

原子力規制庁 平成 30 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）

平成 30 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費

水晶体の等価線量限度の国内規制取り入れ・運用のための研究

# 成果報告書

東 北 大 学

平成 31（2019）年 3 月

## 目 次

1. 背景・必要性	3
2. 研究目標など	7
3. 今年度の研究目的	9
4. 実施体制	11
5. 測定方法の概要	12
6. 結果	15
7. 測定結果例のまとめ	37
8. 成果発表	38

9. 平成 29 年度と 30 年度の比較	46
10. 提言	47
11. さいごに	48
12. 参考文献	50

## 1. 背景・必要性

眼の水晶体は、放射線感受性が最も高い臓器の一つであり、職業被ばくにおいても放射線白内障等を引き起こす危険性がある。

2011年4月、国際放射線防護委員会（The International Commission on Radiological Protection : ICRP）は組織反応に関する声明（ICRP Statement on Tissue Reactions, April 2011, <http://www.icrp.org/page.asp?id=123>）を公表した<sup>1,2)</sup>。この声明では、近年の疫学研究から、眼の水晶体の組織反応（白内障）のしきい線量が従来考えられていたものよりも低く0.5 Gyであること、また、職業人に対する水晶体等価線量限度においては5年平均20mSv/年を超えない（かついかなる1年間においても50 mSvを超えない）ものとするのが勧告された。この新線量限度は我が国の現行法令に取り入れられているICRP 1990年勧告<sup>3)</sup>の年間150 mSv に比べて大幅な引き下げである。現在の日本における水晶体等価線量評価は、不均等被ばく管理の場合、頭頸部に着用した個人線量計（以下、頸部バッジ）の1cm個人線量当量（Hp(10)）または70μm個人線量当量（Hp(0.07)）の高い方の値を水晶体等価線量として採用することで、安全側評価を行っている。しかし、医療従事者で平成29年度の水晶体等価線量が20 mSvを超過した者は2,221名に上る（個人線量モニタリングサービス事業者2社(千代田テクノル、ナガセランダウア)の集計<sup>4,5)</sup>）。このような状況下で新線量限度が国内法令に取り入れられれば、線量超過に伴い放射線診療業務が制限される結果、例えば必要なInterventional Radiology（IVR）を受けられないなど、患者に不利益が生じることが予想される。

水晶体線量評価を正確に評価するために、国際原子力機関（International Atomic Energy Agency : IAEA）は水晶体線量評価に関わる技術的指針を示した文書TECDOC 1731（Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye）において、眼の近傍で、かつ鉛防護メガネ着用時はその内側で、3mm個人線量当量（Hp(3)）を測定することを推奨している<sup>6)</sup>。

線量測定技術としては、ORAMED（Optimization of Radiation Protection of Medical Staff）プロジェクトで水晶体被ばく測定用3mm線量当量線量計（以下、水晶体線量計）が開発され<sup>7)</sup>、現在、日本でも水晶体線量計を用いた個人モニタ

リングサービスがスタートしている。しかし、水晶体線量計の普及にはコストなどの課題が多いのが現状である。

前記の如く医療施設では水晶体等価線量 20 mSv の超過例が多いことから、水晶体被ばくは医療分野において特に重要な課題であり、他の機関（職種）よりも最優先して医療機関の水晶体被ばくの実情を明らかにする必要がある。

医療従事者被ばくに関して欧州諸国では、前述の ORAMED 研究が行われたが、その多くは医師だけの水晶体被ばく評価に留まっており、さらに 3mm 線量当量にて測定評価されたものはほとんど無い。

医療分野のなかでも、特に IVR 手技では、長時間の X 線透視等に伴う放射線被ばくによって、患者や IVR 従事者が放射線障害を受ける危険性がある。IVR とは、X 線透視撮影下で、体内にカテーテル等を入れて病気を治す比較的新しい治療法である。IVR は、身体にあたえる負担が少なく、入院期間も短縮できるなど優れた特長を持っており、高齢者や状態の悪い進行ガンを含めたガンの治療や、心筋梗塞・狭心症（経皮的冠動脈形成術、PCI）等に広く応用されている。つまり IVR は患者の救命や生命予後改善および QOL (Quality of Life) の維持向上に極めて有用であり、現在普及している。しかし IVR は、難易度の高い症例などでは X 線透視撮影時間が非常に長くなることもあるため、患者や IVR スタッフの放射線被ばく線量増加が重大な問題となっており、IVR 時の放射線障害例が現在でも報告され、その防止が大きな課題となっている。

つまり IVR に従事する医療スタッフは、作業中常に患者からの後方散乱線や X 線管容器からの散乱線による被ばくを受ける<sup>8-12)</sup>。IVR は近年、治療用デバイスの進化や手技の複雑化に伴って透視時間および撮影回数が増加し、前述のように患者被ばく線量のみならず職業被ばく線量も医療分野全体の中で特に高い傾向にある<sup>13-16)</sup>。IVR 従事者の水晶体線量は高く<sup>17-21)</sup>、実際に水晶体に放射線障害（白内障）が発生したという報告がある。Vano ら<sup>22)</sup>は、IVR 術者 2 名と看護師 2 名において水晶体に傷害が発生したと報告しており、これは ICRP の Publication 85<sup>23)</sup>で引用されている。この症例は IVR 用に設計されていないオーバーテーブルチューブ（X 線型）システムを使用し、かつ個人の防護が不十分であったことが原因とされ、水晶体線量を年間 450-900 mSv と推定している。

また、2004年に発行されたRSNA Newsにおいて、HaskalとWorgul<sup>24)</sup>はIVR医59例中5例(8%)に白内障が、22例(37%)に水晶体後囊下の混濁が認められたと報告している。

IVRに使用するX線透視装置には、アンダーテーブルX線管型とオーバーテーブルX線管型があり、両者は空間散乱線分布が大幅に異なる特徴を有することから、IVR従事者の被ばく線量や不均等被ばくの状況は両者で大きく異なる可能性がある。(オーバーテーブルX線管型の方が従事者上半身の線量が多く、よって水晶体被ばく防護が特に重要。)

放射線防護衣を着用した放射線医療従事者は、かなり不均等な被ばくを受けている可能性があると思われる。その際従来は、頸部付近に装着した個人線量計によって、水晶体線量の推定評価を行うことが求められている。

だが、より正確な水晶体被ばく評価のためは、個人線量計を水晶体近傍に装着し、不均等被ばくにおける職業被ばく(水晶体等価線量)を評価することが望ましいと考える。

2017年7月には、原子力規制委員会放射線審議会において眼の水晶体の放射線防護検討部会が設置され、7か月間にわたって水晶体モニタリングの現状と課題の把握および防護の在り方について議論された<sup>25)</sup>。以下に、特にIVR領域における水晶体モニタリング運用上の課題を挙げる。

- ・ 均等被ばく管理と不均等被ばく管理が混在している
- ・ 水晶体線量計を着用する場合、どこに着用すればよいか(左眼、右眼、または眉間)
- ・ 鉛防護メガネ着用時の線量評価
- ・ 水晶体線量計の導入コスト
- ・ 頸部バッジの $H_p(10)$  : 1cm線量当量、 $H_p(0.07)$  : 70 $\mu$ m線量当量及び、あるいは $H_p(3)$  3mm線量当量で評価可能か
- ・ 患者線量パラメータ(透視時間や面積線量等)を用いた推定

また、IVR従事者の被ばくの特徴として以下のものが考えられる。

- ・ 手技中にX線管角度(Angulation)が変化しうる

- ・ 検査や治療の内容によって透視時間や撮影回数がさまざまである。
- ・ 検査室内における立ち位置が職種によって異なる
- ・ 放射線防護具の使用・不使用が個人によって異なる

以上のことから、正確な水晶体線量評価の運用構築および防護の最適化は喫緊の問題である。

現在、放射線医療従事者（含む IVR 従事者）の職業被ばくは重要であるが、正確な水晶体線量は十分には明らかにされていない。

そこで本研究課題では、新しい水晶体線量計（DOSIRIS）を用いて、放射線医療（含む IVR）に携わるスタッフ（医師、看護師、技師）の水晶体線量（3mm 線量当量）および頸部バッジ線量（70  $\mu$ m 線量当量及び 1cm 線量当量）の詳細な実態調査を行った。

さらに IVR における鉛防護メガネの防護効果を評価した。

## 2. 研究目標など

当課題の研究期間は、平成29年10月から平成30年度までの約1年半であり、この期間内で下記を遂行することが、研究目標である。

すなわち、水晶体等価線量限度の国内規制取入れ・運用のための研究を行うこと、医療施設（水晶体被ばくは医療分野において特に重要）での DOSIRIS による水晶体等価線量実態評価を行い、従来の評価方法（個人モニタリング、ガラスバッジ）と比較すること、加えて具体的運用方法を検討するため種々の基礎データを収集すること、そして放射線防護及び放射線規制行政の施策等への活用や提言等について検討すること、などである。

なお、平成29年度の当研究課題の成果については、昨年度の研究成果報告書を参照されたい。



図 1. DOSIRIS(ドジリス) 水晶体線量計  
(3 mm線量当量)



図 2. ガラスバッジ  
(従来の個人モニタリング)

水晶体線量計 DOSIRIS 等について、下記、昨年同様に記載する。

DOSIRIS の外観を図 1 に示す。DOSIRIS は、フランス放射線防護原子力安全研究所（IRSN, Institute of Radiation Protection and Nuclear Safety）によって開発された水晶体線量計である。現在日本国内では、千代田テクノルが DOSIRIS を取り扱っている。DOSIRIS の検出部は LiF を主成分とした TLD 線量計となっており、3mm 線量当量を測定評価できるなど水晶体被ばく評価において大いに期待されている線量計である。



DOSIRIS は軽量でフィット感が良く、ヘッドバンドを使用して左右どちらかの水晶体近傍位置に検出部を配置させることで、より確からしい水晶体線量評価が可能になると考えられている。

また DOSIRIS は、鉛防護メガネの内側にも配置することが可能であるため、鉛防護メガネ装着時においても正確な水晶体線量を測定できると思われる。

今回の研究では、DOSIRIS の測定評価期間を原則として1か月間として、1か月ごとに千代田テクノルに返送して、千代田テクノルにて値を読み取った。

ガラスバッジの外観を図 2 に示す。ガラスバッジ（千代田テクノル）は RPL 現象を利用した測定器（蛍光ガラス線量計）で、70  $\mu$ m 線量当量及び 1cm 線量当量の評価が可能であり、従来から放射線管理（個人線量モニタリング等）に広く普及している。

今回のガラスバッジを用いた研究では、DOSIRIS 同様に、測定評価期間を原則として1か月間として、1か月ごとに千代田テクノルに返送して、千代田テクノルにて値を読み取った。

### 3. 今年度の研究目的

当課題の平成 30 年度の研究目的は、非血管系 IVR 医療従事者および IVR 以外の医療従事者の水晶体被ばく実態を明らかにすること、非血管系 IVR 医療従事者および IVR 以外の医療従事者の水晶体測定評価方法について、妥当な運用方法の基礎的な検討を行うことである。

さらに平成 29 年度と同様に、血管系 IVR 医療従事者の水晶体被ばく実態の追加詳細測定を行い、血管系 IVR 医療従事者の水晶体測定評価方法について、妥当な運用方法を検討することである。

また有効な被ばく防護対策検討および詳細な被ばく状況把握のため被曝線量のリアルタイム分析を実施する。

(1) 被ばく実態を明らかにするため、30 年度は下記のことを行う。なお測定期間は基本的に半年間である。

- ・ 心臓血管系 IVR にて評価すること、具体的には PCI (冠動脈形成術拡張術) や、他の心臓 IVR (カテーテルアブレーション等) における、従事者の水晶体被ばく線量を評価する。(A 病院、B 病院)
- ・ 心臓以外の血管系 IVR、すなわち脳血管 IVR (脳動脈瘤コイル塞栓術など)、腹部骨盤等 IVR (肝動脈化学塞栓療法など) における従事者の水晶体被ばく線量を評価する。(A 病院、B 病院)
- ・ 非血管系 IVR 医療従事者、すなわち ERCP (内視鏡的逆行性胆道膵管造影) やブロンコスコーピー (気管支鏡検査、肺や気管支の内視鏡検査) などにおける従事者の水晶体被ばく線量を評価する。(A 病院、C 病院)
- ・ IVR 以外の医療従事者、すなわちポータブル撮影、CT 透視下生検バイオプシ、手術室での透視使用手技、核医学 (RI, PET) 検査、密封放射線治療 (密封小線源 198-A u) などにおける従事者の水晶体被ばく線量を評価する。(A 病院、B 病院、C 病院、D 病院)
- ・ 原則として、医師と看護師に加えて、放射線技師とさらに臨床工学士等の水晶体被ばく線量の評価を行う。

(2) 妥当な運用法の検討として、昨年同様に 30 年度は下記を実施する。

- ・ 全例測定評価を行う DOSIRIS を用いた左眼線量に加えて、一部については右眼付近および中間部付近にも DOSIRIS を装着し測定評価比較を行う。これにより、眼のどの位置（左眼付近、右眼付近またはその中間付近）が、水晶体線量評価を行う際に最適なのかを検討する。
- ・ 全例測定評価を行う左頸部位置の個人線量計（ガラスバッジ）に加えて、一部については右頸部付近および中間頸部付近にも個人線量計（ガラスバッジ）を装着し測定評価比較を行う。これにより、従来法で水晶体線量の推定を行う場合、頸部のどの位置（左頸部付近、右頸部付近またはその中間頸部付近）が線量評価を行う上で妥当なのかを検討する。
- ・ DOSIRIS による 3mm 線量当量と頸部バッジ個人線量計による 70  $\mu$ m 線量当量及び 1cm 線量当量を比較する。
- ・ そして鉛防護メガネ使用時はその内外で測定評価する、などである。

(3) 有効な被ばく防護対策検討および詳細な被ばく状況把握のため被曝線量のリアルタイム分析（時系列解析）を実施する。

- ・ リアルタイム線量計 i2 システムを用いて、一部の血管系 IVR にて測定評価を実施する。
- ・ スタッフの左頭部と左頸部位置に i2 センサを装着し、線量と作業状況の関係について時系列分析を行う。（A 病院）

## 4. 実施体制

平成 30 年度の研究実施体制は以下の通りである。

### 主任研究者

千田浩一（東北大学 教授）

### 主な研究協力者

盛武 敬（産業医大 准教授）

加賀 勇治（仙台厚生病院 技師長）

芳賀 喜裕（仙台厚生病院 放射線技師）

加藤 守（秋田県循環器・脳脊髄センタ 主査）

大口 裕之（千代田テクノル株式会社 部長）

知識 亜紀子（聖マリアンナ大学病院 IVR 専門看護師）

江口 陽一（日本血管撮影・インターベンション専門診療放射線技師認定機構 理事長）

曾田 真宏（仙台厚生病院 放射線技師）

石田 崇人（秋田県循環器・脳脊髄センタ 放射線技師）

森島 貴顕（東北医科薬科大学病院 放射線技師）

### 主な研究参加者

稲葉 洋平（東北大学 助教）

石井 浩生（東北大学 大学院生）

薩來 康（東北大学 大学院生）

## 5. 測定方法の概要

方法は昨年度と同様であり、下記に測定概要を示す模式的な写真を示す。

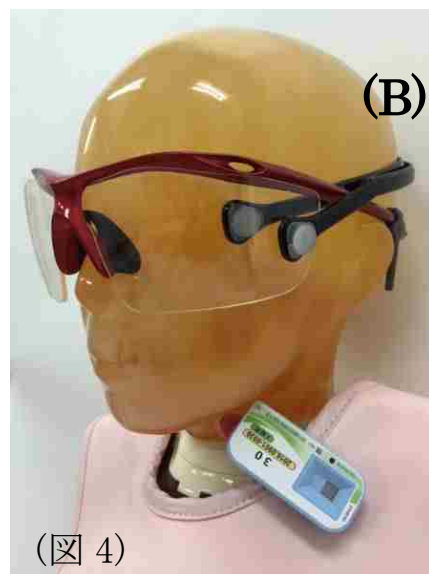


図 3. 左眼付近（水晶体近傍）に装着した水晶体線量計（DOSIRIS）。

当研究では写真のように左頸部位置にも従来タイプの個人線量計（ガラスバッジ）を装着。

図 4. 放射線防護眼鏡装着時はその内側と外側に DOSIRIS を配置。

前記の通り、DOSIRIS は 3mm 線量当量を直接測定できる TLD 素子 ( ${}^7\text{LiF}:\text{Mg}$ , T1) を使用したヘッドバンド型線量計であり、当研究では基本的には左眼真横に DOSIRIS を着用した（一部は右や中央部位にも装着した）。

鉛防護メガネを装着した場合は、その外側にも追加で DOSIRIS を着用し鉛防護メガネの内外での測定値を比較評価することで、鉛防護メガネによる防護効果を検討した。軽量の鉛防護メガネ（0.07mmPb 当量、側面防護考慮、パノラマシールド、ウルトラライトまたはエクストラワイド、東レ）を使用した。

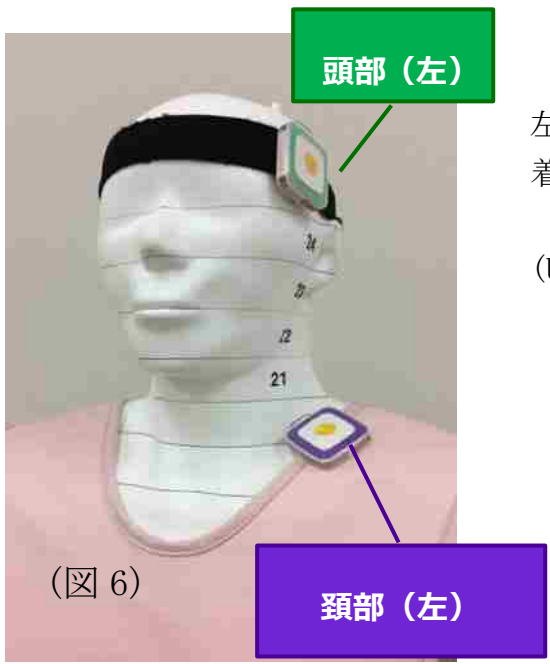
また、全スタッフは鉛エプロン外側の左頸部位置にガラスバッジ（千代田テクノル社）を着用し、頸部ガラスバッジの測定値（70 $\mu\text{m}$ 線量当量）から水晶体線量（3mm 線量当量）を推定できるかどうか等について検討した（一部は右や中央の頸部位置にも装着した）。



図 5 は、DOSIRIS および頸部ガラスバッジの着用位置の様子を示したものである。左眼 DOSIRIS と左頸部ガラスバッジが基本位置であるが、上図のように別の位置にも装着し評価を行った場合もある。

以上については、昨年度と同様である。

30 年度は、新規測定方法として IVR スタッフの一部に対しリアルタイム線量測定を行い、被ばく防護対策検討等のため、時系列解析を実施した。



一部の血管系 IVR にてスタッフの左頭部と左頸部位置に i2 センサを装着し、時系列分析を行った(図 6)。

リアルタイム線量 RaySafe i2 (Unfors RaySafe)を使用した (図 7)。



### \*追加鉛防護板について

血管系 IVR では、原則として追加防護具（天吊り Pb ガラス防護板）を使用している。

だが、その位置や高さは一定では無く、状況等によって様々変化する。また天吊り Pb ガラス防護板が邪魔になる際などは使用しないこともある。



図 8. 心臓 IVR 中の医師の様子の一例

今回の研究は、図 8 のように原則として追加防護具（天吊り Pb ガラス防護板）を使用した状態での評価結果である。（状況によっては使用できない場合もある。）ただし天吊り Pb ガラス防護板を使用した場合でも、適切な位置にそれを配置できているとは限らない。

すなわち、今回の線量測定結果については、天吊り防護板の効果が含まれているかもしれないし、含まれていないかもしれないという前提で考えなければならない。しかしながら追加防護具の使用に関しては、多くの IVR 施設では同様の状況であると思われる。

## 6. 結果

研究結果例を提示する。血管 IVR(心臓血管、腹部血管、脳血管)、非血管 IVR(ERCP、気管支鏡)、核医学(RI, PET)、CT 透視下生検、密封小線源治療、ポータブル撮影、手術室透視使用手技における測定結果を示す。リアルタイム測定システムによる時系列分析の結果の一例を最後に示す。なお血管 IVR 系は、すべてアンダーテーブル X 線装置を使用している。また測定評価期間は原則 6 か月間であり、結果は基本的に 6 か月の累積線量で表示した。(1 か月間でのデータは、ばらつきが大きく評価が難しくなるため 6 か月間の累積線量で評価した。)

### 6.1 心臓血管 IVR 系 (A 病院)

まず最初に心臓血管 IVR 系に携わる医師の測定結果を示す。

表 1 は、心臓血管内科医師で、鉛防護メガネ無しの場合についての測定評価例である(半年間累積、4 名平均線量)。A 病院における鉛防護メガネ無しの医師は、20mSv/年を超過(平均 22.24mSv/年、赤字参照)する危険性が大きく、医師は鉛防護メガネの装着が必須であると思われた。

表 1. 心臓 IVR 医師：防護眼鏡無し(4 人)

・6 ヶ月間の累積線量、4 人平均(最小-最大)

ガラスバッジ (mSv)、左頸部		DOSIRIS (mSv)、左眼	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
12.27 (7.51-17.1)	13.82 (8.24-20.68)	11.12 (7.84- <b>16.18</b> )	100 (38-157)

赤字は最大の水晶体線量を示す。

・1 年推定値(6 ヶ月間線量×2 倍)

ガラスバッジ (mSv)		DOSIRIS (mSv)	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
24.54	27.64	<b>22.24</b>	200

DOSIRIS の測定結果からの推定：特に指示せずに従来どおりの手技を行った場合には年間 180 件以上の手技により、水晶体線量が 20mSv/年を超過する(赤字)。



表 2 は、心臓血管 IVR 医師で、鉛防護メガネ有の場合についての測定評価例である（半年間累積、10名平均線量）。A 病院における鉛防護メガネ有の医師は、20mSv/年を超過する危険性はそれほど大きくないと思われる。しかしながら、眼鏡有でも IVR 実施件数が多い場合は線量超過の恐れあると思われ注意する必要がある。

なお線量計装着位置については、DOSIRIS も頸部バッジも共に左側の線量測定値が明らかに高値であるため、それらは左側に装着して水晶体線量をモニタすべきことが判明した。（前ページの鉛防護メガネ無しの場合についても同様の結果であった。つまり左に装着した方が良い。）

表 2. 心臓 IVR 医師：防護眼鏡有（10 人）

・6ヶ月間の累積線量、10人平均（最小ー最大）

ガラスバッジ (mSv)、左頸部		DOSIRIS (mSv)、左眼	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
11.35 (3.82-20.96)	12.29 (4.21-22.88)	4.42 (1.16- <b>9.00</b> )	95 (38-171)

赤字は最大の水晶体線量を示す。

・1年推定値(6ヶ月間線量×2倍)

ガラスバッジ (mSv)		DOSIRIS (mSv)	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
22.70	24.58	8.84	190

DOSIRIS の測定結果からの推定：特に指示せずに従来どおりの手技を行った場合には年間 430 件以上の手技により、水晶体線量が 20mSv/年を超過する。

表3は、看護師（全て鉛防護メガネ無し）についての測定評価例である。A病院における看護師の水晶体被ばくは、医師のそれよりは低線量であり、20mSv/年を超過する危険性が少ないと思われた。この理由は、今回の看護師の主な作業配置場所に関して、患者の傍に位置している場合が、医師に比べ少ないためであると思われる。ただし理由については今後さらに検討が必要である。

看護師においても、水晶体被ばく防護の最適化は重要であると考え（場合によっては防護眼鏡の装着が必要である）。

DOSIRIS と頸部バッジの看護師の平均測定値は、頸部バッジの測定値が高い傾向にあった。この理由については今後検討が必要である。

なお看護師における線量計装着位置については、医師のように左側の線量測定値が明らかに高値になることは無く、DOSIRIS も頸部バッジも共に顕著な左右差は生じていなかった。（ただし若干右が高値になる場合があった）。

表 3. IVR 看護師：防護眼鏡無し（9人）

・6ヶ月間の累積線量、9人平均（最小ー最大）

ガラスバッジ (mSv)、左頸部		DOSIRIS (mSv)、左眼	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
2.12 (0.60-4.10)	2.32 (0.65-4.54)	0.77 (0-1.85)	193 (38-423)

・1年推定値(6ヶ月間線量×2倍)

ガラスバッジ (mSv)		DOSIRIS (mSv)	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
4.24	4.64	1.54	386

DOSIRIS の測定結果からの推定：特に指示せずに従来どおりの手技を行った場合には年間 5,013 件以上の手技により、水晶体線量が 20mSv/年を超過

表4は、診療放射線技師（全て鉛防護メガネ無し）についての測定評価例（1ヶ月間線量と1年推定値）である。なおA病院のIVRに従事する診療放射線技師は1か月毎のローテーション業務のため1か月間線量にて評価した。

A病院における診療放射線技師の水晶体被ばくは、看護師のそれよりは低線量であり、20mSv/年を超過する危険性がほとんどないと思われる。この理由は、診療放射線技師は血管造影検査室内にて業務を行うことが少なく、ほとんどは操作室内で作業するためであると思われる。ただし、患者やX線装置の近傍で作業を行うような場合は、水晶体被ばく防護の最適化（場合によっては鉛防護メガネの装着が必要）やDOSIRISによる測定評価について検討する必要があると思われる。

DOSIRISと頸部バッジの平均測定値は、概ね同等であった。なお線量計装着位置については、医師のように左側の線量測定値が明らかに高値になることは無く、DOSIRISも頸部バッジも共に顕著な左右差は生じていなかった。

表4. IVR放射線技師：防護眼鏡無し

・1ヶ月間線量、12人平均（最小-最大）

ガラスバッジ (mSv)、左頸部		DOSIRIS (mSv)、左眼	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
0.12 (0-0.45)	0.13 (0-0.52)	0.18 (0-0.67)	60 (3-126)

・1年推定値(6ヶ月間線量×2倍)

ガラスバッジ (mSv)		DOSIRIS (mSv)	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
1.44	1.56	2.16	720

DOSIRISの測定結果からの推定：特に指示せずに従来どおりの手技を行った場合には年間6,667件以上の手技により、水晶体線量が20mSv/年を超過

## 6.2 心臓血管 IVR 系 (B 病院)

B 病院での心臓血管 IVR 系に携わる医師の測定結果を示す。

表 5、表 6 は、心臓血管内科医師 3 名 (すべて鉛防護メガネ装着) の測定評価例である (半年間累積件数と累積線量)。B 病院における鉛防護メガネ無しの医師は、20mSv/年を超過する危険性が大きく、医師は鉛防護メガネの装着が必須であると考えられる。眼鏡有でも IVR 実施件数が多い場合は線量超過の恐れあると思われる。この理由は鉛防護メガネの下面の遮蔽が不十分であるからと思われる。

A 病院と同様に B 病院の DOSIRIS も頸部バッジも共に、左側の線量測定値が明らかに高値であった。(ただしペースメーカー植込時の手技においては右側が高値になる可能性が高い。)

表 5. 心臓循環器 IVR 症例数 : 医師 3 名、半年間 (B 病院)

	Total	Physician A	Physician B	Physician C
CAG (cases)	13	4	5	13
EPS (cases)	3	2	3	1
PMI (cases)	16	12	4	15
ABL (cases)	118	54	69	85
Total (cases)	150	72	81	114

CAG:冠動脈造影  
EPS:心内心電図  
検査 PMI:ペースメーカー植込み  
ABL:カテーテルアブレーション

表 6. 心臓 IVR 医師 : 6 ヶ月間の累積線量

		Physician A	Physician B	Physician C
Neck badge Hp(0.07), (mSv)	6-months	5.65	4.12	13.99
	(1-year)	11.3	8.24	27.98
	(mSv/case)	0.08	0.05	0.12
DOSIRIS (outside) Hp(3), (mSv)	6-months	4.32	5.3	14.61
	(1-year)	8.64	10.6	29.22
	(mSv/case)	0.06	0.07	0.13
DOSIRIS (inside) Hp(3), (mSv)	6-months	2.52	2.96	7.62
	(1-year)	5.04	5.92	15.24
	(mSv/case)	0.04	0.04	0.07

(1-year):一年換算(2倍)、(outside):防護眼鏡無し(眼鏡外側)、(inside):防護眼鏡有(眼鏡内側)

### 6.3 腹部肝臓 IVR 系 (A 病院)

表 7 は、腹部肝臓 IVR 系に携わる医師(4名)の測定結果を示す。左側の DOSIRIS と頸部バッジ測定結果(6ヶ月間の累積線量)である。

A 病院の腹部 IVR 医師の水晶体等価線量(ドジリス)は少なくない。但し眼鏡有の場合は、20mSv/年を超過する恐れは少ないと思われる。よって、腹部 IVR 医師(メイン術者)は鉛防護メガネの装着が必須である考える

なお線量計装着位置については、DOSIRIS も頸部バッジも共に左側の線量測定値が高値を示す傾向があるため、心臓血管 IVR 医師と同様にそれらは左側に装着して水晶体線量をモニタすべきことが判明した。

表 7. 腹部肝臓 IVR 医師：医師 4 人

・メイン術者 1 名：防護眼鏡有、6ヶ月間の累積線量

ガラスバッジ (mSv)、左頸部		DOSIRIS (mSv)、左眼	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
34.27	38.22	5.18	335

・助手 1 名：防護眼鏡有、6ヶ月間の累積線量

ガラスバッジ (mSv)、左頸部		DOSIRIS (mSv)、左眼	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
2.29	2.26	2.45	49

・助手 2 名：防護眼鏡無し、6ヶ月間の累積線量(2名平均)

ガラスバッジ (mSv)、左頸部		DOSIRIS (mSv)、左眼	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
4.15 (4.11-4.18)	4.38 (4.36-4.39)	5.69 (5.63-5.75)	186 (163-208)

## 6.4 脳血管 IVR 系 (B 病院)

表 8 は、B 病院における脳血管 IVR 系医師 3 名の、左側の DOSIRIS 測定結果例 (半年間累積実施件数と累積線量) である。

B 病院における脳血管 IVR 系医師の水晶体被ばくは、心臓血管系医師のそれよりは低線量であり、鉛防護メガネを装着していれば 20mSv/年を超過する危険性が少ないと思われる。この理由は、原則的に Digital Subtraction Angiography (DSA) 撮影時は、医師およびスタッフは血管造影検査室外に退避し、被ばく低減に配慮している (造影剤注入は、ハンドインジェクションは行わずインジェクターを用いている。) ことが挙げられる。さらに脳血管 IVR 等に携わる医師は、散乱体 (被写体: 頭部) からの距離も比較的遠い位置でカテーテル操作等を行っていることもその理由として考えられる。

ただし、脳血管 IVR 等に携わる医師においても水晶体被ばく防護の最適化を推進する必要はある。

表 8. 脳血管系 IVR 症例数: 医師 3 名、半年間 (B 病院)

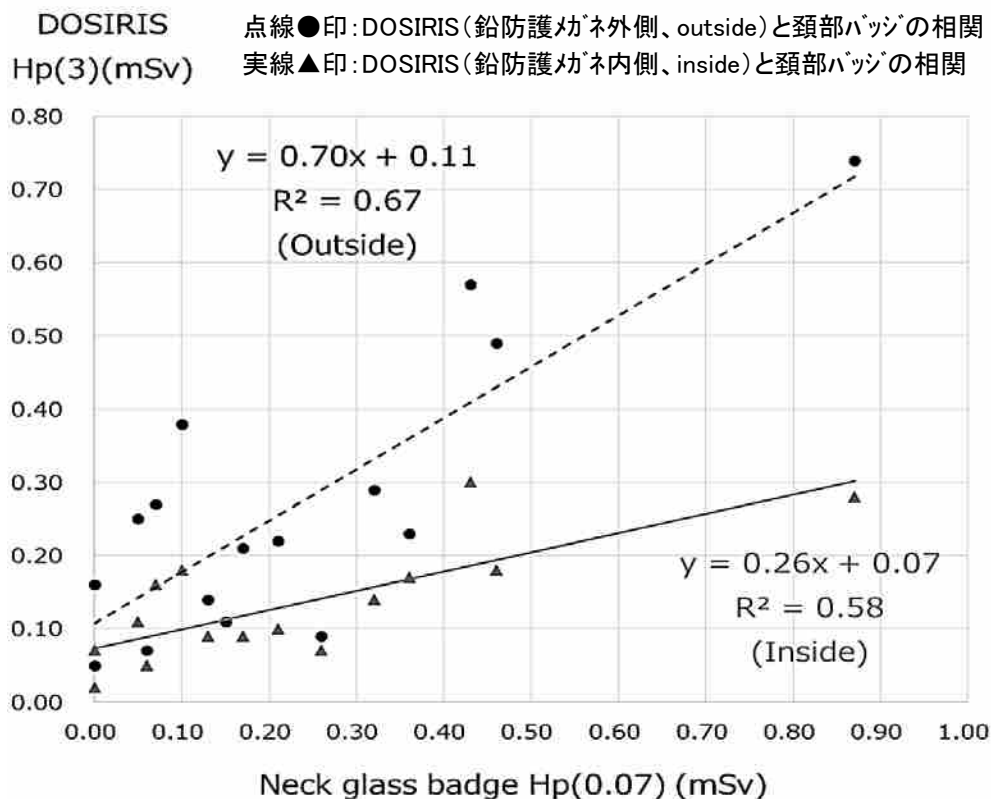
		Physician A	Physician B	Physician C
CAG (cases)		11	13	32
IR (cases)		34	30	40
Total (cases)		45	43	72
DOSIRIS (outside) Hp(3), (mSv)	6-month	1.63	2.09	2.55
	(1-year)	3.260	4.18	5.10
	(mSv/case)	0.036	0.049	0.036
DOSIRIS (inside) Hp(3), (mSv)	6-month	0.75	0.9	1.61
	(1-year)	1.50	1.80	3.22
	(mSv/case)	0.017	0.021	0.022

(1-year): 一年換算 (2 倍)

(outside): 防護眼鏡無し(眼鏡外側) 、(inside): 防護眼鏡有(眼鏡内側)

図9、図10は、代表的なものとして全体傾向を表すことができるためここに提示する（なお他のIVRでも概ね同様の傾向が確認されている）。図9は脳血管IVR等医師における水晶体等価線量測定値の相関であり、DOSIRIS測定値（鉛防護メガネ外側及び内側）と頸部バッジ測定値の関係を示す（B病院、mSv/月）。なお頸部バッジ測定値に明らかな外れ値があったためそれは除外してある。図1（点線、●印）のようにDOSIRIS測定値（鉛防護メガネ外側、outside）と頸部バッジ測定値には相関があった。頸部バッジ測定値の方がやや高値を示した。だが、下図のように決定係数（ $R^2$ ）はそれほど高くは無く、またDOSIRIS測定値と頸部バッジ測定値のバラツキもある。よって、より正確な水晶体被ばくを評価するためには、脳血管IVR等に携わる医師においてもDOSIRISにて測定評価をする必要があると考える。鉛防護メガネ内側（inside、下図の実線、▲印）のDOSIRIS測定値を用いた場合も決定係数（ $R^2$ ）は高くは無く、またDOSIRIS測定値と頸部バッジ測定値のバラツキもある。

図9. 脳血管IVR医師: DOSIRIS(鉛防護メガネ内・外)と頸部バッジの相関(mSv/月)



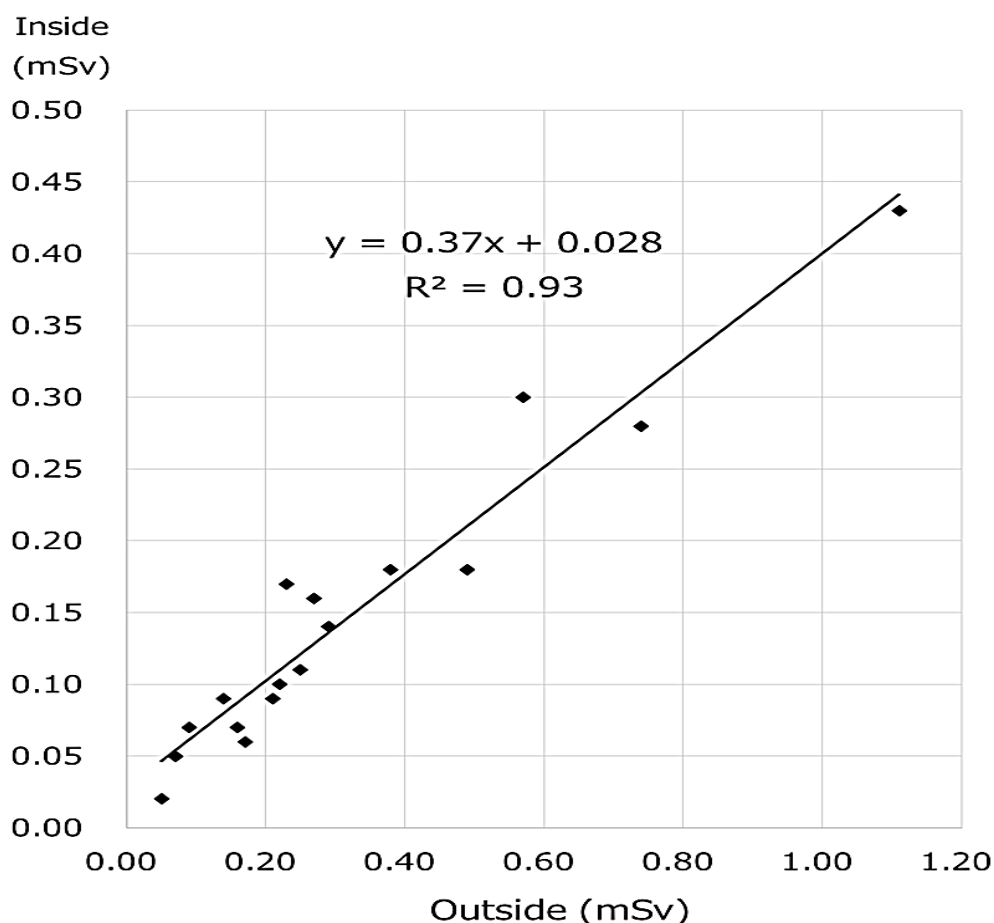
Kato M, Chida K, et al. Occupational radiation exposure of the eye in neurovascular interventional physician. *Radiat Prot Dosimetry*. 2019 Jan 9. [Epub ahead of print]

図 10 は、脳血管 IVR 医師における鉛防護メガネの内外の DOSIRIS 測定評価例である (B 病院、mSv/月)。使用した鉛防護メガネはウルトラライト (0.07mmPb 当量、東レ) または エクストラワイド (0.07mmPb 当量、東レ) である。

両者 (鉛防護メガネ内外) の測定値は良好な相関があった。B 病院における脳血管 IVR 医師の鉛防護メガネの遮蔽効果は、約 60%であった。

今回の推定では鉛防護メガネを装着した医師は、20mSv/年を超過しなかったが、防護の最適化の観点からも、水晶体被ばく低減のための対策、例えば鉛防護メガネの防護効果向上などが必要であると考えられる。

図 10. 脳血管 IVR 医師 : 鉛防護メガネ内外の相関 (防護効果、B 病院)



Kato M, Chida K, et al. Occupational radiation exposure of the eye in neurovascular interventional physician. *Radiat Prot Dosimetry*. 2019 Jan 9. [Epub ahead of print]



また、放射線技師は、脳血管 IVR に従事する看護師（3 名）は、鉛防護眼鏡は装着していないものの、基本的には患者からかなり離れた位置で作業を行っていることから、今回は測定下限未満であった。

また B 病院における放射線技師は、脳血管 IVR 等では原則として血管造影検査室内には立ち入らず、IVR 中はほとんど操作室内のみにて業務を行うため、水晶体被ばくは無視できると判断した。よって今回の脳血管 IVR 等では、放射線技師の水晶体測定評価は行わなかった。

## 6.5 ERCP (A 病院) ; アンダーテーブルX線装置を使用

消化管 X 線透視検査のひとつである、ERCP (Endoscopic retrograde cholangiopancreatography; 内視鏡的逆行性胆道膵管造影) に携わる従事者 (医師と看護師) の測定結果を示す。なお A 病院医師の ERCP の実施件数は半年間で平均 22 件であった。

表 9 は、ERCP 医師 (鉛防護メガネ無し) の測定評価結果である (半年間累積、4 名平均線量)。A 病院の ERCP 医師の水晶体等価線量は少なく、防護眼鏡無しでも 20mSv/年を超過する恐れは少ないと思われる。この大きな理由は、A 病院の ERCP はアンダーテーブルX線装置を使用しているため、術者上半身の被曝線量は低減されているものと考えられる。(実施件数が多くないことも一つの理由と思われる。)

なお ERCP での線量計装着位置については、左側の線量測定値が高値を示す傾向があった。

表 9. ERCP 医師 : 防護眼鏡無し (4 人)

・ 6 ヶ月間の累積線量、4 人平均 (最小—最大)

ガラスバッジ (mSv)、左頸部		DOSIRIS (mSv)、左眼
1cm線量当量	70 $\mu$ m線量当量	3mm線量当量
0.23 (0-0.45)	0.25 (0-0.50)	0.55 (0-1.33)

・ 1 年推定値 (6 ヶ月間線量 $\times$ 2 倍)

ガラスバッジ (mSv)		DOSIRIS (mSv)
1cm線量当量	70 $\mu$ m線量当量	3mm線量当量
0.46	0.50	1.10

アンダーテーブルX線装置使用のため水晶体線量は少ない。

表 10 は、同様に ERCP 看護師（鉛防護メガネ無し）の測定評価例である（半年間累積、8 名平均線量）。A 病院の ERCP 看護師の水晶体等価線量は少なく、20mSv/年を超過する恐れはほとんど無いと思われる。この大きな理由は、

同様に A 病院の ERCP はアンダーテーブル X 線装置を使用しているため、スタッフ上半身の被曝線量は低減されていると考える。（同様に実施件数が多くないことも一つの理由と思われる。）

なお線量計装着位置については表 10 の如く、DODIRIS は左側の線量測定値が高値を示す傾向があった。

また、頸部ガラスバッジの測定値は、DOSIRIS 測定値よりも若干高値を示す傾向があった。

表 10. ERCP 看護師：防護眼鏡無し（8 人）

・ 6 ヶ月間の累積線量、8 人平均（最小—最大）

ガラスバッジ (mSv)、左頸部		DOSIRIS (mSv)	
1cm線量当量	70μm線量当量	(左側)3mm	(右側)3mm
0.12 (0-0.51)	0.13 (0-0.58)	0.09 (0-0.42)	0.03 (0-0.15)

・ 1 年推定値(6 ヶ月間線量×2 倍)

ガラスバッジ (mSv)		DOSIRIS (mSv)	
1cm線量当量	70μm線量当量	(左側)3mm	(右側)3mm
0.24	0.26	0.18	0.06

同様にアンダーテーブル X 線装置使用のため水晶体線量は少ない。

## 6.6 ERCP (C病院) ; オーバーテーブルX線装置を使用

表 11 は、C 病院における ERCP に携わる従事者（鉛防護メガネ無し、医師と看護師、評価期間は 3 か月）の測定結果である。C 病院の 3 か月間の ERCP 実施件数は 60 件であった。C 病院の ERCP 医師の水晶体等価線量は多く、防護眼鏡無しの場合は 20mSv/年を超過する恐れがあると思われ、鉛防護具の装着は必須であると考えられる。C 病院の ERCP はオーバーテーブルX線装置を使用しているため、スタッフの上半身の被曝線量は多くなるのが大きな理由である。

看護師の水晶体被ばくは医師のそれよりは低線量であり、20mSv/年を超過する危険性が少ないと思われた。だがアンダーテーブルX線装置使用に比べ水晶体線量は高く、看護師においても水晶体被ばく防護の最適化は重要である。

なお線量計装着位置については、頸部バッジについては、医師は左側の線量測定値が高値を示す傾向があり、看護師は左右ほぼ同等であった。また DOSIRIS と頸部バッジの測定値は概ね同等であった。頸部バッジ (70  $\mu$ m 線量当量) の 3 か月合計値は、それぞれ医師 A は 3.1mSv、医師 B は 4.5mSv、看護師 A は 0.4mSv、看護師 B は 0.3mSv、看護師 C は 0.4mSv であった。

表 11. ERCP 従事者 (防護眼鏡無し) : 医師2名、看護師 3 名、DOSIRIS 線量 (左眼)

装着部位	7月	8月	9月	3か月合計	単位:mSv
					年間推定 (4倍)
医師A	1.0	1.5	1.4	3.9	<b>15.6</b>
医師B	1.9	2.0	0.7	4.6	<b>18.4</b>
看護師A	0.0	0.2	0.2	0.4	1.6
看護師B	0.1	0.1	0.2	0.4	1.6
看護師C	0.2	0.5	0.4	1.1	4.4

オーバーテーブルX線装置使用時は水晶体線量が多く、鉛防護具の装着は必須であると思われる。医師の水晶体線量は 20mSv/年に近い値である (表 11 の赤字)。国内で実施されている ERCP は、多くの場合はオーバーテーブルX線装置を使用していると思われ、よってスタッフの水晶体被曝防護に注意する必要がある。

## 6.7 気管支鏡、ブロンコ：(A 病院)

ブロンコは気管支内視鏡検査であり、通常、X線透視下にて検査および細胞や組織を的確な部位から採取する。A病院にてブロンコ気管支鏡検査（オーバーテーブルX線装置使用）に携わる従事者（医師と看護師）の測定結果（線量計は左側に装着）を示す。

表12は、気管支鏡検査に携わる医師の測定結果を示す。（鉛防護メガネ無し、半年間累積、8名平均線量）。A病院において、半年間で15.82mSv（表12の赤字）に達する場合もあることから、ブロンコ医師は20mSv/年を超過する危険性が大きく、医師は鉛防護メガネの装着が必須であると思われた。また頸部ガラスバッジの測定値は、DOSIRIS測定値よりも低値を示すことから、正確に水晶体被ばくを評価するためにはブロンコ医師はDOSIRISにて測定評価をする必要があると考える。なお助手として手技に加わる件数が多い場合は、線量はそれほど高値にはならない。

表12. ブロンコ医師：防護眼鏡無し（8人）

・6ヶ月間の累積線量、8人平均（最小～最大）

ガラスバッジ (mSv)、左頸部		DOSIRIS (mSv)、左眼	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
5.03 (0.24-11.01)	5.55 (0.30-12.20)	7.68 (0.57- <b>15.82</b> )	100 (62-186)

赤字は最大の水晶体線量を示す。

・1年推定値(6ヶ月間線量×2倍)

ガラスバッジ (mSv)		DOSIRIS (mSv)	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
10.06	11.10	15.36	200

DOSIRISの測定結果から推定すると、特に指示せずに従来どおりの手技を行った場合には年間294件以上の手技により、水晶体線量が20mSv/年を超過する。我が国のブロンコは、多くの場合、オーバーテーブルX線装置を使用しているため、ブロンコスタッフの水晶体被曝防護に注意する必要がある。

表 13 は同様に、ブロンコ看護師（全て鉛防護メガネ無し）についての測定評価結果である。A 病院のブロンコ看護師の水晶体被ばくは、医師のそれよりは低線量であり、20mSv/年を超過する危険性が少ないと思われた（看護師の主な作業配置場所に関して患者の傍に位置している場合が医師に比べ少ないため）。ただしブロンコ看護師の水晶体線量は少なくなく、水晶体被ばく防護の最適化は重要である（場合によっては防護メガネの装着が必要）。

DOSIRIS と頸部バッジの看護師の測定値に関して、医師同様に DOSIRIS 測定値の方が高く（オーバーテーブル X 線装置使用に起因すると思われる）、正確な被ばくを評価するためには DOSIRIS にて測定評価をする必要があると考える。

なお線量計装着位置については、DOSIRIS も頸部バッジも共に左側の線量測定値が高値を示す傾向があるため、それらは左側に装着して水晶体線量をモニタすべきことが判明した。（前ページのブロンコ医師の場合についても同様の結果であった。つまり左に装着。）

表 13. ブロンコ看護師：防護眼鏡無し（3 人）

・ 6 ヶ月間の累積線量、3 人平均（最小—最大）

ガラスバッジ (mSv)、左頸部		DOSIRIS (mSv)、左眼	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
1.54 (0.10-2.54)	1.63 (0.10-2.62)	2.41 (0.19-3.76)	100 (97-102)

・ 1 年推定値(6 ヶ月間線量×2 倍)

ガラスバッジ (mSv)		DOSIRIS (mSv)	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
3.08	3.26	4.82	200

ブロンコはオーバーテーブル X 線装置を使用しているため、スタッフの上半身の被曝線量は多くなるため、水晶体被曝防護に注意する必要がある。

## 6.8 X線 CT 透視下生検：(D 病院)

治療方針を決定するために病変部組織診断が必要なとき生検（バイオプシ）が行われる場合がある。生検の安全性と確実を高めるために X 線 CT 透視を用い、X 線 CT 透視下で CT 透視画像をリアルタイムに確認しながら組織採取するのが、X 線 CT 透視下生検である。

表 14 は、D 病院にて X 線 CT 透視下生検に携わる従事者（医師 1 名）の測定結果（評価期間は 4 か月、鉛防護メガネ無し、左側および右側）を示す。実施件数は平均 5 件/月である。なお同医師は、被ばく防護に対する意識が特に高く、CT 透視は必要最小限に実施している。

CT 透視下生検施行医師の水晶体線量は少なくなく、実施件数が多い場合は、鉛防護メガネの装着等が必要であると考ええる。

なお線量計装着位置については、顕著な左右差は無かった。CT 透視下生検施行医師の立ち位置は一定では無く、症例に状況等に応じて、患者の左右のどちらか適切なほうから手技を行うからである。

なお頸部ガラスバッジ測定値と、DOSIRIS 測定値は乖離する傾向があることから（頸部バッジが低値）、正確に水晶体被ばくを評価するためには、CT 透視下生検施行医師は DOSIRIS にて測定評価をする必要があると考ええる。

表 14. X 線 CT 透視下生検医師（防護眼鏡無し）：医師 1 名・DOSIRIS 線量（左、右）

						単位：mSv
装着部位	7月	8月	9月	10月	4か月合計	年間推定（3倍）
医師左目	0.03	0.18	0.14	0.05	0.40	1.60
医師右目	0.07	0.11	0.26	0.06	0.50	2.00

実施件数が多い場合は水晶体被ばくに要注意である。頸部バッジ線量は DOSIRIS 線量よりも低値を示した。

## 6.9 核医学 (RI, PET 検査) : (A 病院)

表 15 は、A 病院における RI に従事する診療放射線技師 (鉛防護メガネ無し) の場合についての測定評価例である (1 ヶ月間線量、mSv/月)。なお A 病院の核医学検査に従事する診療放射線技師は 1 か月毎のローテーション業務のため 1 か月間線量にて評価した。

RI に従事する診療放射線技師は、鉛防護メガネ無しでも水晶体等価線量は少なく、20mSv/年を超過する恐れはないと思われる。すなわち核医学 (RI, PET) 従事者の水晶体等価線量 (ドジリス) は、予想よりも少ない結果であった。

表 15. RI 診療放射線技師 : 防護眼鏡無し (10 人)

・ 1 ヶ月間線量 : 左側、(最小-最大)、

ガラスバッジ (mSv)、左頸部		DOSIRIS (mSv)、左眼	
1cm線量当量	70 $\mu$ m線量当量	3mm線量当量	件数(件)
0.08 (0-0.15)	0.08 (0-0.14)	0.03 (0-0.16)	55.60 (7-97)

・ 1 年推定値 (1 ヶ月間線量  $\times$  2 倍)

ガラスバッジ (mSv)		DOSIRIS (mSv)	
1cm線量当量	70 $\mu$ m線量当量	3mm線量当量	件数(件)
0.96	0.96	0.36	667.2

DOSIRIS の測定結果からの推定 : 年間 37,067 件以上の RI 検査により、水晶体線量が 20mSv/年を超過 (よって現実的には線量超過は考えられない)。

なお、その他の職種および PET 検査において、も同様に少ない水晶体線量であった。



## 6.10 核医学 (RI, PET 検査) : (B 病院)

表 16、表 17 は、B 病院における核医学検査の測定例である（半年間累積実施件数と左側の DOSIRIS 測定累積線量）。

B 病院においても、A 病院同様に核医学 (RI, PET) 従事者の水晶体等価線量 (ドジリス) はかなり少なく、鉛防護メガネ無しでも 20mSv/年を超過する恐れはないと思われる。

表 16. 核医学 (RI, PET) 症例数 : 放射線技師 2 名、半年間 (B 病院)

	Total	技師A	技師B
PET (cases)	186	65	48
SPECT(脳血流) (cases)	310	87	55
心筋シンチ (cases)	13	12	4
その他 (cases)	12	10	13
Total (cases)	521	174	120

表 17. 核医学 (RI, PET) スタッフ : 6 ヶ月間の DOSIRIS 累積線量、鉛鉛防護メガネ無し

	ドジリス、左眼 mSv
核医学RT A	<b>0.16</b>
核医学RT B	<b>0.15</b>
核医学Ns	<b>0.17</b>
核医学Ns	<b>0.16</b>
核医学薬剤師	<b>0.06</b>
核医学研究員	<b>0.05</b>

頸部ガラスバッジ測定値は、DOSIRIS 測定値よりも低値を示した。

## 6.11 手術室（手術室での透視使用手技）：（A 病院）

表 18 は、A 病院における手術室での透視使用手技（大動脈瘤に対するステントグラフト内挿術など）に従事する診療放射線技師（鉛防護メガネ無し）の場合についての測定評価例である（左側、1 ヶ月間線量、mSv/月）。なお A 病院の手術室業務に従事する診療放射線技師は 1 か月毎のローテーション業務のため 1 か月間線量にて評価した。

A 病院における手術室での透視使用手技に従事する診療放射線技師の水晶体線量は少なくなく、水晶体被ばく防護の最適化は重要である（実施件数が多い場合は、防護眼鏡の装着が必要）。

なお頸部ガラスバッジの測定値は、DOSIRIS 測定値と、概ね同等であった（若干 DOSIRIS が高値）。

表 18. 手術室、診療放射線技師：防護眼鏡無し

・1 ヶ月間の平均線量：左側、n=17、（最小—最大）、

ガラスバッジ (mSv)、左頸部		DOSIRIS (mSv)、左眼	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
0.28 (0-0.81)	0.30 (0-0.86)	0.38 (0-0.98)	7.12 (1-13)

・1 年推定値(1 ヶ月間線量×2 倍)

ガラスバッジ (mSv)		DOSIRIS (mSv)	
1cm線量当量	70μm線量当量	3mm線量当量	件数(件)
3.36	3.6	4.56	85

DOSIRIS の測定結果からの推定：特に指示せずに従来どおりの手技を行った場合には年間 373 件以上の件数を実施した場合に、水晶体線量が 20mSv/年を超過

## 6.12 ポータブル撮影に従事する診療放射線技師：(A 病院)

表 19 は、A 病院における病室ポータブル撮影に従事する診療放射線技師（鉛防護メガネ無し）の場合についての測定評価例である（4 名、左側、1 ヶ月間線量、mSv/月）。なお A 病院のポータブル撮影に従事する診療放射線技師は 1 か月毎のローテーション業務のため 1 か月間線量にて評価した。

従事件数が多い場合、A 病院におけるポータブル撮影に従事する診療放射線技師の水晶体線量は少なくなく、水晶体被ばく防護の最適化は重要である（実施件数が非常に多い場合は、防護眼鏡の装着が必要であると思われる）。

なお頸部ガラスバッジの測定値は、DOSIRIS 測定値と、概ね同等であった（若干 DOSIRIS が高値）。

表 19. ポータブル撮影、診療放射線技師：防護眼鏡無し

・1 ヶ月間の平均線量：左側、4 名、(最小—最大)、

ガラスバッジ (mSv)、左頸部		DOSIRIS (mSv)、左眼	
1cm線量当量	70 $\mu$ m線量当量	3mm線量当量	件数(件)
0.24 (0-0.71)	0.27 (0-0.84)	0.34 (0-1.03)	168 (57-328)

・1 年推定値(1 ヶ月間線量×2 倍)

ガラスバッジ (mSv)		DOSIRIS (mSv)	
1cm線量当量	70 $\mu$ m線量当量	3mm線量当量	件数(件)
2.88	3.24	4.08	2,016

DOSIRIS の測定結果からの推定：特に指示せずに従来どおりの手技を行った場合には年間 9,882 件以上の実施件数により、水晶体線量が 20mSv/年を超過する。

### 6.13 密封小線源放射線療法：(D 病院)

密封小線源放射線療法は、ある種の癌においては、非常に有用な癌治療方法のひとつである。

D 病院にて、放射線治療（密封小線源治療）を実施した医師 1 名の水晶体線量を DOSIRIS にて測定評価した。舌癌等治療において、Au-198 による密封小線源放射線療法を実施した 4 件について測定した。なお術者医師は、鉛防護眼鏡は装着していない。また Au-198 線源装填時は、鉛衝立を使用して放射線防護を行っている。

その結果、密封小線源治療施行医師の水晶体ドジリス平均線量は、治療 1 件あたり約 0.07mSv であった。

よって密封小線源治療（Au-198）施行医師の水晶体線量は比較的多い。もし治療実施件数が多い場合は、要注意である。

なお D 病院での Au-198 による密封小線源放射線療法の実施件数は、年間 12 件程度であるが、今後、実施件数が増加する可能性がある。

## 6.14 IVR スタッフのリアルタイム線量測定：時系列解析例（A 病院）

図 11 は、心臓 IVR 医師の解析結果の一部である。下図グラフのタテ軸は線量率（mSv/h）、横軸は時間（分）である。青線は術者左側頭部線量、オレンジ線は術者左頸部の線量である。

左橈骨動脈穿刺を行い、透視を行いながらカテーテルを左鎖骨下動脈、上行大動脈、冠動脈と進めていく。(1) は左橈骨動脈からカテーテルを挿入した直後である。被写体である上腕は厚みが少ないために X 線出力が低く、発生する散乱線も少ない。そのため、術者線量率はほぼ 0 mSv/h であった。(2) はカテーテル先端が心臓に到達したところである。体幹部に対して透視を行うために、X 線出力が増加し、散乱線量が増加する。これにより、術者線量率は 2.3 mSv/h まで上昇した。(3) は LA045 CRA30 で撮影を行ったところである。X 線管が術者にかなり接近する角度となり、天吊り防護板と術者の間に X 線管が位置する形となった。このときの術者線量率は 4.4 mSv/h であった。すなわち追加防護具は適切な位置（散乱線発生源である患者および X 線管と術者の間）に配置することを徹底しなければならない。また頸部よりも頭部（水晶体）位置が高線量になる場合もあることが分かった。従来から追加防護具の適切な利用が重要であるとは言われているものの、今までこのような定量的な分析を行った事例はなく、重要な知見であると考ええる。

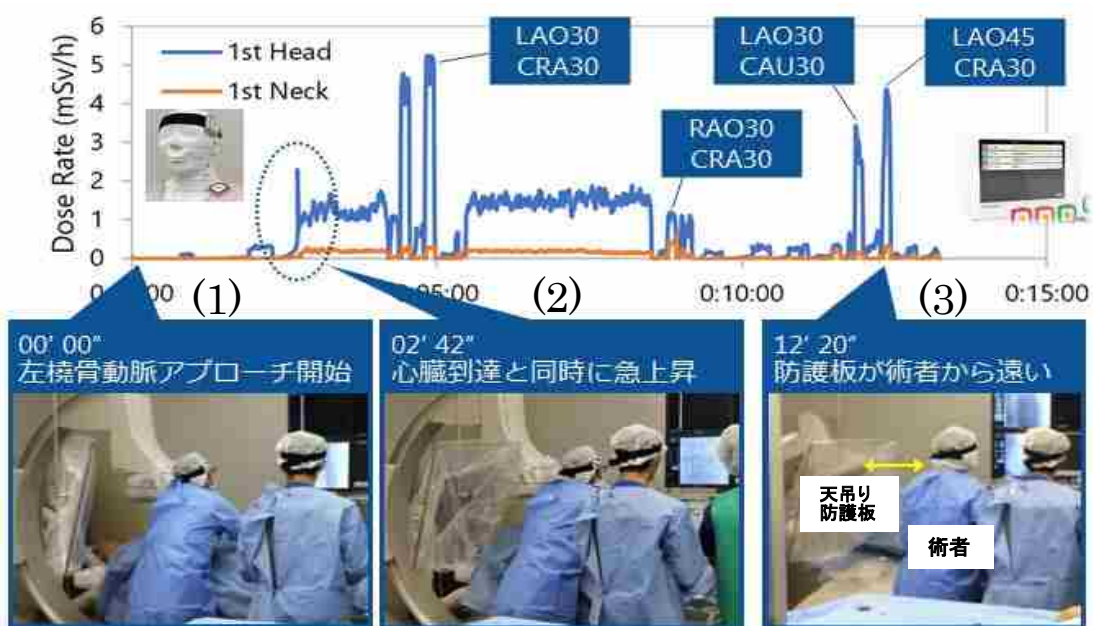


図 11. リアルタイム線量解析（心臓 IVR 医師の一例）

## 7. 測定結果のまとめ

今回の測定（A～D病院）によって放射線医療に従事する者の水晶体被ばくに関して、主に以下の事が分った。ただしすべての病院施設において当てはまるとは限らないことをご留意頂きたい。

- ・心臓 IVR 医師で防護眼鏡無しの場合は、水晶体等価線量が 20mSv/年を超過する恐れあり、眼鏡有でも実施件数が多い場合は線量超過の恐れがある。
- ・腹部 IVR 医師の水晶体等価線量(ドジリス)は少なくない。(但し眼鏡有の場合は、20mSv/年を超過する恐れは無さそうである。)
- ・ERCP 医師の水晶体線量はオーバーor アンダーテーブル装置で大きく異なる(オーバーテーブル装置で防護眼鏡無しの場合は 20mSv/年を超過する恐れがある。)
- ・気管支鏡医師で防護眼鏡無しの場合は、水晶体等価線量(ドジリス)が 20mSv/年を超過する恐れがある。
- ・放射線技師（ポータブルや手術室）の水晶体線量は少なくない。(実施件数が多い場合は要注意である。)
- ・核医学(RI, PET)従事者の水晶体等価線量(ドジリス)は、予想よりも少ない。
- ・CT 透視下生検施行医師の水晶体線量は少なくない。(実施件数が多い場合は要注意である。)
- ・密封小線源治療（Au-198）施行医師の水晶体線量は比較的多い。(もし実施件数が多い場合は要注意。)
- ・IVR 従事者水晶体線量は、撮影（透視）条件や角度、防護具使用状況、立ち位置等により変化する。
- ・ドジリス(水晶体線量計)による水晶体等価線量は、従来の評価方法(頸部ガラスバッジ)とある程度の相関はある。
- ・ガラスバッジ 70  $\mu$ m 線量当量はガラスバッジ 3mm 線量当量(特別に算出)とほぼ同等である。
- ・放射線防護眼鏡使用時はガラスバッジで測定するよりも 45%から 60%程度少ない。だがバラツキが多く単純にガラスバッジ測定値から換算係数を用いて、水晶体線量を推定することは困難であると思われた。
- ・鉛防護メガネの防護効果は約 60%程度である。しかし約 50%とやや低値の場合もあった(鉛防護メガネ下面の遮蔽が不十分であることが考えられる)。

## 8. 成果報告

初期成果関連の一部について、国内外の学会研究会等にて、数多くの研究発表を行った。

そのなかで、国内学会発表にて下記の2つの演題が受賞することができた。

・優秀賞：第46回日本放射線技術学会秋季学術大会，2018年10月，仙台

「IVRに従事するスタッフの水晶体線量計着用部位に関する基礎検討。」

・優秀プレゼンテーション賞：日本放射線安全管理学会第17回学術大会，2018年12月，名古屋

「リアルタイム個人線量計を用いたIVRスタッフの水晶体線量に関する基礎的検討。」

また国際学会である北米放射線学会(104<sup>th</sup> Radiological Society of North America, RSNA2018)にて発表した下記の演題が **RSNA2018 Exhibit Award "CERTIFICATE of MERIT"** を受賞することができた。

*Occupational Radiation Exposure of the Eye in Neurovascular Interventional Physician*

(次項39ページにその演題抄録を提示する。)

上記いずれの受賞演題発表ともに、放射線診療時における水晶体線量評価と被ばく防護において、とても重要な内容の研究報告である。

さらに、脳血管IVR術者の水晶体被ばくに関する研究論文が *Radiation Protection Dosimetry* 誌に掲載された。

Kato M, Chida K, Ishida T, Toyoshima H, Yoshida Y, Yoshioka S, Moroi J, Kinoshita T. OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE OF THE EYE IN NEUROVASCULAR INTERVENTIONAL PHYSICIAN. *Radiat Prot Dosimetry*. 2019 Jan 9. doi: 10.1093/rpd/ncy285. [Epub ahead of print]

(次々項40ページ以降にその論文を提示する。)

## RSNA2018 Exhibit Award "CERTIFICATE of MERIT"

### *Occupational Radiation Exposure of the Eye in Neurovascular Interventional Physician*



NR180-ED-X

#### **Occupational Radiation Exposure of the Eye in Neurovascular Interventional Physician**

All Day Room: NA Digital Education Exhibit

#### **Awards**

##### **Certificate of Merit**

#### **Participants**

Mamoru Kato, PhD, Akita, Japan (*Presenter*) Nothing to Disclose  
Koichi Chida, PhD, Sendai, Japan (*Abstract Co-Author*) Nothing to Disclose  
Toshibumi Kinoshita, MD, PhD, Akita, Japan (*Abstract Co-Author*) Nothing to Disclose  
Hideto Toyoshima, BSc, Akita, Japan (*Abstract Co-Author*) Nothing to Disclose  
Noriyuki Takahashi, Akita, Japan (*Abstract Co-Author*) Nothing to Disclose  
Tomomi Omura, Akita, Japan (*Abstract Co-Author*) Nothing to Disclose

#### **For information about this presentation, contact:**

kato-amc@med.tohoku.ac.jp

#### **TEACHING POINTS**

To understand the importance of correct an equivalent dose limit for the lens of the eye of 20 mSv/year To understand the importance of radiation protection of the eye lens of neurovascular interventional physician To emphasize the usefulness of a direct eye dosimeter for correct measurement of the occupational dose in a clinical neurovascular interventional radiology (Neuro-IR) setting

#### **TABLE OF CONTENTS/OUTLINE**

*Evaluation of eye dose of neurovascular interventional physician and related factors in Neuro-IR procedures* Occupational radiation exposure (eye doses) of two neurovascular interventional physicians were measured using the direct eye dosimeters (DOSIRIS) and the personal dosimeters (neck badge). *Reducing the radiation exposure eye dose* Understand the usefulness of using lead eye glasses protecting eyes from scattered radiation. **Summary:** Incidences of radiation-induced depilation and skin injuries have been reported because Neuro-IR procedures tend to require an extended fluoroscopic exposure time and repeated digital subtraction angiography. Thus, it is important to measure the radiation dose in the eye for Neuro-IR physicians. The eye doses evaluated using a neck badge tended to be overestimated. For this reason, occupational eye doses of Neuro-IR physicians should measure with DOSIRIS.



## OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE OF THE EYE IN NEUROVASCULAR INTERVENTIONAL PHYSICIAN

Mamoru Kato<sup>1,2,\*</sup>, Koichi Chida<sup>2,3</sup>, Takato Ishida<sup>1</sup>, Hideto Toyoshima<sup>1</sup>, Yasuyuki Yoshida<sup>4</sup>, Shotaro Yoshioka<sup>4</sup>, Junta Moroi<sup>4</sup> and Toshibumi Kinoshita<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiology and Nuclear Medicine, Research Institute for Brain & Blood Vessels-Akita

<sup>2</sup>Course of Radiological Technology, Health Sciences, Tohoku University Graduate School of Medicine

<sup>3</sup>Department of Radiation Disaster Medicine, International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

<sup>4</sup>Department of Surgical Neurology, Research Institute for Brain and Blood Vessels-Akita

\*Corresponding author: kato-mamoru@akita-noken.jp

Received 16 July 2018; revised 22 November 2018; editorial decision 30 November 2018; accepted 12 December 2018

Neurovascular interventional radiology (neuro-IR) procedures tend to require an extended fluoroscopic exposure time and repeated digital subtraction angiography. To evaluate the actual measurement of eye lens dose using a direct eye dosimeter in neuro-IR physicians is important. Direct dosimetry using the DOSIRIS™ (IRSN, France) [3 mm dose equivalent, Hp(3)] was performed on 86 cases. Additionally, a neck personal dosimeter (glass badge) [0.07 mm dose equivalent, Hp(0.07)] was worn outside the protective apron to the left of the neck. The average doses per case of neuro-IR physicians were 0.04 mSv/case and 0.02 mSv/case, outside and inside the radiation protection glasses, respectively. The protective effect of radiation protection glasses was approximately 60%. The physician eye lens dose tended to be overestimated by the neck glass badge measurements. A correct evaluation of the lens dose [Hp(3)] using an eye dosimeter such as DOSIRIS™ is needed for neuro-IR physicians.

### INTRODUCTION

During interventional procedures, patients and physicians may be injured due to prolonged exposure to X-ray radiation<sup>(1-13)</sup>. In 2011, the International Commission on Radiological Protection (ICRP) recommended that the occupational exposure limit for the lens of the eye be reduced to 20 mSv in a year, averaged over defined periods of 5 y, with each year not exceeding 50 mSv<sup>(14)</sup>. The ICRP also released a 'Statement on Tissue Reactions' in which it was proposed that the absorbed dose threshold for induction of cataracts by ionising radiation should now be considered to be 0.5 Gy for acute or chronic exposures<sup>(14, 15)</sup>. This was because incidences of radiation-induced depilation and skin injuries were reported, as neurovascular interventional radiology (neuro-IR) procedures tend to require an extended fluoroscopic exposure time and repeated digital subtraction angiography (DSA)<sup>(16-21)</sup>. Actual measurement of eye lens dose by DOSIRIS™ has been reported in cardiac intervention procedures and non-vascular intervention procedures such as endoscopic retrograde cholangiopancreatography (ERCP), but there is no report in neuro-IR procedures<sup>(22-24)</sup>. Thus, it is important to measure the radiation dose in the eye for neuro-IR physicians.

In this study, we measured the radiation dose [3 mm dose equivalent, Hp(3)] in the eye using an

appropriate dosimeter put next to neuro-IR physicians eye.

### MATERIALS AND METHODS

We measured the eye lens dose [Hp(3)] for three of five neuro-IR physicians in the Research Institute for Brain & Blood Vessels-Akita. Two to three doctors are involved in one procedure. The occupational eye lens dose was evaluated over a 6-month period (October 2017–March 2018). There were 95 cases during the measurement period; these three neuro-IR physicians were involved in 86 cases.

Direct dosimetry using the DOSIRIS™ (IRSN, France) was performed on 86 cases that involved 42 of diagnostic cerebral angiography (CAG) and 44 of IR procedures such as intra-aneurysmal embolization and endovascular recanalization (Table 1). The DOSIRIS™ consists of a thermo-luminescent dosimeter sensor (7 LiF:Mg, Ti), a 3-mm polypropylene capsule, and an adjustable headset. Following a 1-month measurement period, the DOSIRIS™ was returned to the Chiyoda Technol Corporation in Japan to be read. The dose calibration was performed at the Chiyoda Technol Corporation with reference to the national standard.

All three neuro-IR physicians wore coat type protective aprons (0.25 mm lead (Pb) equivalent), and

radiation protection glasses (0.07 mm Pb equivalent, Panorama Shield, Toray, Japan). Furthermore, all physicians always used lead acrylic shields (0.5 mm Pb equivalent) suspended from the ceiling. All physicians wore a DOSIRISTM just lateral to the left eye and an additional DOSIRISTM outside the radiation protection glasses close to their left eye (Figure 1), allowing to evaluate the protective effects of the glasses. Additionally, a neck personal dose-meter (glass badge) was worn outside the protective apron to the left of the neck, to compare the DOSIRIS estimated doses. The neck glass badge used was a silver-activated phosphate glass dosimeter [0.07 mm dose equivalent, Hp(0.07) and 10 mm dose equivalent, Hp(10), Glass Badge, Chiyoda-Technol, Japan]. The glass badges were returned monthly to the Chiyoda-Technol for evaluation.

The X-ray device used in this study was biplane digital X-ray system (Artis dBA; Siemens Healthineers, Germany) with a flat-panel detector, at an acquisition DSA rate of four frames/second while applying pulsed fluoroscopy (7.5 pulses/second).

Table 1. Details of the procedure.

Cerebral angiography (CAG)	42
IR procedures	44
Coil embolization of aneurysm	20
Percutaneous transluminal angioplasty	9
Endovascular recanalization	7
Embolization of the dural arteriovenous malformation	1
Carotid artery stenting	7



Figure 1. DOSIRISTM, Neck personal dosemeter (glass badge), radiation protection glasses. Physicians wore a DOSIRISTM just lateral to the left eye and an additional DOSIRISTM outside the radiation protection glasses close to their left eye. A neck personal dosemeter (glass badge) was worn outside the protective apron to the left of the neck.

### Statistical analysis

A Pearson correlation test was used to find whether the neck glass badge was linearly related to the eye dosimeters (inside and outside the radiation protection glasses). The statistical significance was defined as  $p < 0.01$ .

All analyses were performed using the JMP Version 14 software (SAS Institute, Tokyo, Japan).

### RESULTS

Table 1 summarises the details of the 84 procedures during the 6-month period. There were 42 and 44 cases of CAG and IR procedures, respectively. The coil embolization of aneurysm, which included stent-assisted procedure, was the most frequent procedure in the IRs.

Table 2 summarises the mean value of the total angiographic parameters, where, fluoroscopy time was 44.7 (4.8–172.3) minutes (mean (minimum – maximum)), air kerma (AK) was 1.53 (0.19–7.48) Gy, and kerma-area product (KAP) was 146.8 (12.7–375.7) Gy·cm<sup>2</sup>. In CAG, the fluoroscopy time was 20.0 (4.8–60.3) minutes, AK was 0.71 (0.19–2.58) Gy, and KAP was 111.8 (12.7–375.4) Gy·cm<sup>2</sup>. In IR, the fluoroscopy time was 68.3 (23.1–172.3) minutes, AK was 2.3 (0.39–7.48) Gy, and KAP was 180.1 (37.4–375.7) Gy·cm<sup>2</sup>.

Figures 2 and 3 show the relationship between the eye lens dose using DOSIRISTM [Hp(3)] and the neck glass badge [Hp(0.07) and Hp(10)]. The Pearson correlation test revealed statistically positive correlations between the eye lens dose using DOSIRISTM [Hp(3)] and the neck glass badges [Hp(0.07)] and [Hp(10)]. The correlation coefficients between [Hp(3)] of outside protective eyeglasses and [Hp(0.07)], as well as between [Hp(3)] of outside protective eyeglasses and [Hp(10)], were  $r = 0.82$  ( $p < 0.01$ ) and  $r = 0.84$  ( $p < 0.01$ ), respectively. The correlation coefficients between [Hp(3)] of inside protective eyeglasses and [Hp(0.07)], as well as between [Hp(3)] of inside protective eyeglasses and [Hp(10)], were  $r = 0.76$  ( $p < 0.01$ ) and  $r = 0.79$  ( $p < 0.01$ ), respectively. The regression lines, using [Hp(3)] of outside protective eyeglasses as an outcome value (mSv) ( $y$ ), and [Hp(0.07)] (mSv) and [Hp(10)] (mSv) as predictor variables ( $x$ ), were  $y = 0.70x + 0.11$  ( $R^2 = 0.67$ ) and  $y = 0.83x + 0.11$  ( $R^2 = 0.70$ ), respectively. The regression lines, using [Hp(3)] of inside protective eyeglasses as an outcome value (mSv) ( $y$ ), and [Hp(0.07)] (mSv) and [Hp(10)] (mSv) as predictor variables ( $x$ ), were  $y = 0.26x + 0.07$  ( $R^2 = 0.58$ ) and  $y = 0.32x + 0.07$  ( $R^2 = 0.63$ ), respectively.

Figures 4 shows the relationship between the radiation dose in the eye using the DOSIRISTM inside the radiation protection glasses and that using an additional DOSIRISTM outside the radiation protection glasses. The Pearson correlation test revealed

Table 2. Angiographic parameters [mean (minimum – maximum)].

	<i>n</i>	Fluoroscopy time (min)	AK (Gy)	KAP (Gy·cm <sup>2</sup> )
CAG	42	20 (4.8–60.3)	0.71 (0.19–2.58)	111.8 (12.7–375.4)
IR	44	68.3 (23.1–172.3)	2.31 (0.39–7.48)	180.1 (37.4–375.7)
Total	86	44.7 (4.8–172.3)	1.53 (0.19–7.48)	146.8 (12.7–375.7)

October 2017–March 2018.

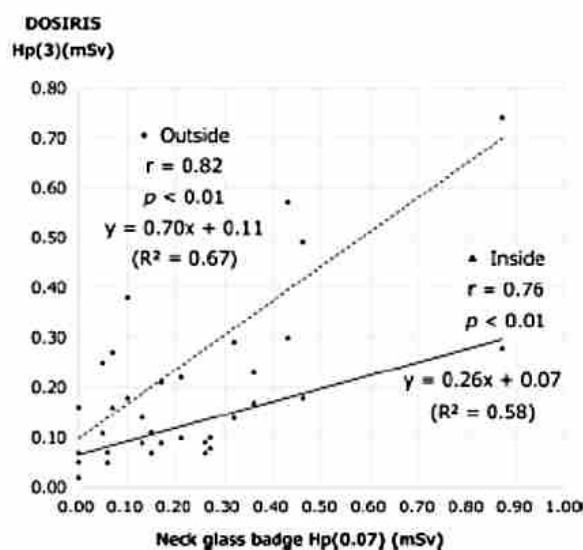


Figure 2. Relationship between Hp(3) and Hp(0.07). The Pearson correlation test revealed statistically positive correlations between the eye lens dose using DOSIRIS™ [Hp(3)] and the neck glass badges [Hp(0.07)]. The correlation coefficient between [Hp(3)] of outside protective eyeglasses and [Hp(0.07)] was  $r = 0.82$  ( $p < 0.01$ ). The correlation coefficient between [Hp(3)] of inside protective eyeglasses and [Hp(0.07)] was  $r = 0.76$  ( $p < 0.01$ ).

statistically positive and excellent correlations between the inside and outside doses ( $r = 0.96$ ,  $p < 0.01$ ). The regression lines using inside dose (mSv) as an outcome value ( $y$ ) and outside dose (mSv) as predictor variables ( $x$ ) were,  $y = 0.37x$  ( $R^2 = 0.93$ ). From the linear regression equation, the shielding effect of the radiation protection glasses was estimated to be approximately 60% in a neurovascular clinical setting.

## DISCUSSION

The ICRP statement from the 2011 Seoul meeting suggested that eye tissue reactions (such as cataracts) occurred at radiation doses lower than those set previously<sup>(15)</sup>. In 2012, a new dose limit for the lens of the eye was proposed in the ICRP publication

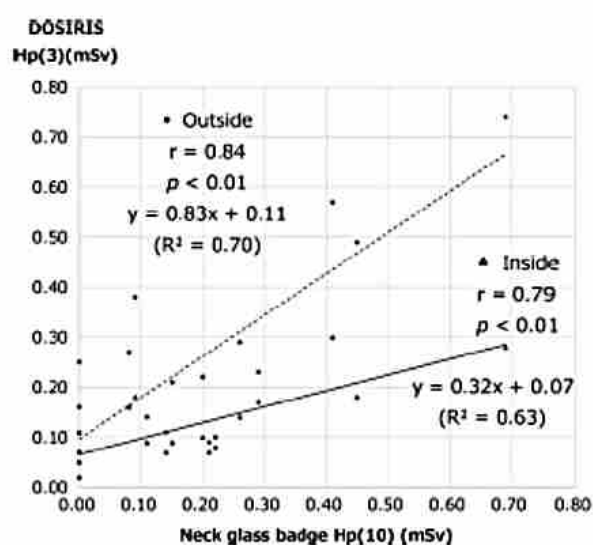


Figure 3. Relationship between Hp(3) and Hp(10). The Pearson correlation test revealed statistically positive correlations between the eye lens dose using DOSIRIS™ [Hp(3)] and the neck glass badges [Hp(10)]. The correlation coefficient between [Hp(3)] of outside protective eyeglasses and [Hp(10)] was  $r = 0.84$  ( $p < 0.01$ ). The correlation coefficient between [Hp(3)] of inside protective eyeglasses and [Hp(10)] was  $r = 0.79$  ( $p < 0.01$ ).

118<sup>(14)</sup>. The International Atomic Energy Agency (IAEA) received the recommendation of ICRP and published the guideline (TECDOC-1731) in 2014<sup>(25)</sup>. For evaluation of the eye lens dose, it was recommended that it be measured near the eye. Many studies have been carried out to investigate the eye lens dose of physicians during IR procedures<sup>(26–30)</sup>.

The ICRP 103 guidelines (2007) recommend that the Hp(3) value should be used to monitor the eye lens dose<sup>(31)</sup>. However, most of the facilities currently have been monitoring the eye lens dose with Hp(0.07), and not Hp(3) values. In our results, the physician eye lens dose tended to be overestimated by the neck glass badge measurements, although there was good correlation between the neck glass badge dose [Hp(0.07)] and the eye lens dose measured with the DOSIRIS™ [Hp(3)] in physicians.

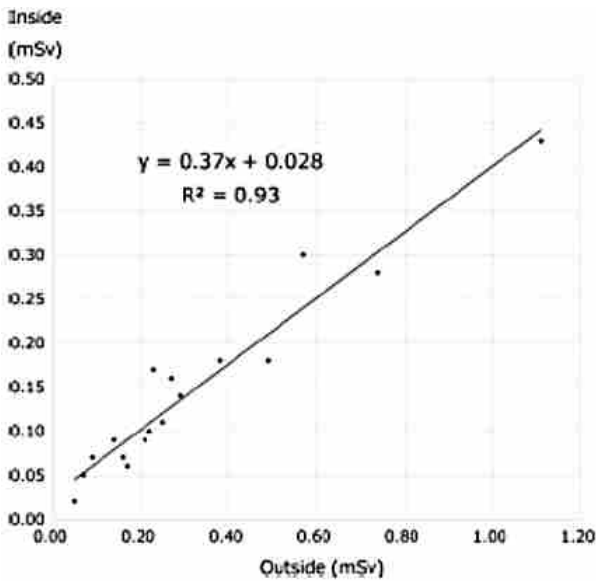


Figure 4. Relationship between the inside and outside doses. There was an excellent correlations between the inside and outside doses of the DOSIRIS™ measurements [Hp(3)]. The shielding effect of the radiation protection glasses was estimated to be about 60% in a neurovascular clinical setting.

One of the reasons for overestimating eye lens dose by the neck badge may be that the distance from the patient is close to the neck badge. Furthermore, when the physician wore protective eyeglasses, the eye lens dose from the neck badge was extremely overestimated. Therefore, for correct evaluation of the eye lens dose, we recommend measurement of the eye lens dose in neuro-IR physicians using a direct eye lens dosimeter, such as DOSIRIS™.

In our facility, neuro-IR physicians always wore 0.07 mm Pb equivalent radiation protection glasses during procedures. Although, 0.5 mm Pb equivalent radiation protective glasses were heavier, and uncomfortable, 0.07 mm Pb equivalent radiation protective glasses were comfortable to physicians who must often perform long procedures. The protective effect of radiation protection glasses was approximately 60%. The shielding ratio of radiation protective glasses was equivalent to that of the cardiac IR procedures reported by Haga *et al.*<sup>(24)</sup>

Table 3 shows the summary of our 6-month study of three neuro-IR physicians. The average doses per case for three neuro-IR physicians were 0.04 mSv/case and 0.02 mSv/case, outside and inside the radiation protection glasses, respectively. Our results suggest that the numbers of cases exceeding the occupational exposure limit of the ICRP for the lens of the eye were 500 cases per year without radiation protection glasses and 1000 cases with radiation protection glasses. Although Haga *et al.* reported

Table 3. Summary of our 6-month study.

	Physician A	Physician B	Physician C
CAG (cases)	11	13	32
IR (cases)	34	30	40
Total (cases)	45	43	72
DOSIRIS (outside) Hp(3), (mSv)			
6 month	1.63	2.09	2.55
(1 yr)	3.260	4.18	5.10
(mSv/case)	0.036	0.049	0.036
DOSIRIS (inside) Hp(3), (mSv)			
6 month	0.75	0.9	1.61
(1 yr)	1.50	1.80	3.22
(mSv/case)	0.017	0.021	0.022

occupational eye lens doses during cardiology procedures using the DOSIRIS™; our study had lower results regarding the dose per case, compared with theirs<sup>(24, 32, 33)</sup>. One of the most probable reasons is that neuro-IR physicians and other medical staff stepped away from the patient and the angiography room during high-dose acquisitions, such as DSA using power injector. Another reason is that there may be distance between the patient's irradiation site and the physician. The distance between the head and the Neuro-IR physician is longer than the distance between the chest and cardiac IR physician, with less influence from the scattered X-rays. Therefore, the neuro-IR procedure may have less radiation exposure than cardiac IR procedures.

## CONCLUSION

In the Neuro-IR procedures, there is no actual measurement report of the eye lens dose [Hp(3)]. We directly measured the eye lens dose [Hp(3)] of three neuro-IR physicians, in clinically. The occupational eye lens dose was evaluated over a 6-month period. The average doses per case of neuro-IR physicians were lower than cardiac IR physicians.

The shielding effect of the radiation protection glasses (0.07 mm Pb equivalent) in a clinical setting was approximately 60%. The eye lens dose of the physicians tended to be overestimated by the neck glass badge measurements, although there was a good correlation between the neck glass badge dose and the eye lens dose using the DOSIRIS™.

A correct evaluation of the lens dose [Hp(3)] using an eye dosimeter such as DOSIRIS™ is needed for neuro-IR physicians.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We also thank Mr Hajime Osaka and Mr Fumiaki Sasaki and Mr Kazunori Matsumoto from the Department of Radiology and Nuclear Medicine,

Research Institute for Brain & Blood Vessels-Akita, for their invaluable assistance.

## FUNDING

This work was partially supported by a Grant-in-Aid for Scientific Research (No. 16K09029) from the Japan Society for the Promotion of Science. This study was supported in part by the Radiation Safety Research Promotion Fund, Nuclear Regulation Authority, Japan.

## CONFLICTS OF INTEREST

The authors have no conflicts of interest directly relevant to the content of this article.

## REFERENCES

1. Balter, S. and Miller, D. L. *Patient skin reactions from interventional fluoroscopy procedures.* AJR Am. J. Roentgenol. **202**, W335–W342 (2014).
2. International Commission on Radiological Protection. *ICRP publication 85: avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures.* Ann. ICRP **30** (2), 7–67 (2014).
3. Chida, K., Inaba, Y., Saito, H., Ishibashi, T., Takahashi, S., Kohzuki, M. and Zuguchi, M. *Radiation dose of interventional radiology system using a flat-panel detector.* AJR Am. J. Roentgenol. **193**, 1680–1685 (2009).
4. Chida, K., Ohno, T., Kakizaki, S., Takegawa, M., Yuuki, H., Nakada, M., Takahashi, S. and Zuguchi, M. *Radiation dose to the pediatric cardiac catheterization and intervention patient.* AJR Am. J. Roentgenol. **195**(5), 1175–1179 (2010).
5. Chida, K., Takahashi, T., Ito, D., Shimura, H., Takeda, K. and Zuguchi, M. *Clarifying and visualizing sources of staff received scattered radiation in interventional procedures.* AJR Am. J. Roentgenol. **197**, W900–W903 (2011).
6. Duer, L. T., Thornton, R. H., Hay, J. L., Balter, R., Williamson, M. J., St and Germain, J. *Fears, feelings, and facts: interactively communicating benefits and risks of medical radiation with patients.* AJR Am. J. Roentgenol. **196**, 756–761 (2011).
7. Chida, K., Kaga, Y., Haga, Y., Kataoka, N., Kumasaka, E., Meguro, T. and Zuguchi, M. *Occupational dose in interventional radiology procedures.* AJR Am. J. Roentgenol. **200**, 138–141 (2013).
8. Kato, M., Chida, K., Sato, T., Oosaka, H., Tosa, T., Munehisa, M. and Kadowaki, K. *The necessity of follow-up for radiation skin injuries in patients after percutaneous coronary interventions: radiation skin injuries will often be overlooked clinically.* Acta Radiol. **53**, 1040–1044 (2012).
9. International Commission on Radiological Protection. *ICRP publication 120: Radiological protection in cardiology.* Ann. ICRP **42**(1), 1–125 (2013).
10. Chida, K., Saito, H., Zuguchi, M., Shirotori, K., Kumagai, S., Nakayama, H., Matsubara, K. and Kohzuki, M. *Does digital acquisition reduce patients' skin dose in cardiac interventional procedures? An experimental study.* AJR Am. J. Roentgenol. **183**, 1111–1114 (2004).
11. Tsapaki, V. et al. *Radiation exposure to patients during interventional procedures in 20 countries: initial IAEA project results.* AJR Am. J. Roentgenol. **193**, 559–569 (2009).
12. Kato, M., Chida, K., Sato, T., Oosaka, H., Tosa, T. and Kadowaki, K. *Evaluating the maximum patient radiation dose in cardiac interventional procedures.* Radiat. Prot. Dosim. **143**, 69–73 (2011).
13. Chida, K., Saito, H., Otani, H., Kohzuki, M., Takahashi, S., Yamada, S., Shirato, K. and Zuguchi, M. *Relationship between fluoroscopic time, dose-area product, body weight, and maximum radiation skin dose in cardiac interventional procedures.* AJR Am. J. Roentgenol. **186**, 774–778 (2006).
14. International Commission on Radiological Protection. *ICRP publication 118: 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.* Ann. ICRP **41**(1/2), 1–322 (2012).
15. International Commission on Radiological Protection. *ICRP Statement on Tissue Reactions, April 2011,* <http://www.icrp.org/docs/2011%20Seoul.pdf>
16. Huda, W. and Peters, K. R. *Radiation-induced temporary epilation after a neuroradiologically guided embolization procedure.* Radiology **193**, 642–644 (1994).
17. Kuwayama, N., Takaku, A., Endo, S., Nishijima, M. and Kamei, T. *Radiation exposure in endovascular surgery of the head and neck.* AJNR Am. J. Neuroradiol. **15**, 1801–1808 (1994).
18. Livingstone, R. S., Raghuram, L., Korah, I. P. and Raj, D. V. *Evaluation of radiation risk and work practices during cerebral interventions.* J. Radiol. Prot. **23** (3), 327–336 (2003).
19. Moritake, T., Matsumaru, Y., Takigawa, T., Nishizawa, K., Matsumura, A. and Tsuboi, K. *Dose measurement on both patients and operators during neurointerventional procedures using photoluminescence glass dosimeters.* AJNR Am. J. Neuroradiol. **29**(10), 1910–1917 (2008).
20. Hayakawa, M., Moritake, T., Kataoka, F., Takigawa, T., Koguchi, Y., Miyamoto, Y., Akahane, K. and Matsumaru, Y. *Direct measurement of patient's entrance skin dose during neurointerventional procedure to avoid further radiation-induced skin injuries.* Clin. Neurol. Neurosurg. **112**(6), 530–536 (2010).
21. Moritake, T. et al. *Precise mapping system of entrance skin dose during endovascular embolization for cerebral aneurysm.* Radiat. Meas. **46**, 2103–2106 (2011).
22. O'Connor, U., Gallagher, A., Malone, L. and O'Reilly, G. *Occupational radiation dose to eyes from endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures in light of the revised eye lens dose limit from the International Commission on Radiological Protection.* Br. J. Radiol. **86**(1022), 20120289 (2013).
23. O'Connor, U., Walsh, C., Gallagher, A., Dowling, A., Guiney, M., Ryan, J. M., McEniff, N. and O'Reilly, G. *Occupational radiation dose to eyes from interventional radiology procedures in light of the new eye lens dose limit from the International Commission on Radiological Protection.* Br. J. Radiol. **88**(1049), 20140627 (2015).

24. Haga, Y., Chida, K., Kaga, Y., Sota, M., Meguro, T. and Zuguchi, M. *Occupational eye dose in interventional cardiology procedures*. Sci. Rep. 7(569), 1–7 (2017).
25. International Atomic Energy Agency. *Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye*, IAEA TECDOC 1731 (2013).
26. Vanhavere, F. *et al.* *Measurements of eye lens doses in interventional radiology and cardiology: Final results of the ORAMED project*. Radiat. Meas. 46, 1243–1247 (2011).
27. Efstathopoulos, E. P., Pantos, I., Andreou, M., Gkatzis, A., Carinou, E., Koukorava, C., Kelekis, N. L. and Brountzos, E. *Occupational radiation doses to the extremities and the eyes in interventional radiology and cardiology procedures*. Br. J. Radiol. 84, 70–77 (2011).
28. Martin, C. J. and Magee, J. S. *Assessment of eye and body dose for interventional radiologists, cardiologists, and other interventional staff*. J. Radiol. Prot. 33, 445–460 (2013).
29. Koukorava, C., Farah, J., Struelens, L., Clairand, I., Donadille, L., Vanhavere, F. and Dimitriou, P. *Efficiency of radiation protection equipment in interventional radiology: a systematic Monte Carlo study of eye lens and whole body doses*. J. Radiol. Prot. 34, 509–528 (2014).
30. ORAMED.: *Optimization of Radiation Protection of Medical Staff*. EURADOS Report 2012-02, Braunschweig, April, [http://www.eurados.org/~media/Files/Eurados/documents/EURADOS\\_Report\\_201202.pdf](http://www.eurados.org/~media/Files/Eurados/documents/EURADOS_Report_201202.pdf)
31. International Commission on Radiological Protection. *ICRP publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Ann. ICRP 37(2–4), 1–332 (2007).
32. Kato, M., Chida, K., Moritake, T., Koguchi, Y., Sato, T., Oosaka, H., Tosa, T. and Kadowaki, K. *Fundamental study on the characteristics of a radiophotoluminescence glass dosimeter with no energy compensation filter for measuring patient entrance doses in cardiac interventional procedures*. Radiat. Prot. Dosim. 162(3), 224–229 (2014).
33. Kato, M., Chida, K., Moritake, T., Sato, T., Oosaka, H., Toyoshima, H., Zuguchi, M. and Abe, Y. *Direct dose measurement on patient during percutaneous coronary intervention procedures using radiophotoluminescence glass dosimeters*. Radiat. Prot. Dosim. 175(1), 31–37 (2017).

## 9. H29 年度と H30 年度の比較

昨年度の平成 29 年度放射線安全規制研究における、当研究課題である IVR での初期検討データと比較できる項目について、その主な結果を下記に示す。

### (1) IVR 医師

H29 年度と H30 年度は両者ほぼ同様の結果であり、鉛防護メガネ無しの医師は、20mSv/年を超過する危険性が大きく医師は鉛防護メガネの装着が必要であること、さらに鉛防護メガネ有でも IVR 実施件数が多い場合は線量超過の恐れあると思われ注意する必要があることが確かめられた。

また DOSIRIS も頸部バッジも共に左側の線量測定値が明らかに高値を示すこと、DOSIRIS と頸部バッジ測定値は相関するがバラツキも多いことなど、両年度とも同等の結果であった。

### (2) IVR 看護師など

H29 年度と H30 年度は両者概ね同等の結果であった。だが、H30 年度の看護師の DOSIRIS 測定値（平均値）が低値を示す傾向があった。現在この理由について再検討中である。

### (3) 鉛防護メガネの効果

軽量で負担の少ない 0.07mmPb 当量の鉛防護メガネ（ウルトラライト、エクストラワイド、東レ）の実臨床での遮蔽率は、両年度ともにほぼ同等の結果であり、約 60%の遮蔽効果を示した。しかしながら約 50%の遮蔽率の場合もあり、鉛防護メガネの遮蔽能力向上の必要性が示唆された。

### (4) 頸部バッジにおける 3mm線量当量と 70 $\mu$ m 線量当量

両年度ともに、頸部ガラスバッジにおける 70 $\mu$ m 線量当量は頸部ガラスバッジにおける 3mm 線量当量(特別に算出)とほぼ同等の値を示すこと、そして両者は相関があることなどが示唆された。

## 10. 提言

当研究課題を実施した結果、医療分野における水晶体の等価線量限度の国内規制取り入れ・運用のために特に重要を考えられる項目（下記1から3）について以下に示す。

### (1) 医療施設での詳細評価の必要性:IVR 医師数の少ない施設での従事者水晶体被ばくの実態把握

IVR 医師で眼鏡有の場合でも、実施件数が多い場合は水晶体等価線量が 20mSv/年を超過する恐れあることが分かった。IVR 医師数の少ない施設では、少数の医師に IVR 件数（即ち被曝線量）が集中する為、線量限度超過と診療制限が大きく懸念されている。よって医師数の少ない施設での従事者水晶体被ばく実態を明らかにすることは急務である。

そして線量限度超過している場合は、IVR 診療の制限が行われないような配慮、すなわち患者にとって必要な IVR を受けられないことが無いようにするなど、患者に不利益が被らないような対策、措置が必要である。

### (2) 鉛防護具等の積極的な活用と鉛防護具等の高性能化

特に IVR 従事者は、鉛防護具等の積極的な活用によって水晶体等価線量超過を防ぐ必要がある。そのためには放射線防護教育と水晶体線量の実情把握が重要となる。

さらに鉛防護具等の遮蔽能力向上は特に IVR 医師の水晶体防護のためには必須であり、例えば下面の防護対策を行った鉛防護メガネの開発などが重要であり、防護具開発に関する支援策などを講ずることが求められる。

### (3) 水晶体線量計の高性能化

特に IVR 従事者は、正確な水晶体等価線量を評価する必要があるため、なるべく水晶体線量計の装着が必要であると考えられる。

しかしながら現状の水晶体線量計は、装着に関してやや違和感や不便さを訴える従事者もいた。よってより装着しやすいような人間工学的な改良が、水晶体線量計に望まれる。



## 11. さいごに

平成 30 年度は、非血管系 IVR 医療従事者および IVR 以外の医療従事者の水晶体被ばく実態を明らかにすること、非血管系 IVR 医療従事者および IVR 以外の医療従事者の水晶体測定評価方法について妥当な運用方法の基礎的な検討を行うことなどを主に実施した。

さらに平成 29 年度と同様に、血管系 IVR 医療従事者の水晶体被ばく実態の追加測定を行い、血管系 IVR 医療従事者の水晶体測定評価方法について、妥当な運用方法を検討した。

また有効な被ばく防護対策検討および詳細な被ばく状況把握のため被曝線量のリアルタイム測定と時系列分析を実施した。

IVR 医師は、血管系 IVR および非血管系 IVR とともに、鉛防護メガネ不使用時は新しい水晶体等価線量限度を超過する危険性が高いこと、さらに鉛防護メガネ使用時でも IVR 実施件数が多い場合は新しい水晶体等価線量限度を超過する場合が想定されることなどを確認できた。

また IVR 医師に関して、水晶体線量が頸部バッジの値と乖離する可能性が示唆されたため、左眼近傍に水晶体線量計を着用して、水晶体線量を評価すべきであると考えられる。

看護師の水晶体被ばくは医師のそれよりは低線量であり、20mSv/年を超過する危険性が少ないと思われた。だが特にオーバーテーブル X 線装置使用時は水晶体線量が高くなる傾向を示し、看護師においても水晶体被ばく防護の最適化は重要であることなどが分った。

また看護師の水晶体線量は、頸部バッジの値を用いて管理可能な場合が多いと考えられた。

IVR 医師の水晶体被ばく防護策としては、天吊り防護板を散乱線源と自身の眼の間に入るように設置し、さらに鉛防護メガネ等の防護具を追加で使用するのが有効と考えられた。看護師は X 線照射中に不必要に患者に近づかないように注意すべきであると考ええる。

当研究によって上記のような、一定の成果および有用な知見を得ることができた。以上から、平成 30 年度の当研究の実施については、概ね計画通り実施できていると考える。

表 20 に、当研究結果から得られた概要を示す。

表 20. 鉛防護メガネと眼の近傍での測定の必要性に関するまとめ

	鉛防護メガネ	眼の近傍での測定
IVR 医師	必要	必要
IVR 看護師	場合により必要 <sup>*1</sup>	場合により必要 <sup>*1</sup>
上記以外	原則として不要 <sup>*2</sup>	原則として不要 <sup>*2</sup>

<sup>\*1</sup> 患者との距離が近いときや件数が多いときは必要な場合もあると思われる。

<sup>\*2</sup> ただし線量が多くなると予想されるときは検討を要する。

今後、さらに詳細な分析や解析等を重ねて、そして学会等での発表や論文投稿などにより、当研究成果の公表に努める所存である。

そして、IVR 従事者において、水晶体被ばく防護の最適化の推進に貢献したと考える。

付言するが、IVR 従事者のように放射線防護衣(鉛プロテクタ)を着て作業を行っている際は、著しく不均等な被ばくを受けている可能性が高い。

よって IVR 従事者は、鉛プロテクタの内側と外側に、複数個の個人線量計を装着し、不均等被ばく評価を行う必要がある。鉛プロテクタ内側に 1 つのみ装着した個人線量計測定値で、水晶体等価線量の評価を行うことは避けなければならない。

今後は、水晶体の等価線量限度の国内規制取り入れ・運用のためのガイドライン案の作成検討が急務であり、それに寄与したいと考える。

## 12. 参考文献

1. ICRP Statement on Tissue Reactions (2011), <http://www.icrp.org/page.asp?id=123>.
2. International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2012) ICRP statement on tissue reactions/early and late effects of radiation in normal tissue and organs, threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2).
3. International Commission on Radiological Protection (ICRP). (1991) 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3).
4. 千代田テクノル (2018) 平成 29 年度 個人線量の実態、FBNews No. 501、6-11.
5. 長瀬ランダウア (2018) 2017 年度 眼の水晶体等価線量の集計、NL だより No. 491、2.
6. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2013) Implications for occupational radiation protection of the new dose limit for the lens of the eye. IAEA TECDOC No. 1731.
7. Vanhavere, F., Carinou, E., Gualdrini, G., Clairand, I., Sans-Merce, M., Ginjaume, M., Nikodemova, D., Jankowski, J., Bordy, J. M., Rimpler, A., Wach, S., Martin, P., Struelens, L., Krim, S., Koukorava, C., Ferrari, P., Mariotti, F., Fantuzzi, E., Donadille, L., Itie, C., Ruiz, N., Carnicer, A., Fulop, M., Domienik, J., Brodecki, M., Daures, J., Barth, I. and Bilski, P. (2012) ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff. EURADOS Report 2012-02.
8. Chida, K., Morishima, Y., Inaba, Y., Taura, M., Ebata, A., Takeda, K., Shimura, H., and Zuguchi, M. (2012) Physician-received scatter radiation with angiography systems used for interventional radiology: comparison among many x-ray systems. *Radiat. Prot. Dosim.*, **149**(4) 410-416.

9. Chida, K., Takahashi, T., Ito, D., Shimura, H., Takeda, K. and Zuguchi, M. (2011) Clarifying and visualizing sources of staff-received scattered radiation in interventional procedures. *Am. J. Roentgenol.*, **197**(1), W900-W903
10. 石井浩生、薩來康、上杉直人、加藤慎子、三戸麻莉菜、宮田恒平、稲葉洋平、千田浩一 (2017) 新型半導体式サーベイメータの基本特性に関する検討、日本放射線安全管理学会誌、17(1)、2-8.
11. 石井浩生、薩來康、上杉直人、加藤慎子、三戸麻莉菜、宮田恒平、芳賀喜裕、稲葉洋平、千田浩一 (2018) 二種類の異なる半導体式サーベイセンサの基本特性比較、東北大学医学部保健学科紀要、27(1)、43-50.
12. 薩來康、石井浩生、芳賀喜裕、加賀勇治、佐藤文貴、本田崇文、稲葉洋平、千田浩一 (2018) 半導体式サーベイメータの散乱 X 線平均エネルギー測定精度の基礎検討、日本放射線安全管理学会誌、17(2)、114-120.
13. Balter, S. & Miller, D. L. (2014) Patient skin reactions from interventional fluoroscopy procedures. *Am. J. Roentgenol.*, **202**, W335-W342.
14. Kato, M., Chida, K., Sato, T., Sato, T., Oosaka, H., Tosa, T. and Kadowaki, K. (2011) Evaluating the maximum patient radiation dose in cardiac interventional procedures. *Radiat. Prot. Dosim.*, **143**(1), 69-73.
15. Chida, K., Kato, M., Inaba, Y., Kobayashi, R., Nakamura, M., Abe, Y. and Zuguchi, M. (2016) Real-time patient radiation dosimeter for use in interventional radiology. *Phys. Med.*, **32**(11), 1475-1478.
16. Chida, K., Kaga, Y., Haga, Y., Kataoka, N., Kumasaka, E., Meguro, T. and Zuguchi, M. (2013) Occupational dose in interventional radiology procedures. *Am. J. Roentgenol.*, **200**(1), 138-141.
17. Vano, E., Kleiman, N. J., Duran, A., Rehani, M. M., Echeverri, D. and Cabrera, M. (2010) Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat. Res.*, **174**(4), 490-495.
18. Ciraj-Bjelac, O., Rehani, M. M., Sim, K. H., Liew, H. B., Vano, E., Kleiman, N. J. (2010) Risk for radiation induced cataract for staff in

- interventional cardiology: is there reason for concern? *Catheter. Cardiovasc. Interv.*, **76**(6), 826-834.
19. Donadille, L., Carinou, E., Brodecki, M., Domienik, J., Jankowski, J., Koukorava, C., Krim, S., Nikodemova, D., Ruiz-Lopez, N., Sans-Merce, M., Struelens, L., Vanhavere, F. and Zaknounge, R. (2011) Staff eye lens and extremity exposure in interventional cardiology: Results of the ORAMED project. *Radiat. Meas.*, **46**, 1203-1209.
  20. Vano, E., Kleiman, N. J., Duran, A., Romano-Miller, M. and Rehani, M. M. (2013) Radiation-associated lens opacities in catheterization personnel: results of a survey and direct assessments. *J. Vasc. Interv. Radiol.*, **24**, 197-204.
  21. O' Connor, U., Walsh, C., Gallagher, A., Dowling, A., Guiney, M., Ryan, J. M., McEniff, N. and O' Reilly, G. (2015) Occupational radiation dose to eyes from interventional radiology procedures in light of the new eye lens dose limit from the International Commission on Radiological Protection. *Br. J. Radiol.*, **88**(1049).
  22. Vano, E., Gonzalez, L., Beneytez, F., Moreno, F. (1998) Lens injuries induced by occupational exposure in non-optimized interventional radiology laboratories. *Br. J. Radiol.*, **71**, 728-733.
  23. International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2001) Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30/2.
  24. Haskal, Z. J. and Worgul, B. V. (2004) Interventional radiology carries occupational risk for cataracts. *RSNA News*, **14**, 5-6.
  25. 放射線審議会眼の水晶体の放射線防護検討部会 (2017) 眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について、第7回放射線審議会眼の水晶体の放射線防護検討部会 資料 1-1.