

泉 翔一

長尾 好浩

横手 堯彦

齋藤 央

赤川 拓也

福井 義治

徳島赤十字病院 放射線科部

要 旨

2011年に国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection; ICRP) が眼の水晶体に対する被曝の線量限度引き下げに関する声明を発表した。これにより、被曝低減は今後放射線領域において益々重要になると考えられる。

当院のハイブリッド手術室で行われる IVR (Interventional Radiology) では様々な職種のスタッフが関わる手技が多く、その被曝線量は各々の作業場所によって異なる。

今回、当院のハイブリッド手術室における IVR 時の空間線量分布を測定し、その分布を可視化した。結果、術中の作業場所に応じた被曝状況、また鉛防護具の配置による効果の把握につながり、今後の IVR 手技におけるスタッフに対する被曝低減の一助となると考えられた。

キーワード：IVR 被曝、水晶体の被曝、被曝低減、防護三原則

はじめに

眼の水晶体に対する被曝は確定的影響に分類され、しきい線量が存在する被曝であり、放射線による被曝線量がしきい値を超えた場合に放射線障害が発生する可能性があるため、防止策として被曝線量をしきい値以下に管理する必要がある。

近年、被曝と白内障の関係が一層明らかになり、水晶体の微細な白濁も将来的には視覚障害を伴う白内障へと発展する可能性があるという考えのもと、2011年4月21日に韓国ソウルで行われた国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection; ICRP) の主委員会の会合で、眼の水晶体に対しては、吸収線量でのしきい値を0.5Gyと見なすこと、計画被曝状況の職業被曝に対する眼の水晶体の等価線量限度を現在150mSv/年の所5年間で100mSv、かついずれの1年においても50mSvを超えないとすべきであることが勧告されている¹⁾。

これを受け欧州を中心とした諸外国では線量限度の引き下げが進んでいる。これらのことより被曝低減は、今後放射線領域において益々重要になると考えられる。

現在当院のハイブリッド手術室で行われる IVR

(Interventional Radiology) では、様々な職種のスタッフが関わる手技が多く、その被曝線量も各々の作業場所によって異なる。

今回、特に多くのスタッフが関わる経カテーテル大動脈弁植え込み術 (Transcatheter Aortic Valve Implantation; TAVI) を想定し、空間線量分布の測定を行った。また、その空間線量分布を可視化する事により術中の作業場所に応じたスタッフに対する被曝状況と鉛防護具の配置による効果の把握を行った。その結果からスタッフの被曝低減方法を検討したので報告する。

使用機器等

アンギオ装置：Artis Q BA Twin (Siemens 社製)
(総濾過：2.5mmAl 当量, 固有濾過：2.1mmAl 当量,
面積線量計：0.2mmAl 当量, コリメータ：0.2mmAl 当量)

ファントム：MixDP+アクリルファントム (合わせて20cm)

電離箱サーベイメータ：ICS-321, ICS-323C (日立アロカメディカル株式会社)

方 法

ハイブリッド手術室内にて現行の経大腿部アプローチの TAVI 術式環境下を想定して測定を行った。寝台の配置は、シングルプレーンで患者頭側が広く使える Left Side Table Rotated にて測定を行った (図 1)。

機器の幾何学的条件は医療放射線防護連絡協議会『IVR に伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン』²⁾の“IVR における患者皮膚線量の測定マニュアル”を参照して、IVR 基準点 (2012年版の Japanese Industrial Standards ; JIS の改訂により、患者照射基準点と名称が変更) を 20cm ファントムの下端に設定した。

照射条件を表 1 に示した。可変の補償フィルタは全開にし、照射野は術中において最重要となる留置時を想定して、その際用いられる 15.8cm×15.8cm とした

(対角 22cm)。線質調整フィルタは 0.3mm の Cu フィルタであり、X 線照射野中心はファントム中心とした。

次に室内の幾何学的条件を図 1 に示す。黒のドットで示した 39 点で計測を行った。

測定した高さは、生殖腺と眼の水晶体との仮想点として 100cm と 150cm の 2 点とした。

鉛防護具に関しては、a. 防護なし、b. テーブルサイド X 線防護鉛カーテン (0.5mmPb 当量、図 2)、c. 鉛カーテンの上に取り付ける差し込み式の鉛防護具 (0.5mmPb 当量、図 2)、d. 天井吊り式の亚克力防護板 (0.5mmPb 当量、図 3)、e. 患者頭部側に移動式の下部鉛防護具 (0.7mmPb 当量、図 4)、f. 患者頭部側に移動式の上部鉛防護具 (0.5mmPb 当量、図 5) の順で防護を追加し順次測定を行った。防護具全て配置した様子を図 6 に示した。

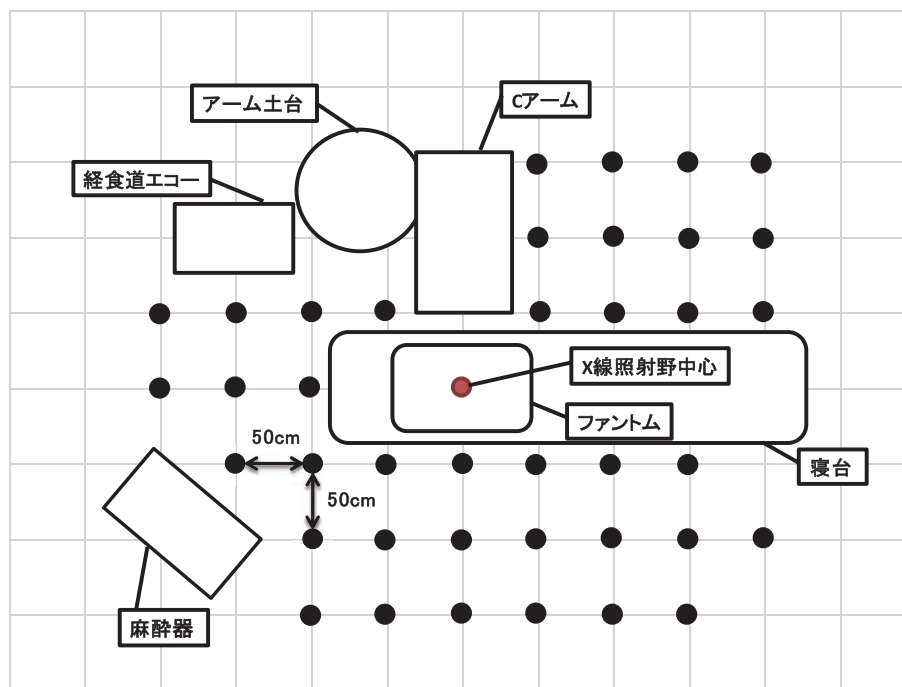


図 1 室内の幾何学的条件

表 1 透視の照射条件

管電圧 (kv)	管電流 (mA)	パルスレート (pulse/sec)	パルス幅 (msec)	透視線量率 (装置表示値) (mGy/minute)	Cu フィルター (mm)
77	125	7.5	5.2	11	0.3



図2 鉛カーテン上の差し込み式鉛防護具

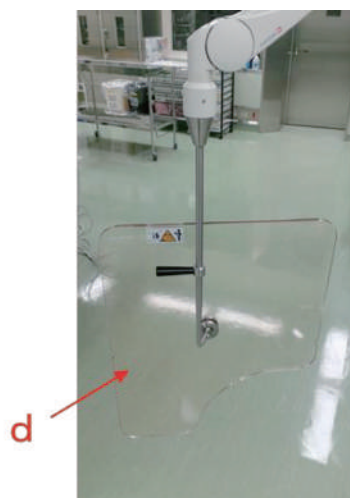


図3 天井吊り式のアクリル防護板



図4 移動式の下部鉛防護具



図5 移動式の上部鉛防護具

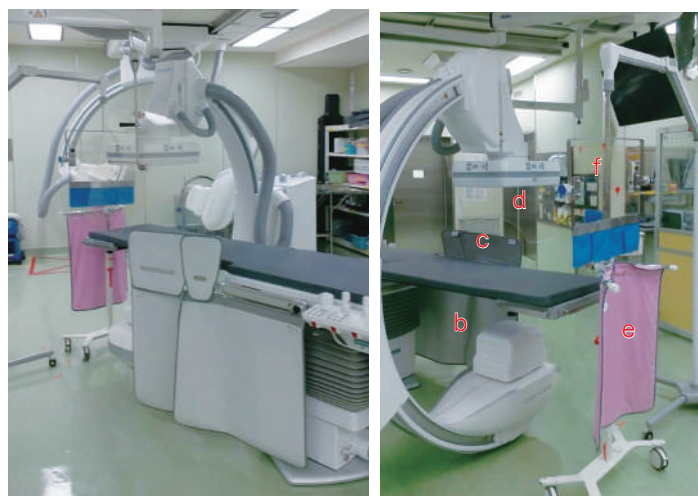


図6 鉛防護具を配置した様子

結 果

今回の測定値により得られたハイブリッド室内での空間線量分布を図7、図8に示した。カラースケールは図の右に示す通りで、800 μSv 毎時を青から赤で示した。等高線は100 μSv 毎時ごとに引いた。

移動式の上部鉛防護具を設置した際、その土台と重複し図9矢印に示すポイントが測定不能となった為、38点での測定とした。

100cmの高さにおける空間線量分布を図7に示した。aの防護なしと比較し、図2、bの鉛カーテンを設置時の分布に大きな差は見られなかった(図7、b)。図2、cの鉛カーテンの上に取り付ける差し込み式の鉛防護具設置時には鉛カーテンの配置位置より患者足側の術者が配置する場所にて線量が低下した(図7、b+c)。次に図3、dの天井吊り式の亚克力防護板では差が見られず(図7、b+c+d)、図4、eの下部鉛防護具設置時には麻酔科医、エコー医の配置位置にて線量が低下した(図7、b+c+d+e)。図5、fの移動式の上部鉛防護具設置時は差が見られなかった(図7、b+c+d+e+f)。

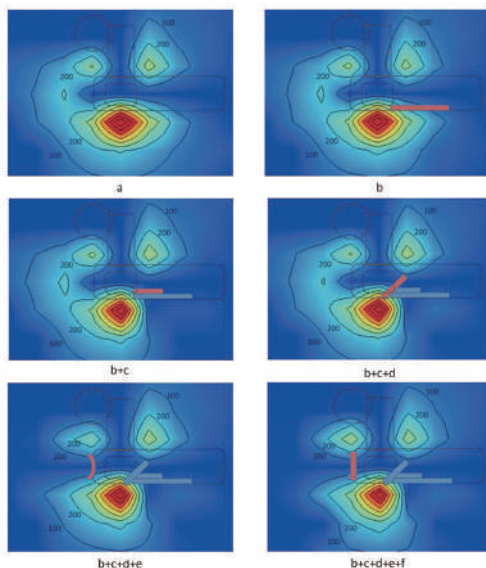


図7 100cmの高さにおける空間線量分布

- a. 防護なし
- b. テーブルサイドX線防護鉛カーテン
- c. 鉛カーテンの上に取り付ける差し込み式の鉛防護具
- d. 天井吊り式の亚克力防護板
- e. 移動式の下部鉛防護具
- f. 移動式の上部鉛防護具

150cmの高さにおける空間線量分布を図8に示した。aの防護なしと比較し、図2、bの鉛カーテンを設置時に分布に差が見られなかった(図8、b)。図2、cの鉛カーテンの上に取り付ける差し込み式の鉛防護具設置時には鉛カーテン後方の少し離れた位置にて線量が低下した(図8、b+c)。次に図3、dの天井吊り式の亚克力防護板で防護板より後方の広い範囲において線量が低下した(図8、b+c+d)。図4、eの下部鉛防護具設置時には防護具後方の少し離れた位置にて線量が低下した(図8、b+c+d+e)。図5、fの移動式の上部鉛防護具設置時は麻酔科医、エコー医の配置位置より後方広い範囲にて線量が低下した(図8、b+c+d+e+f)。

考 察

外部被曝に対する遮蔽は鉛防護具が一般的であり、0.5mmPb当量の物では術者被曝が約1/100に低減される為、遮蔽効果が高い³⁾。しかし、取り外しや移動が可能である為、使用者による鉛防護具の配置位置によって遮蔽の効果が変化する。この効果を測定によって把握する事によって今後、鉛防護具使用時には

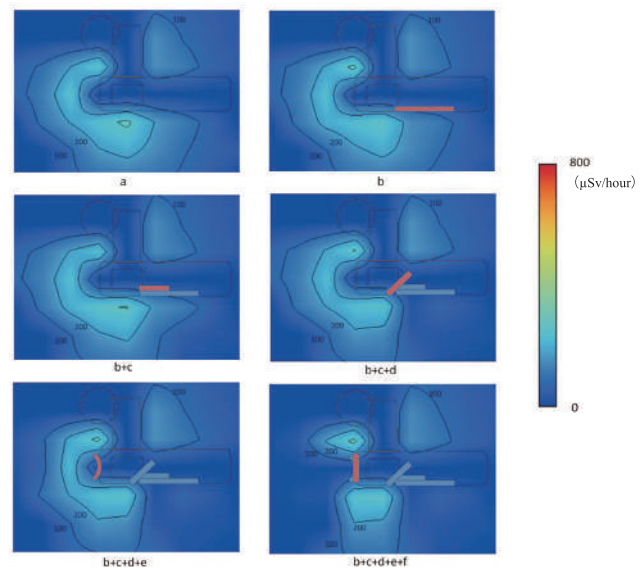


図8 150cmの高さにおける空間線量分布

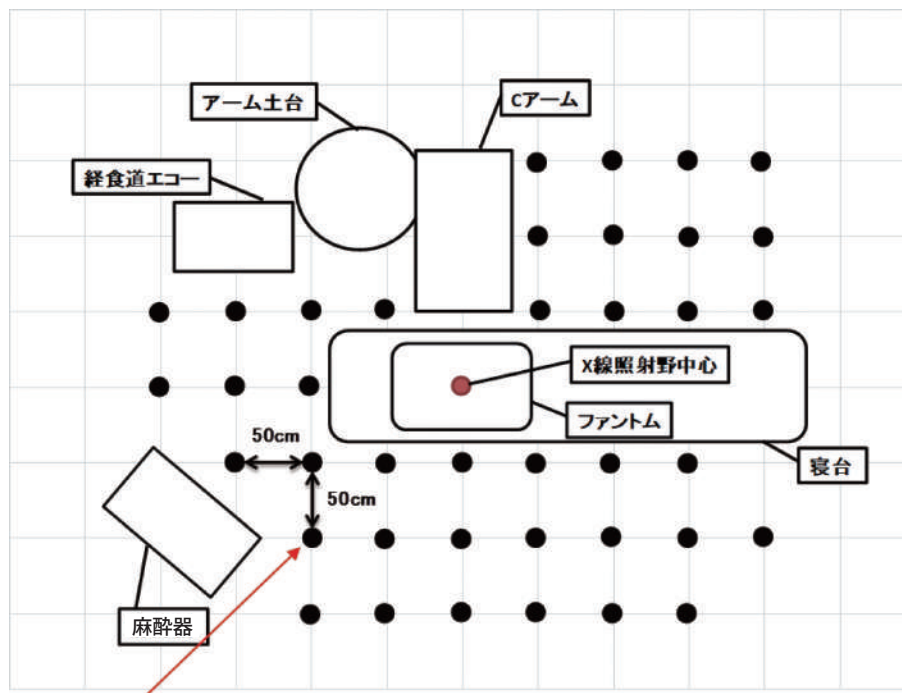


図9 移動式の上部鉛防護具使用時、測定不能ポイント

効果を意識して使用することができ被曝低減に繋がると考えた。

直接線が被写体を通り抜けて発生する散乱線は主に管球側に向かうため、テーブル下部において被曝線量が多いことが予想される。その被写体後方に向かう散乱線の防護の為に一般的にアンギオ装置にはテーブル下部に鉛カーテンが付いているが、今回100cm また150cmの高さで計測を行った結果では、鉛カーテン（図2，b）の有無で線量分布に大きな差は見られず、鉛カーテンによる効果が乏しいと思われた（図7，図8，b）。しかし、管球に一番近いポイントにおいて、寝台より低い高さである80cmの高さで計測を行うと、その値は $32\mu\text{Sv}$ 毎時であり、寝台より低い位置では十分に線量を下げ効果的であったが、一定の高さを越えると鉛カーテンによる効果が横ばいであり、眼の水晶体に対する被曝防護には非効率であることが示唆された。また、鉛カーテンのみであると寝台テーブルとの間に隙間が生じ、そこから散乱線が漏れていた可能性が考えられるが、鉛カーテンの上に取り付ける差し込み式の鉛防護具（図2，c）をつける事により、100cmと150cmの高さ双方で、線量の低下が確認できた（図7，図8，b+c）。

今回の測定では現行のTAVI時には使用していない天井吊り式の鉛防護板（図3，d）を術者側に配置

し、移動式の上部鉛防護具（図5，f）を麻酔科医や経食道エコー医が立つと想定される患者頭側に配置した。この2つの防護具は150cmの高さにおける線量分布に差が見られた。（図8，b+c+d，b+c+d+e+f）

眼の水晶体に対する被曝の防護として、放射線防護メガネが一般的に使用されており、 0.07mmPb 当量程度の軽量のもので約70%の遮蔽効果があるとされている⁴⁾。放射線防護メガネは有用ではあるものの、術者負担の少ない軽量なものでは約1/3の30%は被曝してしまう為、99%カットが期待される今回使用した様な防護具の方が効率的に防護を行う事が可能であり、その配置位置が重要と考えられる。散乱線は患者から発するものであり、患者と術者の間に配置することが最適であるが、位置によっては手技に差し支える事も想定される。その場合、結果として手技時間の延長など、被曝低減に対し相反する結果をもたらす可能性もあり、今後術者とも協議しながら手技への影響が少なく且つ高い防護効果がある位置を検討していく必要があると考える。

当院でTAVIを行う際、現行では麻酔科医や経食道エコー医の術中配置位置である患者頭側と臨床工学技士が配置されている術者と対側の患者足側には、管球に比較的近い位置であるにも関わらずテーブル下部に鉛カーテンが無い側であるため防護が必要であると

考える。当院では、図4にある様な足元から約100cmの高さまでの防護を目的にした高さ可変式の移動型防護具を作成しており、配置もしくは体に密着させて一緒に移動して使用する事によって鉛カーテンが無い側の被曝低減が可能であると考えている。

また外部被曝を防護する三原則として距離、時間、遮蔽があるが、被曝低減を考えるにあたり距離と時間に関しても検討した。

通常、X線照射野中心から距離が近い場所は線量が多く、離れると少なくなり、今回の測定結果でも同様であった。また、散乱線も距離の逆二乗則に従って減衰するものであるが、今回の測定結果では単純な逆二乗にはならなかった。理由として、散乱線の方法が単一方向では無い、寝台などの構造物による減衰などの影響などが考えられた。しかし、上記を考慮してもX線照射野中心から距離を取るという単純な行為で被曝の低減が行えることは明らかである。

次いで、時間に関して検討した。IVRにおいて被曝線量は手技時間や透視・撮影時間に依存する為、被曝の低減には術者の技術と意識が大きく関与する。そのため、手技に際してバイプレーンを使用している場合にも、常にバイプレーンで透視・撮影を行うのではなく、時にはシングルプレーンでの透視・撮影を使用することで被曝の低減に繋がる。また、日頃から被曝に対する意識を高め、安全面を考慮したうえで不必要な透視削減や透視保存の併用に努めることで透視・撮影時間を短縮し、その結果被曝の低減につながると思われる。

またIVRの被曝低減方法として、コリメーションを利用して照射野を絞る事によって被曝低減を行う方法がある。照射野全開にした場合と70%の面積に絞った場合術者被曝は約75%となる⁵⁾。よって現行ではあまり使用していないが、コリメーションの使用も被曝低減に繋がると考える。

今回、ハイブリッド手術室における術中の空間線量分布をカラーマップと等高線を用いて表示することによって可視化を行った。これによって目に見えない放射線被曝に対して作業場所に応じた被曝状況の把握を簡単に行う事ができる為、スタッフ全体の被曝低減の一助となると考えた。またスタッフ各々が防護三原則を知り、効果を意識して放射線防護を行う事によって今後さらなる被曝低減が期待できると考える。

おわりに

近年、IVRの分野では技術・術式が進歩し、これまで外科的治療を要した疾患に対してもIVR治療が拡大してきている。一方で、IVR治療に際しては、手技中に患者や術者等スタッフに放射線被曝が生じるという問題がある。しかし、鉛防護具を正しく使用する等、放射線防護を意識する事で被曝低減は可能である。今後、眼の水晶体に対する被曝の線量限度が下がることを視野に入れ、我々診療放射線技師が更に知識を深め、他職種に被曝低減の方法を提供し、病院スタッフ全体の被曝線量を下げられる様に努力する必要があると考える。

利益相反

本論文に関して、開示すべき利益相反なし。

文 献

- 1) Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, et al: ICRP publication 118: ICRP Statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. Ann ICRP 2012; 41: 1-322
- 2) IVR等に伴う放射線皮膚障害とその防護対策検討会: IVRに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドラインおよび測定マニュアルについて。日放線技学誌 2004; 60: 1035-8
- 3) 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。日放線技学誌 1997; 53: 1-7
- 4) Vañó E, González L, Beneytez F, et al: Lens injuries induced by occupational exposure in non-optimized interventional radiology laboratories. Br J Radiol 1998; 71: 728-33
- 5) Nagai R, Awai K, Hirata Y, et al: 循環器診療における放射線被ばくに関するガイドライン (JCS 2011) ダイジェスト版 (Guideline for Radiation Safety in Interventional Cardiology (JCS2011):

Air dose distribution during interventional radiology in a hybrid operating room

Shoichi IZUMI, Yoshihiro NAGAO, Takahiko YOKOTE,
Hiroshi SAITO, Takuya AKAGAWA, Yoshiharu FUKUI

Radiologist, Tokushima Red Cross Hospital

Reduction of radiation exposure is believed to become increasingly important in the radiation field in the future. In view of this, in 2011, the International Commission on Radiological Protection issued a statement on reducing dose limits of radiation exposure to the lens of the eye. Interventional radiology (IVR) is conducted in our hospital's hybrid operating room involving staff from various occupational backgrounds. The exposure dose varies depending on each staff member's workplace.

This study measured the air dose distribution during IVR and visualized its distribution. The study's results will potentially lead to better understanding of the exposure condition corresponding to the workplace during an operation and the effect of the placement of lead radiation protections and will help reduce the staff's radiation exposure in future IVR procedures.

Key words: IVR exposure, Lens of the eye exposure, Radiation exposure reduction, Three principles of radiation protection

Tokushima Red Cross Hospital Medical Journal 23: 8–14, 2018
