ノート

血管撮影領域における術者に対する放射線防護

飯田泰治・茶島光浩・清水 満・田村鋒男

金沢大学医学部附属病院放射線部

論文受付
2001年6月19日論文受理
2001年10月2日

Code No. 621

緒言

近年、病気による治療手段は、外科的な手術だけでなく、侵襲度の低いinterventional radiology (IVR) による治療法への拡大が図られている。その結果、患者は非常な恩恵を受ける反面、放射線による被曝の増大と

いう新たな状況が生じている¹⁾。それに伴い、IVRに従事するもの、とりわけ術者の被曝が無視できない状況にある。術者の被曝は特別な場合を除いて散乱線によるものが大部分であり、それによって確定的な影響を生じるまでには至っていないが、従事者の年間線量

Radiation Protection of Angiographers in Interventional Radiology

HIROJI IIDA, MITSUHIRO CHABATAKE, MITSURU SHIMIZU, and SAKIO TAMURA

Department of Radiology, Kanazawa University Hospital

Received June 19 2001; Revision accepted Oct. 2, 2001; Code No. 621

Summary

Purpose: To estimate scattered dose rates from phantom measurements during interventional radiology (IVR) and to establish methods to reduce the angiographer's exposure in IVR. **Materials and methods:** Scattered dose rates were measured in lines parallel in space to the central ray of the x-ray beam, at lateral distances of 50 cm. They were measured by the ionization chamber dosimeter, which was made to have directivity by a lead slit. New radiation protective devices for angiographers were developed and their effects evaluated. **Results:** The scattered dose rates to which the angiographer was exposed during IVR were scattered from a collimator and a patient. The abdominal area was almost completely exposed by the scattered dose from the patient. The head and neck area were exposed by the commensurate scattered dose from the collimator and the patient. The scatter exposure rates of the abdominal area were reduced to 5-20% by a lead curtain attached beneath the tissue table and a lead barrier next to the patient's trunk. And the scattered dose rates of the head and neck area were reduced to 50-70% by shielding a surface of the tissue table between the angiographer and the patient. **Conclusion:** To reduce exposure of the head and neck area, it is necessary to shield the surface of the tissue table between the angiographer and the patient. To reduce exposure of the abdominal area, it is necessary to shield beneath the tissue table and next to the patient's trunk. The new radiation protective devices were considered very useful and effective in reducing the angiographer's exposure rates.

Key words: Radiation protection, Fluoroscopy, Interventional radiology, Scattered exposure, Radiation protective device

別刷資料請求先: 〒920-8641 石川県金沢市宝町13-1
金沢大学医学部附属病院 放射線部 飯田泰治 宛

Fig. 1 Diagram illustrating the geometry used to measure the scattered dose levels at fluoroscopy.
 (a) Measurement points.
 (b) Angiographer's position P.
 (c) Angiographer's position Q.

限度値を超える事例が散見されるので、管理上の問題が生じている。われわれは、本誌第56巻第4号にて血管撮影検査時における種々の透視環境が術者被曝線量に与える影響に関する報告をした²⁾。今回、それらの要因から術者の被曝に大きな影響を及ぼす散乱線の発生形態を調査し、有効な防護方法を考察した。

1. 方法

1-1 使用機器

1-1-1 X線装置

1) 装置A：株式会社東芝製

X線発生装置 KXO-80C

I.I.-X線管保持装置 CAS-8000V

画像処理装置 DFP-2000A

2) 装置B：シーメンス社製

X線発生装置 POLYDOROS100

I.I.-X線管保持装置 BICOR

画像処理装置 HICOR

3) 装置C：シーメンス社製

X線発生装置 POLYDOROS100

I.I.-X線管保持装置 ANGIOSTAR

画像処理装置 POLYTRON

3 台の装置の総濾過はすべて2.5mmAlである。

実験は、それぞれの項目について3台の装置すべてで実施したが、結果を報告するにあたっては、実験意図を最も反映している装置のデータを代表例として示

すにとどめた。

1-1-2 水ファントム

腹部用楕円ファントム

オリオン電機社製 ORP-951 (JIS Z4915準拠)

長径30cm, 短径20cm, 長さ45cm

1-1-3 線量計

ラドカル社製 model 9015

使用プローブ

(1) 散乱線測定用 90 × 5-1800

(2) 空気吸収線量測定用 10 × 5-6

線量測定はmR/min単位で行い、係数8.76($\mu\text{Gy}/\text{mR}$)を乗じて空中空気カーマ率($\mu\text{Gy}/\text{min}$)に変換した。

1-2 術者が受ける散乱線量の分布

術者が患者に一番近い状態で検査をした場合 (Fig. 1b) を想定し、その場所における散乱線量の分布を測定した^{2, 3)}。X線管焦点-ファントム入射面間距離を60cmとし、高さ方向の測定点はX線管焦点を基準として、0~110cmを10cm間隔とした (Fig. 1a)。測定は装置Aを使用し、I.I.サイズ10インチ、12インチ、14インチそれぞれについて行った。また、そのときのファントム入射面における線量もあわせて測定した。

1-3 X線入射方向と散乱線量分布の関係

心臓カテーテル検査ではさまざまな方向から透視撮影が行われるので、術者の被曝線量もそれに伴い変化

Fig. 2 Diagram illustrating the geometry used to measure the direction of scattered dose at fluoroscopy. (a) Drawing depicts the ionization chamber dosimeter made to have directionality by a lead slit. (b) Geometrical set-up for scatter dose measurement by the ionization chamber dosimeter with a lead slit.

する。そこで、X線入射方向によって術者位置での散乱線量分布がどのように変化するかを調べた。術者の立つ位置をFig. 1cとし、1-2と同様の高さにおける線量を測定した。測定は装置Bを使用してI.I.サイズ11インチで行った。

1-4 散乱線の発生源

術者が被曝する原因はどこにあるかを把握するには、散乱線の発生源を調べる必要がある⁴⁾。大きさ30cm x 30cm、厚さ2mmの鉛板をFig. 2aに示すように用いて幅3cmのスリットを作成し、線量計に装着した。このようにして線量計に指向性を持たせることで散乱線の発生源を見つけようとした。それぞれの位置関係は図に示すとおりである。測定は、本来Fig. 1aの位置で行いたいところであるが、鉛板がファントムおよびカテーテルテーブルと干渉するため、さらに20cm離してX線入射中心から50cm離れた位置で行った。測定点の高さはX線管焦点から30~100cmを10cm間隔とした。それぞれの高さにおいてスリットの向きをFig. 2bに示すように測定器からX線管を見下ろす角度方向を(+), I.I.を見上げる角度方向を(-)で表し、+70°から-80°までの150°を10°間隔で測定した。測定には装置A: I.I.サイズ14インチおよび装置C: I.I.サイズ16インチを使用し、透視時間2分間での積算線量から線量率を求めた。

2. 結果

2-1 術者が受ける散乱線量の分布

Fig. 3にX線入射方向P-Aにおける透視時の散乱線量分布を示す。透視条件とファントム表面の空中空気カ

Fig. 3 Scattered radiation profiles at 30 cm from the central axis of the imaging system. A 20 cm thick water phantom was used to simulate scatter from the patient.

Fig. 4 Change in scattered dose rate with rotation of an angiographic C-arm system. An elliptical water phantom was used to simulate scatter from the patient with system B.

ーマ率は、10インチ: 95kV, 16.7mGy/min, 12インチ: 92kV, 15.7mGy/min, 14インチ: 81kV, 11.4mGy/minであった。術者位置における散乱線量はいずれのI.I.サイズにおいても、X線管焦点から40cm付近で最大であった。

2-2 X線入射方向と散乱線量分布の関係

装置Bの測定結果を示す(Fig. 4)。透視条件とファントム表面の入射線量率はP-A方向で85kV, 22.3mGy/min, 側方向で109kV, 52.5mGy/minであった。図横軸は左側面(R→L)を90°, 右側面(L→R)を-90°として表し、P-A方向でのX線管焦点位置から40cm, 70cm, 100cmの高さにおける値を表示した。どの高さにおいても左側面(X線管が術者の側にあるとき)が最大値を示し、右側面(I.I.が術者の側にあるとき)で最小値を示した。また、一部の角度を除いて高さ40cmのとき最

Fig. 5 Scattered radiation profiles at angiographer's position P from each direction.

大値を示す傾向にある。

2-3 散乱線の発生源

装置Aの測定結果を示す(Fig. 5)。透視条件とファントム表面の空中空気カーマ率は装置A: 14インチ, 81kV, 11.4mGy/min, 装置C: 16インチ82kV, 19.8mGy/minであった。ちなみに、装置Aが、可動絞り器からの散乱線量が最も多かったことを付け加えておく。図横軸は測定器に取り付けたスリットを方向を角度で表した。縦軸は散乱線量を相対的に表した。Fig. 5の測定点からピークを示した角度方向へ直線を引くとFig. 6に示すように可動絞り器とファントムの2カ所に収束した。

3. 考 察

3-1 血管撮影時の被曝部位

術者の被曝は特別な場合を除き、大部分が散乱線によるものであり、その発生源は装置によって差はあるものの、大部分が被写体と可動絞り器からであることが判明した。また、血管撮影検査において、使用する装置は大部分がアンダーテーブル式であり、通常のカ

Fig. 6 The scattered radiation to which the angiographer was exposed during IVR was scattered from a collimator and a patient.

テーテル操作はP-A方向の透視で行われることが大部分である。Fig. 3の結果より、P-A方向の透視において術者位置での散乱線量が最大値を示すのはX線管焦点より40cm上方であることが判明した。また、すべての透視方向においても40cmの高さで散乱線量が最も多いことがFig. 4の結果をみても明らかである。さらに散乱線の入射方向のデータ(Fig. 5)をみても40cmの高さにおける最大値がほかの高さにおける最大値よりも大きいことが分かる。この高さはカテーテルテーブルの下方20cmであって、術者の生殖腺を含む下腹部の位置に相当する。また、X線管焦点から110cmの高さは術者の頭頸部に相当する。この部分の散乱線量は前述した生殖腺位置における線量の約1/6であった。以上のことから、通常P-A方向の透視作業においては下半身の防護が重要である。ちなみにI.I.サイズが小さくなると透視線量は増加するが、散乱体積が小さくなるため散乱線量は減少する⁵⁾。

3-2 散乱線の発生源

散乱線の入射方向のデータ(Fig. 5)より、各測定位置における散乱線強度は2方向でピークを示し、術者が受ける散乱線の多くは可動絞り器と被写体からの散乱線であることが判明した(Fig. 6)。術者の生殖腺位置で受ける散乱線は被写体からの散乱線を主体としている。しかし、測定位置が生殖腺位置から頭頸部位置に移動するに伴い、被写体からの散乱線の割合が減少し、可動絞り器からの散乱線の割合が増加する。その結果、頭頸部位置で受ける散乱線は被写体と可動絞り器からの散乱線がほぼ同量となる。術者の防護を考える場合、被写体と可動絞り器からの散乱線を考慮しなければならない。

可動絞り器からの散乱線発生の要因については、
1) 絞り前面に取り付けられている散乱体の影響
 追加フィルタの有無

Fig. 7 Geometric placement of the positions in which the radiation protective devices were attached.

カバーの材質とその厚さ

2) 絞りの構造に起因する影響

半影の大きさ

絞りの構造や材質

が考えられるが³⁴⁾、今回は発生要因を特定するまでにはいたらなかった。

3-3 散乱線量からみた術者防護の最適化^{6, 7)}

3-3-1 遮蔽する位置

ここまでの結果から、術者の有効な防護を図るには Fig. 7 の A, B, C の位置を遮蔽することが必要であると考え、その部分を遮蔽した場合の線量を測定した。使用した遮蔽板は以下のとおりである。なお、遮蔽板は 0.12mmPb 当量の含鉛ビニルシートを用いて作成した。

- a. 遮蔽板(A)：幅50cm×長さ12cm
カテーテルテーブル表面における、術者と被写体の間隙を遮蔽するもの
- b. 遮蔽板(B)：幅50cm×長さ10cm
カテーテルテーブルから上方10cmを遮蔽するもの
- c. 遮蔽板(C)：幅50cm×長さ40cm
カテーテルテーブルから下方40cmを遮蔽するもの

なお、線量測定位置は Fig. 1b とした。結果を Fig. 8 に示す。遮蔽板(A)を使用することによって散乱線はカテーテルテーブル上方で約30%減少した。これは可

Fig. 8 Reduction rates of the protective devices (A, B, C).

動絞り器からの散乱線に対する遮蔽効果を示す結果である。遮蔽板(B)は被写体の高さにおいて散乱線を約65%低減し、それより上方においても約20%の低減効果がみられた。遮蔽板(C)はカテーテルテーブル下方で80~95%低減した。

3-3-2 考案した防護用具

Fig. 8の結果から、Fig. 7に示すA, B, Cの位置を遮蔽すれば術者の防護が有効に図れることが判明したので、われわれは次のような防護用具を試作した⁸⁾。遮蔽板(A)と(B)は厚さ5mmのL字型アクリル板に0.12mmPb当量の含鉛ビニルシートを張り付けて一体化した。遮蔽板(C)は同じく0.12mmPb当量の含鉛ビニルシートをカテーテルテーブルから垂らして使用するものである。それぞれの外観および使用位置を Fig. 9 に示す。われわれは、これらを armrest protector および side protector と命名した。これらの防護用具はカテーテルテーブルとマットレスの間に挟んで使用するので固定用の金具等を必要としない。armrest protector はおもに術者の頭頸部を、side protector は術者の腹部領域を防護することを目的としている。

3-3-3 防護用具の効果

試作防護用具の効果を Fig. 10 に示す。armrest protector はカテーテルテーブルより上方、side protector はカテーテルテーブル下方の防護に有効である。試作した2種類の防護用具を使用することにより術者の腹部領域の防護は約90%実現されるが、頭頸部に関しては約50%の効果しかない。その原因は3-2や3-3-1で指摘したように試作した防護用具は可動絞り器からの散乱線を遮蔽するが、被写体からの散乱線に対する遮蔽が不十分なためである。頭頸部に対する防護方法には試作防護用具に加えて、被写体からの散乱線を遮蔽するための天井懸垂式の遮蔽板を使用するなど、検討の余地がある⁹⁾。

Fig. 9 The new radiation protective devices.
(a), (b) Geometric placement of the radiation protective devices.
(c) Armrest protector. (d) Armrest protector and side protector.

Fig. 10 Reduction rate of the new protective devices and the protective devices (A+B+C).

Fig. 11 Diagram illustrating the geometry used to measure reduction rates obtained by the protective devices. The radiation protective devices were moved from 0 cm to 40 cm.

3-3-4 防護用具の設置位置

被写体およびX線入射中心と正対した場合の防護効果は判明した。しかし、検査中術者は状況に応じて患者の周辺を移動し1カ所にとどまらないのが普通である。そのような場合、防護用具はどのような位置に設置すれば効果があるのだろうか。術者が立つ位置をFig. 1cと規定し、防護用具をX線入射中心から10cmず

つ40cmまで術者方向に移動させて(Fig. 11), 術者位置でのX線管焦点から40cm, 60cm, 80cm, 100cmの高さにおける線量を測定した。結果をFig. 12に示す。術者位置でのそれぞれの高さにおいて、防護用具をX線入射中心から20cm術者側に移動させることで防護効果が最も大きくなった。これは、防護用具を被写体

Fig. 12 Change in reduction rates obtained by differences in the position of attachment of the new protective devices.

へのX線入射中心と術者を結ぶ線上に置くことが有効な防護効果を生むことを示している。これは、そのほかの防護用具を使用する場合にも適用され则认为る。

3-3-5 X線入射方向と防護用具の効果

Fig. 13に、X線入射方向を左側面(R→L)を90°, 右側面(L→R)を-90°として表したときのおおのの入射方向における二つの試作防護用具を組み合わせ使用したときの防護効果を示す。図はP-A方向でのX線管焦点位置から40cm, 70cm, 100cmの高さにおける値を表示した。腹部および下半身における防護効果は十分である。頭頸部領域では透視方向がLAO方向に変化すると散乱線量は急激に増加するが、試作防護用具による頭頸部領域の防護効果は少ない。このことは3-3-3でも指摘しており、今後の課題である。

4. 結 語

今回、血管撮影検査において術者被曝の最も大きな要因である散乱線の発生源とその分布を調査し、有効な防護方法を模索し防護用具を試作した。われわれが試作した防護用具は既に論文で発表された形式のものであり¹⁰⁾、市販もされている。われわれは、散乱線量を測定することにより、それら防護用具の有効性について検証した。その結果、腹部は被写体からの散乱線を、頭頸部は被写体および可動絞り器からの散乱線を

Fig. 13 Change in reduction rates obtained by the new protective devices by rotating an angiographic C-arm system. The distances from the x-ray tube to the probe at P-A direction were 40 cm, 70 cm, and 100 cm.

遮蔽することが重要であることが判明した。試作した防護用具は頭頸部の防護に対して不十分ではあるものの、その他の部位における有効性は証明された。

現在、術者の防護は今回試作した防護用具や天井懸垂式の遮蔽板のように患者および可動絞り器からの散乱線を遮蔽することによって目的を達成する方式と、防護衣や防護眼鏡および甲状腺防護用具のように術者が直接着用して体幹部や放射線感受性の高い臓器を散乱線から防護する方式のものと大別される。身体に付ける防護用具は目的臓器を確実に防護できる反面、術者の快適性が幾分阻害される。一方、患者からの散乱線を防護する形式のものは、I.I.-X線管保持装置と干渉するなど、作業性が阻害される場合がある^{6, 7)}。今回試作した防護用具は、作業性を損なうことなく術者の防護を実現できるものである。また、血管撮影検査は清潔下での作業が要求されるので、防護用具を使用することで清潔度が低下してはいけない。本防護用具は清潔度保持についても問題はない。

血管撮影領域におけるIVRは検査が長時間に及ぶことが多いので、術者が検査に集中するためには身体に付ける防護用具から解放することも視野に入れて術者防護を考えていく必要がある。今回試作した防護用具の考え方はその第一歩と考えるものである。

参考文献

- 1) 菊地 透：IVRの従事者の被曝管理とその防護の考え方．NEWSLETTER, 17, 12-16, (1997)．
- 2) 飯田泰治, 上田伸一, 清水 満, 他：血管造影検査における透視環境の違いによる術者の被曝線量．日放技学誌, 56(4), 610-618, (2000)．
- 3) Boone JM and Levin DC: Radiation exposure to angiographers under different fluoroscopic imaging conditions. Radiology, 180(3), 861-865, (1991)．
- 4) 山崎詔一, 伊勢孝雄, 高橋大器：Cアーム装置における被写体およびコリメータからの散乱線分布．日放技師会誌, 45(543), 495-500, (1998)．
- 5) 佐藤州彦：脳血管内手術の現状と低減策．日放技学誌, 55(1), 24-27, (1999)．
- 6) 栗井一夫, 磯見正美, 小山修司, 他：血管撮影領域における放射線被曝と防護．放射線医療技術学叢書(17), pp. 41-112, 日本放射線技術学会, 京都, (1999)．
- 7) 栗井一夫, 青木雄二, 伊藤敏夫, 他：最近のX線診断領域における従事者の被曝の問題点と防護衣の在り方検討班報告．日放技学誌, 54(5), 687-696, (1998)．
- 8) 才田壽一, 吉岡孝之, 奥西孝弘, 他：新しい血管撮影用放射線防護具の開発．日放技学誌, 53(1), 1-7, (1997)．
- 9) 古田 求：coronary intervention の医療被曝．日放技学誌, 55(1), 28-31, (1999)．
- 10) 斉藤岩男, 渡辺 晨, 宮崎利勝, 他：検者の被曝低減をはかるL字型プロテクタの作成, 全国シネ撮影技術研究会誌, 8, 129-130, (1996)．

図表の説明

- Fig. 1 散乱線分布測定のための幾何学的配置．
 (a)測定点の位置．
 (b)P-A方向透視時の術者位置P．
 (c)側方向透視時の術者位置Q．
- Fig. 2 角度方向の散乱線分布の測定．
 (a)幅3cmの鉛スリットを線量計に装着した図．
 (b)鉛スリット付線量計使用による散乱線の測定．
- Fig. 3 術者位置Pにおける散乱線分布．
- Fig. 4 C-アームの回転に伴う術者位置Qにおける散乱線分布の変化．
- Fig. 5 術者位置Pにおける角度方向の散乱線分布．
- Fig. 6 術者がおもに被曝する散乱線の方向．
- Fig. 7 術者防護を図るために必要な防護板の設置場所．
- Fig. 8 防護板(A),(B),(C)の遮蔽効果．
- Fig. 9 試作した2種類の防護用具．
- Fig. 10 防護板(A),(B),(C)および試作防護用具の遮蔽効果．
- Fig. 11 防護用具の幾何学的配置．
- Fig. 12 試作防護用具の設置場所の違いによる遮蔽効果の変化．
- Fig. 13 試作防護用具のC-アームの回転に伴う遮蔽率の変化．