

令和元年6月13日現在

機関番号：33916

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K10331

研究課題名(和文) IVR医療スタッフの水晶体被ばく防護のより良い最適化方法に関する研究

研究課題名(英文) Optimization of radiation protection for medical staff during interventional radiology; Radiation protection for the lens of the eye

研究代表者

横山 須美 (Yokoyama, Sumi)

藤田医科大学・保健学研究科・准教授

研究者番号：20354699

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：2011年4月にICRPが計画被ばく状況における職業人の眼の水晶体の新しい等価線量限度を勧告したことから、本研究では、医療スタッフの中でも被ばく線量が高いことが予想されているインターベンショナルラジオロジー(IVR)に携わる医療スタッフの水晶体被ばく線量を人体を模擬したファントムを用いた実験的研究及び、実際の臨床現場における医療スタッフの線量測定を行うといった両面から研究を進めてきた。結果、既存の防護具等を適切に使用することにより被ばく低減が可能で、法令を遵守できることを明らかにした。また、データベースを作成し、線量と防護方法を可視化することを試みた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

医療従事者の中でも比較的被ばく線量が高いとされるIVR術者の水晶体の等価線量評価法を確立し、線量の実態を把握、あわせて既存の防護方法での被ばく低減の可能性を示すことで、わが国の規制において水晶体の等価線量限度が引き下げられた場合にも、より現実的な方法により、規制運用に迅速対応でき、法令遵守を可能にすることができるものと考えられる。また、防護プログラムの開発により、医療従事者の放射線防護への意識を高めることができ、より被ばく低減が進むものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The ICRP recommended a new dose limit to the lens of the eye for workers in planned exposure situations in April 2011. This study objective is to optimize radiation protection for the lens of the eye for medical staff such as interventional radiologists who are high dose level workers. Research has been carried out from both the experimental research using phantoms to estimate the dose for the medical staff, and the dose measurement for medical staff at the actual clinical fields. As a result, the dose to the lens of the eye for the IVR medical staff can be reduced by appropriately using existing protective, although it is higher than that for other worker. Thus medical staff would achieved compliance with new ICRP dose limit to the lens. We also tried to develop a database for the dose and protection of the IVR medical staff to make them learn easy protection methods.

研究分野：放射線防護

キーワード：IVR 水晶体 被ばく低減 防護 最適化

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 2011年4月国際放射線防護委員会（ICRP）は組織反応に関する声明を発表し、眼の水晶体の等価線量限度は5年間の年間平均20 mSv、かつ1年間あたり50 mSvを超えないようにすべきと勧告した<sup>1)</sup>。この線量限度は国際原子力機関（IAEA）の国際基本安全基準（BSS）にも取り入れられた<sup>2,3)</sup>。

(2) 欧州では、医療スタッフの放射線防護の最適化に関する研究プロジェクトが開始され<sup>4)</sup>、医療スタッフの被ばくの実態調査、被ばく低減手法や線量評価手法等に関する数多くの関連研究が実施されていた。このほかにも、低線量放射線影響研究や放射線誘発白内障に関する疫学調査研究の分析が行われていた<sup>1,5)</sup>。

(3) わが国では、循環器（心血管）疾患の患者に対するIVRによる診断や治療による被ばくに関しては、関連学会等においてガイドライン等が作成されていた。この中で医療スタッフの水晶体の被ばくに関する指摘がなされていたが、定性的な記述にとどまっていた。また、医療スタッフの水晶体被ばくに関する学会発表はあったが、詳細な解析がなされているものは数少なかった。

### 2. 研究の目的

(1) わが国独自の調査により、特に被ばく線量が高い可能性があるIVR診断・治療に携わる医療スタッフに対するより良い防護の最適化手法を探ることとし、以下のことを目的とした。

- ① 被ばく線量とこれに影響を与える要因（手技内容、撮影条件、術者立ち位置等）との関係性を明らかにする。
- ② IVR医療スタッフが実現可能な被ばく低減のあり方を提案するとともに有用性を探る。

### 3. 研究の方法

(1) IVR医療スタッフの被ばく防護に関する研究を文献調査し、測定・分析手法等を検討した。国際国内機関の規制動向を調査し、規制遵守のための適切な防護策を検討した。

(2) IVR医療スタッフ（循環器内科医及び放射線科医）に小型の光刺激ルミネッセンス（OSL）積算型線量計を着用し線量を測定するとともに、手技内容、立ち位置、撮影条件等の情報も合わせて取得した。スタッフ立ち位置及び線量計を着用した様子を図1及び2に示す。

(3) 臨床機を用いて、患者及び医療スタッフ用の人体模型（ファントム）を使用して、撮影条件、X線スペクトル測定・分析、線量計間比較、防護具の種類や設置場所、術者身長等の違いを調べた。術者模擬ファントム及び患者模擬ファントムを設置及び線量計を装着した様子を図3及び4に示す。



図1 術者立ち位置（模擬）



図2 スタッフが線量計を装着した様子



図3 ファントム実験の様子



図4 ファントムに線量計を装着した様子

(4) 一般的な PC (OS : Microsoft Windows 10 64bit, CPU : Intel Celeron G3930, 実装メモリ : 4GB) 及び計算ソフト (Microsoft Office 365 : Microsoft Excel) を使用し、防護教育プログラム (データベース) の作成を試みた。

#### 4. 研究成果

(1) OSL 線量計を用いて心臓 IVR 術者 (術者 A 及び術者 B) の測定を行った撮影条件を表 1 に示す。これらの手技に携わった医師の防護眼鏡外側及び内側の線量を測定した結果 (OSL 読み値) を図 1 に示す。ここでは CAG 検査を行った場合のみを測定した。管球に違い左側の線量のみを図示した。防護眼鏡は 0.07mmPb のものを使用した。この結果、防護眼鏡の外側の線量に対する内側の線量は、平均で  $0.39 \pm 0.09$  となった。X 線スペクトル測定結果から得られた X 線の実効エネルギーから防護眼鏡の遮蔽率を計算したところ、ほぼ等しい結果となった。また、診断・治療を実施した心臓 IVR に携わる医療スタッフ (術者) の防護眼鏡外側、内側、頸部、胸部、腰部の線量を測定した結果、X 線管球に近い左側面の防護眼鏡外側、頸部、胸部、腰部の線量が高く、防護眼鏡左側面の外側と内側では、図 1 の場合と同様、左外側が内側の 3 倍となった。

(2) 0.07mPb の眼鏡装着時のファントムの線量測定結果は、医療スタッフの測定と同様に X 線管球のある左側面が全体的に高く、左側面の眼鏡の内側/外側の比は、0.37 から 0.66 であった。防護板を使用した場合の線量低減率についても測定を行った結果、防護板の内側の線量は防護板を標準位置に設置した場合も斜めに設置した場合も外側に比べて 90% 低下した<sup>6)</sup>。

防護眼鏡内側の線量が十分に低下しない場合がある原因として、眼鏡の隙間から散乱線が入射するためと考えられる。既存の防護眼鏡でも、水晶体の線量低減に効果的であるが、たとえ遮蔽率が高い防護眼鏡を使用した場合でも、すき間から散乱線が入射することにより、その効果が十分に得られない場合があることに注意する必要がある。同様に、防護板についても、本実験のように適切な位置に設置すれば既存のものでも水晶体の等価線量を大幅に低減することができるが、患者と防護板の位置が離れてしまった場合等、十分な遮蔽効果が得られない場合があることに注意しなければならない。

(3) OSL 線量計でも水晶体の等価線量 (3 mm 線量当量) を評価できるよう、ファントムの左側面、左眼に 3 mm 線量当量測定用の熱ルミネッセンス線量計 (TLD) と OSL 線量計を装着し、ファントムの顔の角度を  $-30^\circ$  から  $60^\circ$  まで変化させて、これらの読み値を比較し、換算係数を算出した。表 2 に示すとおり、換算係数は、 $0.63 \pm 0.06$  となった。この値は、術者でも同様の測定を行った結果と大きな違いはなかった<sup>7)</sup>。この換算係数を用いて OSL 線量計の読み値を補正することで、心臓 IVR の医療スタッフの水晶体の等価線量を算定することが可能となった。

表 1 CAG 及び PCI 等の撮影条件

ID (Num. Cases)	Procedure	Position	Fluo. Time	Num. of	Num. of	Voltage	Current	DAP
		1st / 2nd	(min)	Exposures	Images	(kV)	(mA)	(mGy.cm <sup>2</sup> )
A-1(2)	CAG	2nd	3	17	1284	73.4	690	26923
	CAG	1st	15.6	27	1597	80.8	820	56077
A-2(2)	CAG	2nd	27.6	11	869	83.3	792	53975
	CAG	1st	15.6	12	1415	82.4	755	46300
B-1(3)	CAG+ Biopsy	2nd	13.5	9	855	93.7	685	68105
	CAG	2nd	12.5	10	1020	87.9	745	52161
	CAG	1st	11.3	10	750	85.4	708	25997
	CAG	2nd	12.8	2	55	80	-	11197
B-2(4)	CAG	1st	27.6	11	869	83.3	792	53975
	CAG	1st	12.6	10	717	88.4	716	38631
	CAG	1st	14.1	27	1163	92.3	685	43361
Average			15.1±6.7	11.9±7.3	943±394	84.6±5.5	671±216	43337±15707

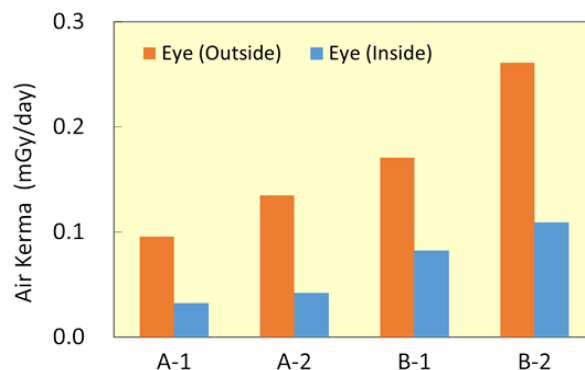


図 5 防護眼鏡外側及び内側の線量

表 2 3mm 線量当量測定用 TLD/OSL 比

Face directions	OSLD(mGy)			TLD (mSv)			TLD/OSLD (mSv/mGy)		
	L-Face <sup>1</sup>	L-Eye <sup>2</sup>	L-Face L-Eye	L-Face <sup>1</sup>	L-Eye <sup>2</sup>	L-Face L-Eye	L-Face <sup>1</sup>	L-Eye <sup>2</sup>	
-30°	0.84	0.97	0.86	0.60	0.63	0.95	0.71	0.65	
0°	0.87	0.93	0.94	0.53	0.51	1.1	0.61	0.55	
30°	0.83	0.82	1.0	0.53	0.47	1.1	0.64	0.57	
60°	0.70	0.22	3.3	0.43	0.15	2.9	0.61	0.69	
Average								0.63 ± 0.06	

(4) ファントム実験及び合わせて測定した空間線量分布のデータの一部を使用して、線量分布の違いから部屋を大きく3つに分け、第1術者、第2術者及び看護師の立ち位置の線量を評価できるようにした。表示画面には、1回あたりの水晶体の等価線量(左眼)のほか、防護眼鏡着用時の線量、これらの値とICRPの新しい水晶体の等価線量限度から算定した月間及び年間の手技実施可能回数を表示できるようにした。

これは簡易的なプログラムであるが、最も被ばく線量の高い管球に近い第一術者の線量を把握し、それ以外のスタッフの線量のめやすを可視化することを可能としたことで、医療スタッフの防護意識を高めることができるものと考えられる。

今後は、これまでに取得した医療スタッフのデータ、ファントム実験のデータや今後も継続してデータを取得することで、さらにデータベースを充実させ、より実効的なプログラムの開発を目指す。

<引用文献>

- ① ICRP, ICRP Publication 118 (2011).
- ② IAEA, Safety Standards Series No. GSG-1.3(2014)
- ③ IAEA, IAEA TECDOC-1731(2013).
- ④ F. Vanhavere et al., EURADOS Report 2012-02 (2011).
- ⑤ ICRP, Publication 139 (2018)他
- ⑥ S.Yokoyama et al., Radiation Dose to the Lens of the Eye of Interventional Cardiologists and the Effect of Protectors on Dose Reduction, AOCRP 5 2018年5月.
- ⑦ S. Yokoyama et al., Evaluation of eye lens doses of Interventional cardiologists., Radiat. Prot. Dosim. 173(1-3), 218-222 (2017).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① S.Yokoyama, N.Hamada and N.Tsujimura, Recent discussions toward regulatory implementation of the new occupational equivalent dose limit for the lens of the eye and related studies in Japan., 査読有, in press.  
https://doi.org/10.1080/09553002.2019.1605464
- ② S.Yokoyama, Sh.Suzuki, H.Toyama (他4名), Evaluation of eye lens doses of Interventional cardiologists, Radiat. Prot. Dosim. 査読有, 173(1-3), 218-222 (2017).  
doi:10.1093/rpd/new321
- ③ S.Yokoyama, T.Kurosawa, H.Toyama (他13名), Current situations and discussions in Japan in relation to the new occupational equivalent dose limit for the lens of the eye, 査読有, J. Radiol. Prot. 37 659-683 (2017).  
https://doi.org/10.1088/1361-6498/aa73e8

[学会発表] (計5件)

- ① S.Yokoyama, T.Kurosawa (他8名), Radiation Dose to the Lens of the Eye of Interventional Cardiologists and the Effect of Protectors on Dose Reduction, AOCRP 5 2018年5月.
- ② 横山須美(他5名), 心臓カテーテル検査を行う術者の水晶体被ばく一防護具の有用性に関する検討一, 日本保健物理学会第50回研究発表会, 大分, 2017年6月.
- ③ 横山須美(他6名), 心臓カテーテル検査を行う術者を模擬したファントム実験ー3mm線量当量への換算に関する検討一, 日本保健物理学会第49回研究発表会, 弘前, 2016年6月.
- ④ S.Yokoyama Sh.Suzuki, H.Toyama(他4名), Evaluation of eye lens dose of interventional cardiologists, The 14th Congress of the International Radiation Protection Association, ケープタウン 2016年5月.
- ⑤ T.Kurosawa, M.Kato and S.Yokoyama, Measurements of photon spectra around IVR for the evaluation of eye-lens dose, The 14th Congress of the International Radiation

Protection Association, ケープタウン, 2016年5月.

〔図書〕 (計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：黒澤 忠弘

ローマ字氏名：(KUROSAWA, Tadahiro)

所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所

部局名：分析計測標準研究部門

職名：グループ長

研究者番号 (8桁)：90356949

### (2) 連携研究者

連携研究者氏名：外山 宏

ローマ字氏名：(TOYAMA, Hiroshi)

連携研究者氏名：鈴木 昇一

ローマ字氏名：(SUZUKI, Shoichi)

連携研究者氏名：加藤 良一

ローマ字氏名：(KATO, Ryoichi)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。