, L.W., Lindsay, B.D., Tommaso, C.L., Tracy, C.M., Wagner, L.K.: ACCF/AHA/HRS/SCAI Clinical competence statement on physician knowledge to optimize patient safety and image quality in fluoroscopically guided invasive cardiovascular procedures. A report of the American college of cardiology foundation/American heart association. American college of physicians task force on clinical competence and training, *Circulation*, **111**, 511-532, 2005
- 3) Limacher, M.C., Douglas, P.S., Germano, G., Laskey, W.K., Lindsay, B.D., McKetty, M.H., Moore, M.E., Park, J.K., Prigent, F.M., Walsh, M.N.: ACC expert consensus document. Radiation safety in the practice of cardiology. American College of Cardiology, *J. Am. Coll. Cardiol.*, **31**, 892-913, 1998
- 4) 小島康弘, 佐藤 静, 佐藤咲耶, 千田浩一: X 線診断領域における Direct Ion Storage 線量計の性能評価, 東北大医保健学科紀要, **17**, 71-79, 2008
- 5) (社) 日本放射線技術学会: 放射線医療技術学叢書(17)一血管撮影領域における放射線被曝と防護一, 1999, p 22-25
- 6) 千田浩一: 心血管 IVR における被曝線量計測評価に関する諸問題: 患者被曝に関して, 日本放射線技術学会雑誌, **62**, 1507-1515, 2006
- 7) 科学技術庁原子力安全局報告, 放射線被曝線量限度の超過の報告について, 2000.9 月
- 8) Vano, E., Gonzalez, L., Beneytez, F.: Lens injuries induced by occupational exposure in non-optimized interventional radiology laboratories, *Br. J. Radiol.*, **71**, 728-733, 1998
- 9) Wagner, L.K., Archer, B.R.: Minimizing Risks for Fluoroscopic X-Rays—Bioeffects, Instrumentation and Examination. A Credentialing Program, *Med. Phys.*, **25**, 258-259, 1988
- 10) 佐藤俊光, 江口陽一, 岡田明男: 血管撮影装置の線量調査, 日本放射線技術学会雑誌, **54**, 664-668, 1998
- 11) 田島 修: 血管撮影装置の透視線量率の実態調査, 日本放射線技師会雑誌, **51**, 996-999, 2004
- 12) 水谷 宏, 梅津芳幸, 江口陽一, 菊地 透, 坂本肇, 山口和也: IVR における患者被曝線量の測定と防護に関する研究班報告, 日本放射線技術学会雑誌, **59**, 369-381, 2003
- 13) Chida, K., Saito, H., Zuguchi, M., Shirotori, K., Kumagai, S., Nakayama, H., Matsubara, K., Kohzuki, M.: Does digital acquisition reduce patients' skin dose in cardiac interventional procedures? An experimental study, *AJR. Am. J. Roentgenol.*, **183**, 1111-1114, 2004
- 14) Chida, K., Fuda, K., Saito, H., Takai, Y., Takahashi, S., Yamada, S., Kohzuki, M., Zuguchi, M.: Patient skin dose in cardiac interventional procedures: Conventional fluoroscopy versus Pulsed fluoroscopy, *Cathet. Cardiovasc. Intervent.*, **69**, 115-121, 2007
- 15) Kuon, E., Schmitt, M., Dahm, J.B.: Significant reduction of radiation exposure to operator and staff during cardiac interventions by analysis of radiation leakage and improved lead shielding, *Am. J. Cardiol.*, **89**, 44-49, 2002
- 16) Chida, K., Morishima, Y., Katahira, Y., Chiba, H., Zuguchi, M.: Evaluation of additional lead shielding in protecting the physician from radiation during cardiac interventional procedures, *Jpn. J. Radiological Technology*, **61**, 1632-1637, 2005
- 17) 稲葉洋平, 江端綾子, 田浦将明, 白鳥和敏, 千田浩一: 心血管造影装置における入射表面線量多施設評価, 日本放射線技術学会第 64 回学術大会(横浜)抄録集, 96-97, 2008