

水晶体被ばくの線量限度引き下げに向けた 本センターの取り組み

日本赤十字社和歌山医療センター 放射線診断科¹⁾，放射線治療科²⁾
鈴木 諭¹⁾，渡邊 眞也¹⁾，口井 信孝²⁾，梅岡 成章¹⁾

索引用語：IVR 水晶体線量，医療法，被ばく線量

要 旨

従来，本センターでは手技の特性上，循環器内科医師の被ばく線量が多い傾向にある。2020年4月からハイブリッド手術室が稼動したことで循環器内科医師の手技は拡充され，今後もより多様化していくことが予想される。この状況の中，医療法施行規則一部改正に伴う水晶体被ばく線量限度の引き下げが2021年4月より施行¹⁾されるため，本センター循環器内科医師において線量限度に抵触する可能性が危惧されることとなった。Interventional Radiology (以下IVR) 手技を受ける患者に対する放射線障害の回避²⁾³⁾は最重要事案ではあるが，本調査は医師の職業被ばく線量を低減化することを目的として線量作用の高い項目や課題を拾い出した。今回，これらの項目に対する最適化措置を講じることで効果的に被ばく線量低減化を試みたので報告する。

方 法

はじめに，医療被ばく線量と職業被ばく線量の現状を把握する目的として，本センター血管撮影装置 (Siemens Artis Zee Biplane, Siemens ARTIS Pheno, Philips Allura Clarity FD10/10) を用いたIVR症例を対象に，放射線科情報システム (Radiology Information System ; RIS) に搭載されたRIS統計アプリ (Take Statistics of RIS) を活用して，実施件数，手技別の割合，そして医療被ばく線量を収集した。この情報をもとに各施行医の一月あたりの放射線測定用個人線量計 (千代田テクノル広範囲ガラスバッジ形式FS (A) 頭部用 ; ガ

ラスバッジ) の結果とその施行医が同期間に担当した手技の医療被ばく線量を照らし合わせ，医療被ばく線量から個別の手技における職業被ばく線量を類推した。

次に，職業被ばく線量低減化対策として a. 手技に要した時間， b. 使用した血管撮影装置の出力， c. 防護機器の使用状況とその遮蔽効果を主に検討した。 a. に係る調査に線量管理システム (Radimetrics)， b. c. に係る調査に放射線測定機器 (ACCU-GOLD 10x6-6 型多用途イオンチャンバ ; ACCU-GOLD) と電離箱サーベイメーターをそれぞれ用いた。また，今回は移動式の上部鉛防護具 (ゲティンゲグループジャパン マービック X 線防護板 Pb 0.5 mm 形式 OT 25 B 050) と防護眼鏡 (TORAY P ANORAMA SHIELD 形式 HF -350/400) を対象に遮蔽効果の検討を行った。

最後に，2018年4月から2020年3月の2年間におけるガラスバッジ測定結果を集計し，防護機器を使用しなかった場合と上部鉛防護具だ

(令和2年12月9日受付)(令和3年1月18日受理)
連絡先：(〒640-8558)

和歌山市小松原通四丁目20番地
日本赤十字社和歌山医療センター
放射線診断科

鈴木 諭

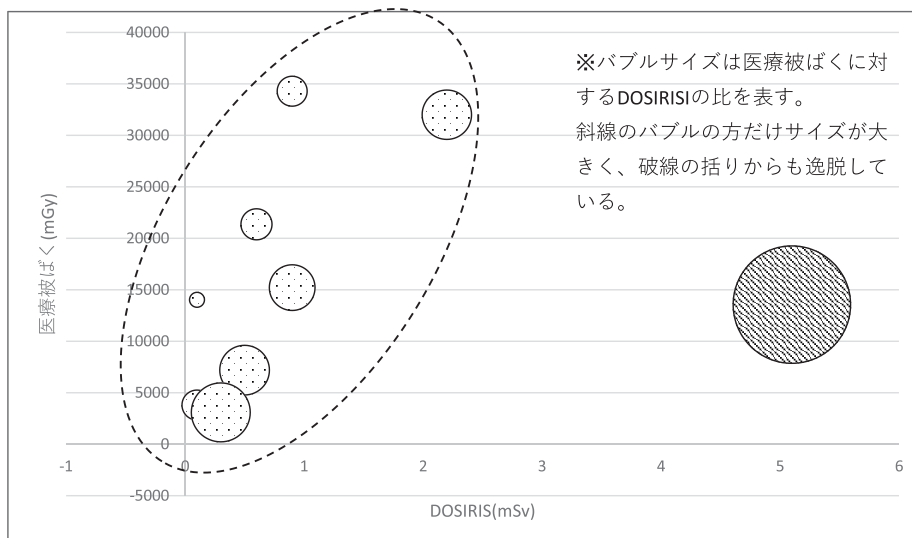
けを使用した場合、そして上部鉛防護具と防護眼鏡の両方を使用した場合を仮定し検討した。2020年4月から2021年3月の期間は、2020年8月以降もIVR実施件数と職業被ばく線量が同水準を維持すると仮定して、ガラスバッジとDOSIRIS（千代田テクノル広範囲DOSIRIS形式LA型）の測定結果を用いて検討した。

結 果

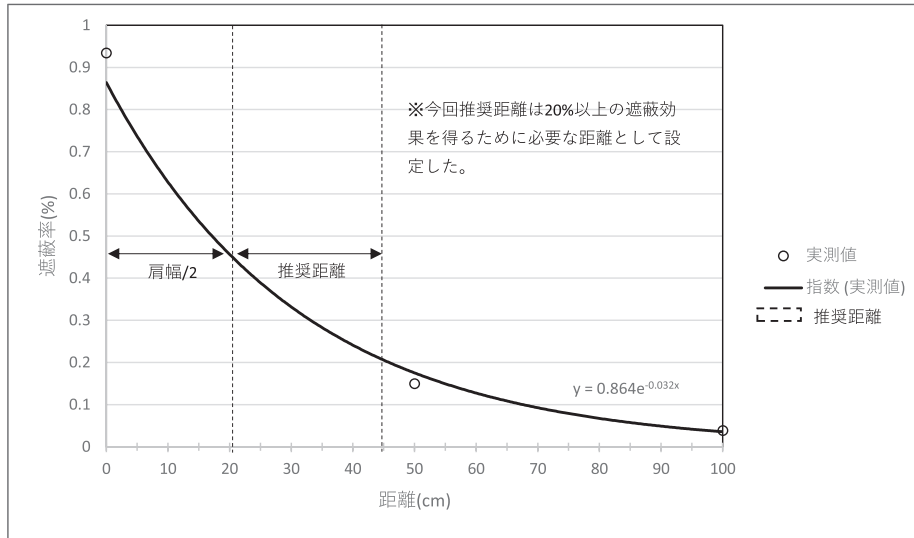
2016年4月から2019年3月におけるRISと個人被ばく線量計の値（ $n=308$ ）をもとに、医療被ばく線量と職業被ばく線量をスピアマンの順位相関係数にて解析した。その結果、両者に正の相関関係（ $R_s=0.567$ ）が示されたため、RISに記録された医療被ばく線量から職業被ばく線量を類推した。また、医療被ばく線量を2018年1月から2020年5月（ $n=2424$ ）まで調査し、手技別では1. 心臓カテーテル治療（以下PCI）、2. 大動脈治療、3. 心臓カテーテル診断（以下CAG）が上位（ $P<0.01$ ）を占めることを確認した。そして、当該調査における施行件数と手技別割合、医療被ばく線量の値を鑑みると、職業被ばく線量の低減化対策は上位3手技を対象に行うことが望ましいと判断した。

はじめに、2020年4月から新たに大動脈治療を行うこととなったハイブリッド手術室の調

査結果を述べる。検討はa. 手技に要した時間、b. 血管撮影装置の出力特性、c. 防護機器の使用状況とその遮蔽効果の3項目で行った。a. 大動脈治療に要した時間を、ハイブリッド手術室を利用したとき（ $n=13$ ）とそれ以外の血管撮影室を利用したとき（ $n=166$ ）で比較したが有意な差は認められなかった。b. 装置基準透視線量率 mGy/min を本センター保有の他の血管撮影装置や診断参考レベル⁴⁾⁵⁾⁶⁾（Diagnostic Reference Level；以下DRL2020）と比較し、全てのプロトコルにおいて標準条件下では比較対照を超えないことを確認した。c. ハイブリッド手術室では天吊り遮蔽板が使用されていないという点を確認した。a. b. の検証として大動脈治療を行ったときの医療被ばく線量をハイブリッド手術室利用時とその他の血管撮影室利用時で比較して有意差がないことを確認した。c. の検証として2020年4月におけるDOSIRIS測定値と施行医別の医療被ばく線量の相関グラフを作成し、相関関係を正の方向に逸脱する方を1名確認した（図1）。上記検討を踏まえると、当該医師に係るDOSIRIS測定値の高値は、不慣れな血管撮影装置を扱うことによる手技時間の遅延や装置側出力に由来するものではなく、防護に由来するものであることが考えられたため、その対策として移動式の上部鉛防護具のハイブリッド手術室導入を検討した。



【図1】DOSIRIS測定値と医療被ばく線量の相関



【図2】上部鉛防護器具に対する遮蔽率測定結果

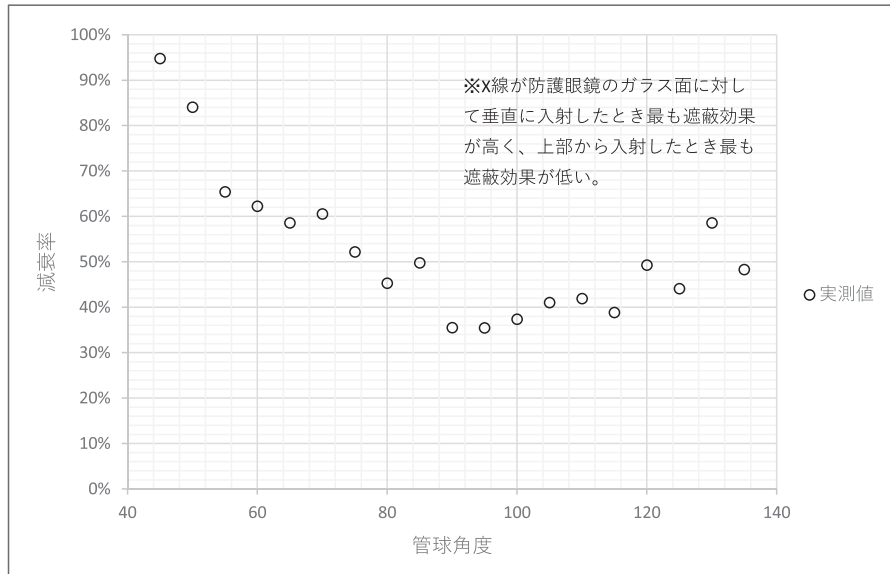
以下に移動式の上部鉛防護測定結果を示す。寝台には人体の代わりに20cmの水等価ファントムを被写体として配置し、臨床で使用するプロトコルを用いてその散乱線を測定した。防護機器はアイソセンターから50cm離して置き、測定は地上から150cmの高さを防護機器から0cm, 50cm, 100cmの距離で行った(図2)。上部鉛防護具を適切に利用することで最大46%の遮蔽効果を得ることが明らかになった。

次に、ハイブリッド手術室以外の血管撮影室に係る調査結果を述べる。ハイブリッド手術室と同様に a. 上位3手技を対象に手技に要した時間を2018年4月から2020年8月(n=2428)の期間で年度別で比較し手技時間に有意な差がないことを確認した。また、同期間を通して上位3手技に要した時間を第一術者になる施行医別でそれぞれ比較した結果、1. PCI(n=568)において有意差(P<0.01)を認めたが、この差は難しい手技が特定の医師に偏っていることに起因するものと考えられた。2. 大動脈治療は同一医師が担当しているため該当せず。3. CAG(n=514)では有意な差が認められなかったことから、手技が困難でなければ施行医別で手技時間に差がないことが示された。

b. 調査する血管撮影装置は上位3手技を十分取り扱っていることから、装置基準透視線量率 mGy/min と患者照射基準点線量 mGy の

中央値をDRL2020と比較した。2019年1月から2019年12月の期間に実施した症例に対する調査の結果、装置基準透視線量率は6 mGy/minであり、これはDRL2020の65%の値であった。患者照射基準点線量は1. PCI(n=504)において慢性完全閉塞症例(以下CTO)が2123 mGy、非CTOが1493 mGyであり、DRL2020に対してそれぞれ46%、17%の値であった。2. 大動脈治療(n=29)では胸部大動脈治療(TEVAR)が809 mGy、腹部大動脈治療(EVAR)が1053 mGyであり、DRL2020との間に有意な差は認められなかった。3. CAG(n=561)は538 mGyでDRL2020に対して23%の値であった。

c. 2019年3月以前は天吊り遮蔽板・防護眼鏡ともに未使用という状況であったが、防護意識の高まりとともに2019年4月以降は天吊り遮蔽板を、2020年4月以降は遮蔽板にプラスして防護眼鏡を使用することとなった。2020年4月から防護機器の標準化と水晶体線量の管理を目的として、すでに防護眼鏡を装着されていた医師には防護眼鏡へDOSIRISを挿入することの協力をいただいた。一方、防護眼鏡装着を敬遠される医師には非装着の理由を伺い対策を講じた。このとき非装着医師の意見としては視野の歪みや眼鏡の重さなどが挙げられたため、納得して装着していただくために複数の候補か



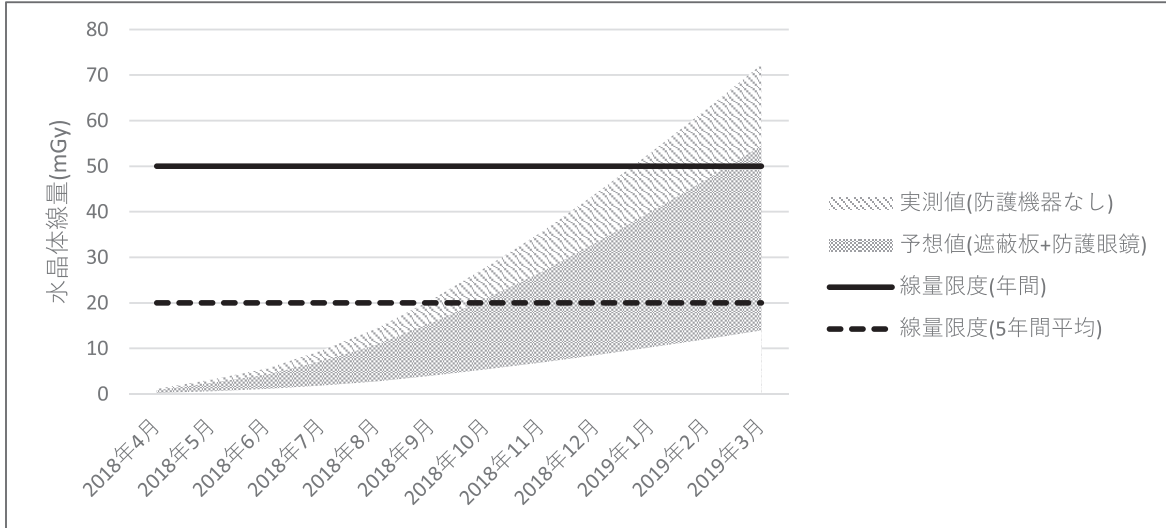
【図3】防護眼鏡に対する遮蔽率測定結果

らご自身で使用する防護眼鏡を選んでいただいた。また、DOSIRIS 自体は防護眼鏡と一体になるため、DOSIRIS 装着を敬遠される医師はいなかった。DOSIRIS 装着場所は線量を過小評価しないために管球に近い左眼側に配置した⁷⁾。

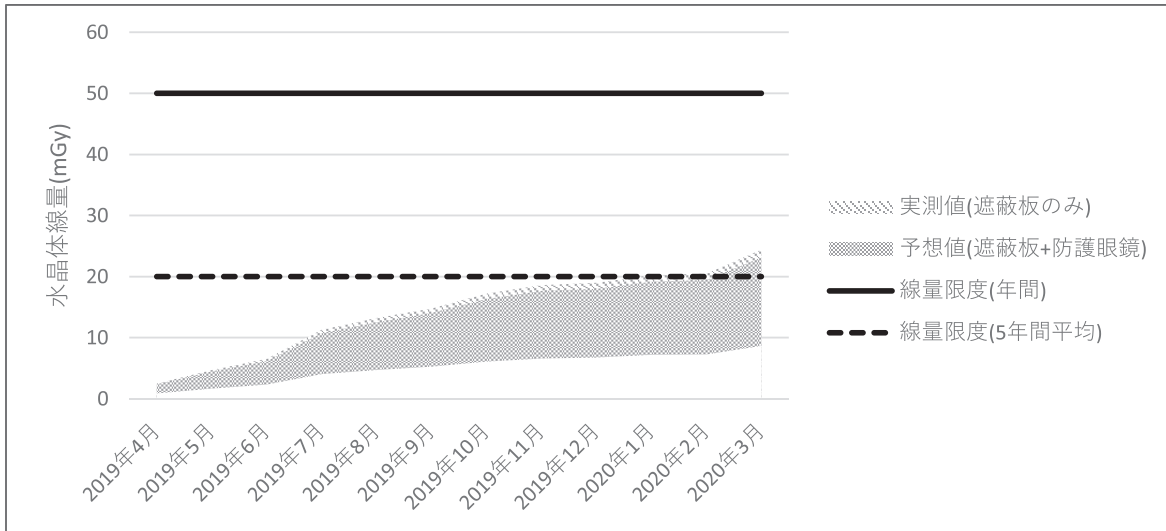
以下に防護眼鏡の遮蔽率測定結果を示す。寝台には人体の代わりに頭部を模した TmRT phantom を被写体として配置した。臨床で使用するプロトコルを用いて被写体に X 線を 5° 刻みに 45° から 135° の幅で入射させて、防護眼鏡が有る時と無い時でそれぞれ測定した(図3)。防護眼鏡を利用することで最大 65% の遮蔽効果を得ることが明らかになった。

最後にこれらの結果をもとに、防護による職業被ばくの低減効果を検討した。はじめに、過去 2 年分のガラスバッジ水晶体測定結果から後ろ向きの検討を行い防護機器の有効性を検討した。次に、防護機器を活用した場合の 2020 年 4 月から 2021 年 3 月の水晶体線量積算値を予測した。その際は年間で最も線量が高かった施行医、または高くなると予想される施行医を対象とした。また、遮蔽率の実測結果から上部鉛防護具と防護眼鏡には使用状況で遮蔽効果にバラツキがあることが示されたため、今回はそれぞれの遮蔽率を全通り組み合わせて予測域を設

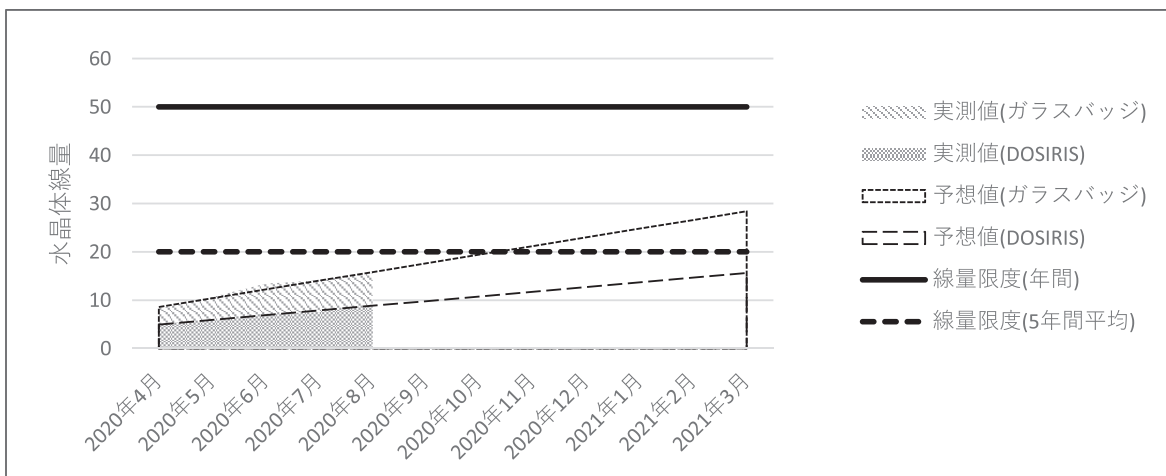
定し検討を行った(図4, 5, 6)。遮蔽板と防護眼鏡を用いることで線量を図の予想域まで低減させることが可能と考えた。2018 年 4 月から 2019 年 3 月の予想域は、2 つの防護機器の使用状況による不確かさ(予想値)を含むため広く設定されたが、概ね法改正後の年間の線量限度を下回ることが確認された。2019 年 4 月から 2020 年 3 月の水晶体線量は、上部鉛防護具使用時のガラスバッジ測定結果(実測値)に防護眼鏡の遮蔽率(予想値)を組み合わせため、予想域は 2018 年度と比較して狭く設定された。この期間における IVR 件数は前年度と比較して 5% 程度増加したが、実測値が法改正後の年間の線量限度を大きく下回ることから上部鉛防護具の有用性が示された。予想域は 5 年平均の線量限度(20 mSv)を概ね下回ることから、防護眼鏡に関してもその有用性が示唆された。2020 年 4 月から 2020 年 8 月における IVR 件数は前年度同期間に対して 15% 程度減少したにもかかわらず、ガラスバッジ測定結果は前年度同期間の実測値と比較して高い傾向を示した。2020 年 8 月以降も同様に推移すると仮定した場合、2021 年 3 月時点の DOSIRIS 予測値は 5 年平均の線量限度 20mSv を下回る見込みであることが示された。



【図4】防護器具を使用しなかった場合の水晶体線量



【図5】上部鉛防護器具のみ使用した場合の水晶体線量



【図6】上部鉛防護器具と防護眼鏡を併用した場合の水晶体線量

考 察

2020年4月時点で高値を示したDOSIRIS測定値は、同年5月以降伸びが緩やかになった。その後の調査でDOSIRISが防護眼鏡から露出していた可能性が強まったため、DOSIRIS挿入場所に注意して頂くことをお伝えした。また、2020年4月から8月のIVR件数は前年度同期間に対して15%程度減少したにもかかわらず、2020年4月から2021年3月のガラスバッジによる水晶体線量の予測値は前年度より高い傾向を示した。これはハイブリッド手術室において天吊り遮蔽板を使用していないことに起因するものであると考えられ、対策として来年度ハイブリッド手術室への移動式上部鉛防護具の設置を予定している。そして、過去3年間で最もIVR件数が多かった前年度と同程度に実施件数が回復したとしても、2021年3月時点のDOSIRIS予測値が5年平均の線量限度に対して22%低いことから、施行規則改正後も水晶体線量を線量限度以内で管理することが可能と推察された。加えて、状況が異なるため単純な比較は難しいが、先行研究⁸⁾では年間水晶体線量が今回調査した値より低く報告されていることから、本センターにおいても線量を低減化する余地があることが示唆された。

今回、線量予測に用いたDOSIRIS測定値は、従来のガラスバッジによる評価に比べてより直接的な測定が可能であることから信頼度は高い。ただし、直接的な測定であってもDOSIRISが防護眼鏡から露出している場合や防護眼鏡自体の装着が不適切な場合に水晶体線量にバラツキが生じる恐れがある。これはIAEAが推奨する線量計を可能な限り水晶体に近づけることにも関係する⁹⁾。間接的に水晶体線量を評価した場合には遮蔽率の実測結果から明らかなように不確かさが大きく、またDOSIRIS測定値と比較して過小評価になるとの報告¹⁰⁾もあることから精度の面では疑問が残る。線量限度を定めリスクを評価するならば定量的な測定が望ましく、

そのためには標準化された管理方法の存在が不可欠である。

結 語

防護措置は被ばく線量を低減する上で重要な因子であることを改めて認識した。本センターでは水晶体被ばくの線量限度引き下げに向けた取り組みとして防護機器の使用を標準化した。これにより水晶体線量を線量限度以内で管理することが可能と推察された。

利益相反：本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

引用文献

- 1) ICRP Statement on Tissue Reactions. ICRP Publication 118, PART 1
- 2) ICRP, 2000. Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30(2)
- 3) ICRP, 2012 ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs-Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2).
- 4) IAEA ; Radiation Protection and Safety of Radiation Sources : International Basic Safety Standards. General Safety Requirements Part 3, No. GSR Part 3, Vienna, (2014).
- 5) ICRP. 2017 Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Ann. ICRP46(1)

- 6) Japan Network for Research and Information on Medical Exposure (J-RIME) [online]. Available at : <http://www.radher.jp/J-RIME/>, Accessed 25 June 2018 (in Japanese).
- 7) Haga Y, Chida K, Kimura Y et al. Radiation eye dose to medical staff during respiratory endoscopy under X-ray fluoroscopy. *Journal of Radiation Research*, 2020, 61(5) : 691-696. 13 July 2020
- 8) Haga Y, Chida K, Kaga Y et al. Occupational eye dose in interventional cardiology procedures. *SIENCE REPORTS* Published online : 03 April 2017
- 9) International Atomic Energy Agency, Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye, IAEA TECDOC 1731 (2013).
- 10) ICRP, 2001. Radiation and your patient - A Guide for Medical Practitioners. ICRP Supporting Guidance 2 Ann. ICRP 31(4)

Key words ; IVR, Interventional Radiology, Lens dose, Medical Law, Exposure dose

Efforts of eye lens radiation doses reduction at Wakayama Medical Center

Satoshi Suzuki¹⁾, Shinya Watanabe¹⁾, Nobutaka Kuchii²⁾, Shigeaki Umeoka¹⁾

1) Department of Radiology, Japanese Red Cross Wakayama Medical Center

2) Department of Radiation Therapy, Graduate School of Medical Science, Kanazawa University

Abstract

During Interventional Radiology (hereafter IVR), cardiovascular doctors work in the X-Ray room from beginning to end and, therefore, their exposure doses are prone to be higher. As Hybrid OR has been operational since April 2020, more diversified procedures have become available. A lowering of eye lens exposure limit in accordance with the Enforcement of the partially revised Ordinance on Prevention of Ionizing Radiation Hazards is slated to be carried out from next spring¹⁾. We are deeply concerned about exceeding the eye lens radiation limit for cardiovascular doctors because of this revision. Avoiding radiation hazard of both patients and medical staff members during IVR is of paramount importance²⁾³⁾. In order to reduce the radiation risk of medical staff, the objective of this study is to look at concerns related to high dosage exposure. We report our study of effective radiation reduction in order to cope with the above mentioned issues.