

循環器内科医師における眼の水晶体の 職業被ばくの評価 —法規制と運用に係る課題の抽出—

*Occupational Radiation Exposure of the Lens of the Eye in Cardiovascular Physician
—Extraction of issues related to legal regulations and operations—*

新井 知大¹⁾, 小野 孝二²⁾, 若松 和行³⁾, 山口 一郎⁴⁾, 櫻田 尚樹⁵⁾

- 1) 駒澤大学, 博士 (保健衛生学)
- 2) 東京医療保健大学, 博士 (工学)
- 3) 国立国際医療研究センター病院
- 4) 国立保健医療科学院 (医師)
- 5) 産業医科大学 (医師), 博士 (医学)

Key words: Occupational Radiation Dose, Hp (3), Lens of the Eye, Cardiovascular Physician, Equivalent dose Limit

【Abstract】

This study investigated radiation protection eyewares with attachable personal dosimeters that measure 3 mm dose equivalent near the eyes and evaluated the reduction in exposure achieved by wearing such an eyewear as well as the comfort of wearing such dosimeters regarding medical procedures. In addition, issues resulting from the introduction of such dosimeters following the amendment of associated laws and regulations were extracted. Participation in this study increased awareness of occupational exposure and led to more thorough radiation safety management. However, there were concerns about increased costs and additional administrative tasks associated with such monitoring. To conduct radiation management smoothly in actual clinical practice, we would like to solve the problem by collecting evidence over a long period of time and cooperation with academic associations.

【要旨】

本研究では、眼の近傍の3 mm線量当量を測定する個人線量計を設置した放射線防護眼鏡を用い、放射線防護眼鏡の被ばく低減効果、および個人線量計が医療手技や装着感に及ぼす影響について現場医師を対象に調査し、関連法令改正後の運用で予想される課題を抽出した。本研究に参加することにより、現場医師の職業被ばくに関する認識が高まり、放射線安全管理の徹底につながった。しかしながら、このようなモニタリングの実施により、経済的コストや管理業務が増加することが懸念された。医療現場の円滑な放射線管理業務を実施するために、エビデンスの長期的な収集を行うとともに、学協会と連携することで課題解決に努めたい。

1 緒 言

放射線は、一般撮影検査、放射線画像下治療（以下、IVR検査）、および放射線治療などで利用され、その利用実績は年々増加傾向にある¹⁾。本邦において、このような診療行為に伴う放射線被ばくは、国際的な平均値の約6倍と高く、医療水準が高い欧米などの先進国と比較しても約2倍と高いことが知ら

れている²⁾。医療従事者の被ばく（以下、職業被ばく）は、法令や各関係機関のガイドラインなどで規制されている。2011年、国際放射線防護委員会は、疫学調査研究の報告に基づき、放射線誘発白内障のしきい線量を「8 Gy以上」から「0.5 Gy」に変更するとともに、職業被ばくにおける眼の水晶体（以下、水晶体）の等価線量限度を5年間の年間平均線量で20 mSv（単年度当たりで50 mSv）に引き下げる声明を発表し³⁾、また組織反応に関する科学的根拠についてPublication 118によって勧告した⁴⁾。国際原子力機関のRadiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standardsにおいても水晶体等価線量限度に関する記載が新たに取り入れられており⁵⁾、さらに技術文書であるTECDOC No.1731においても眼の近傍での線量評価の実施が推奨されている⁶⁾。放射線を使用した医療手技は高い専門技術を要し、特定の医療従事者が長年にわたり長時間かつ高頻度で行う可能性が高いため、上記変更後の限度を超えた線量を被ばくする恐

ARAI Tomohiro, R.T., Ph.D.¹⁾,
ONO Koji, R.T., Ph.D.²⁾,
WAKAMATSU Kazuyuki, R.T.³⁾,
YAMAGUCHI Ichiro, M.D.⁴⁾,
KUNUGITA Naoki, M.D., Ph.D.⁵⁾

- 1) Komazawa University
- 2) Tokyo Healthcare University
- 3) National Center for Global Health and Medicine
- 4) National Institute of Public Health
- 5) University of Occupational and Environmental Health, Japan

Received January 17, 2021; accepted November 4, 2021

れがある⁷⁾。一方で職能団体は、水晶体の等価線量を正確に評価することに伴う医療手技の妨げも危惧している^{8,9)}。

本邦においても、大きく3つの事項(①水晶体の等価線量の算定として3 mm線量当量測定を選択肢として追加する②水晶体の等価線量限度を5年間につき100 mSv、1年間につき50 mSvと変更する③水晶体の5年間の合計等価線量の記録を追加する)について関係法令の改正が行われた¹⁰⁻¹³⁾。これに並行し、日本保健物理学会は、水晶体の等価線量モニタリングに関する基本的な考え方を取りまとめた¹⁴⁾。また眼の近傍での評価法を取り入れた水晶体被ばくの実態調査が医療機関において実施され、放射線防護眼鏡の遮へい効果を含む評価結果が報告されている¹⁵⁻¹⁸⁾。国立国際医療研究センター病院(以下、当該施設)が前年度(2019年4月~2020年3月)の院内における職業被ばくを調査したところ、被ばく線量が高い上位5人が循環器内科に所属し、インターベンショナルラジオロジー画像下血管内治療を行う医師であった。

本研究では、眼の近傍の3 mm線量当量を測定するために、長瀬ランダウア株式会社が開発したバッジ型個人線量計を試験運用することで¹⁹⁾放射線防護眼鏡の被ばく低減効果を検討し、またその使用が医療手技に及ぼす影響や装着感などを評価し、関連法令等の施行後の運用を見据えた課題を抽出することを目的とする。

2 方法

本研究では、当該施設の循環器内科医師5人(放射線業務従事者として登録済み)を対象とした。本研究は、当該施設の倫理審査委員会の承認(承認番号: NCGM-G-003656-00)を受けて実施した。

2-1 水晶体被ばくに関する意識調査

単純択一形式の5問(「前月の水晶体等価線量の認識について」「前年度の水晶体等価線量の認識について」「IVR検査などを実施する際の放射線防護眼鏡の着用の有無について」「現行の水晶体等価線量限度の規制値の把握について」、および「法令改正後の水晶体等価線量限度の規制値の把握について」)から構成される質問票を作成した。回答内容と対象医師を特定できる情報が結び付かないように匿名処理を行った。

2-2 眼の近傍の個人線量当量評価

2020年10月から11月までの1カ月間、放射線を用いた検査および治療手技を行う間の眼近傍の深さ3 mmでの個人線量当量Hp(3)を、個人線量計ビジョンバッジ(長瀬ランダウア株式会社、発売前試験運用)を用いて評価した。ビジョンバッジは、総重量約1 gの熱ルミネセンス素子で構成され、眼の近傍のHp(3)を測定線量範囲0.1 mSv~1,000 mSvで測定できる。対象医師は、水晶体の放射線防護策として、天吊型X線防護用遮へい板(MAVIG, OT8000, 0.50 mmPb)および放射線防護眼鏡(パノラマシールド・オーバークラス:東レ・メディカル株式会社, HF-480S, 0.07 mmPb)を着用した。ビジョンバッジを放射線防護眼鏡の左右の内側および外側(計4カ所)に設置した(Fig.1)。0.25 mm鉛当量の頸部用放射線防護衣(ネックガード:株式会社保科製作所)の外側に、蛍光ガラス線量計(株式会社千代田テクノ)を装着して深さ70 μmでの個人線量当量Hp(0.07)を測定し、水晶体の等価線量の参考値とした。対象医師が使用した機器は、X線検出器フラットパネルディテクター搭載型バイプレーン血管撮影装置Philips Allura xper FD10/10(株式会社フィリップス・ジャパン)であった。冠動脈造影の撮影条件は15 frames/s, 15 pulses/sであった。基本的な撮影はBiplaneで行い、フラットパネルディテクターサイズは8 inchであった。撮影角度は右冠動脈撮影で計3方向、左冠動脈撮影では計6方向を基本としていた。眼の近傍のHp(3)と頸部Hp(0.07)の関係の評価には回帰分析を使用し、有意水準は0.05とした。統計解析にはJMP Version 14(SAS Institute Japan)を用いた。



Fig.1 Images of the lens dosimeter

2-3 装着所感などのヒアリング調査

対象医師5人に、水晶体被ばくに関する意識調査の結果と、眼の近傍の個人線量当量評価の結果を説明した。その上で、ビジョンバッジの装着時の重さや視認性に関する所感、眼の近傍の個人線量当量評価を追加的に実施することについて、また今後のHp(3)を測定する線量計の装着の必要性についての個人的意見についてヒアリングを実施した。

3 結果

3-1 水晶体被ばくに関する意識調査

対象医師5人のうち、前月に記録された水晶体等価線量を把握していた者は1人 (Fig.2-a)、前年度に記録された水晶体等価線量を把握していた者は2人であった (Fig.2-b)。IVR検査などを実施する際に、放射線防護服、放射線防護板、および防護カーテンなどの放射線防護策を講じた上で、放射線防護眼鏡を「必ず着用している」と回答した者は4人、「時々着用する」と回答した者は1人であった (Fig.2-c)。現行の水晶体の等価線量限度の規制値 (単年度当たり150 mSv) を正しく把握している者は2人であった (Fig.2-d)。法令改正後の水晶体の等価線量の規制値 (5年間の年間平均線量で20 mSvかつ単年度当たりで50 mSv) を正しく把握している者は3人であった (Fig.2-e)。

3-2 眼の近傍の個人線量当量評価

対象医師5人が1カ月間に実施した検査および治療手技は、冠動脈造影・経皮的冠動脈形成術・経皮的動脈形成術・ペースメーカー移植術などであり、症例数は合計84例であった。放射線防護眼鏡の着用率は、4人で100%、1人で67%であった。眼の近傍のHp(3)は、ビジョンバッジを放射線防護眼鏡の左外側、左内側、右外側、および右内側に付けた場合、それぞれ、医師1で0.4 mSv、0.2 mSv、0.1 mSv、および0.1 mSv (Fig.3-a)、医師2で0.4 mSv、0.2 mSv、0.0 mSv、および0.2 mSv (Fig.3-b)、医師3で1.2 mSv、0.6 mSv、0.3 mSv、および0.4 mSv (Fig.3-c)、医師4で0.6 mSv、0.4 mSv、0.1 mSv、および0.1 mSv (Fig.3-d)、医師5で0.8 mSv、0.4 mSv、0.3 mSv、および0.2 mSvであった (Fig.3b-e)。このとき、放射線防護眼鏡の外側で測定されたHp(3)は、左側が右側よりも平均 $74 \pm 19\%$ 高くなっており、左側で測定されたHp(3)は、内側が外側より平均 $47 \pm 7\%$ 低くなっていた。同期間に測定された頸部Hp(0.07)は、医師1から5の順に、0.4 mSv、0.5 mSv、1.4 mSv、0.7 mSv、1.2 mSvであった。

眼の近傍左側Hp(3)と頸部Hp(0.07)についての回帰分析の結果、ビジョンバッジを放射線防護眼鏡の外側に装着した場合、決定係数 $R^2 = 0.9197$ 、 $p < 0.01$ 、傾き0.7306、切片0.0663であり、一方、放射線防護眼鏡の内側に装着した場合は、相関係数 $R = 0.9114$ 、

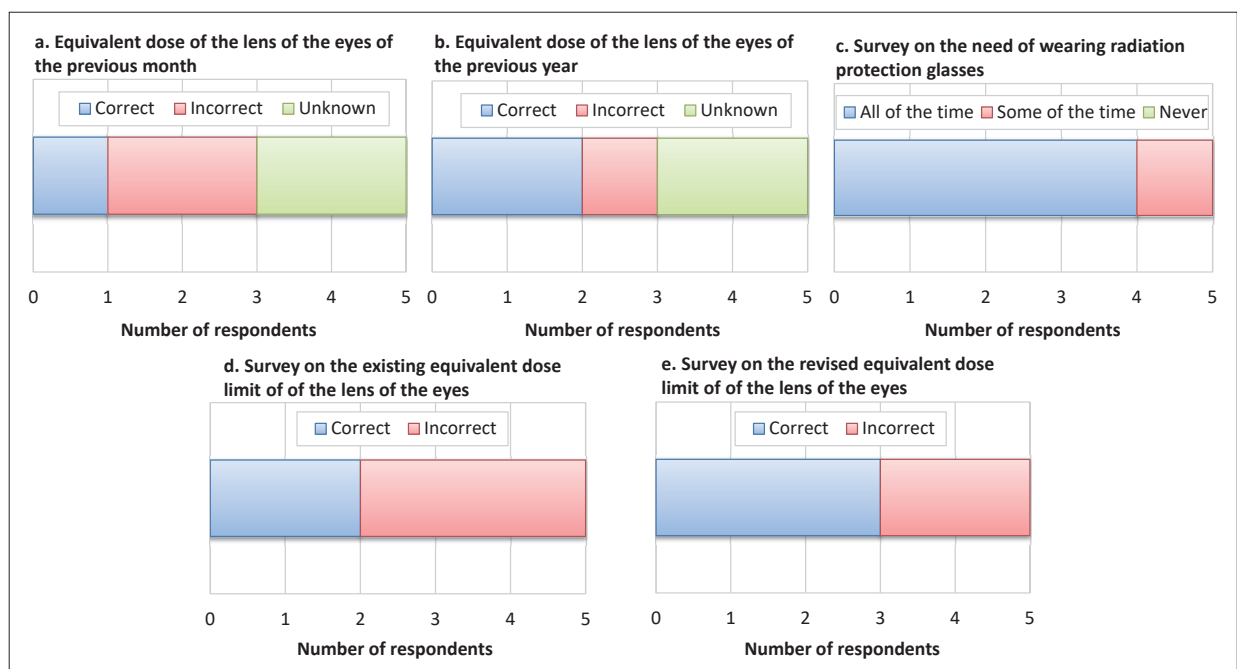


Fig.2 Survey on the awareness of radiation exposure to the lens of eyes

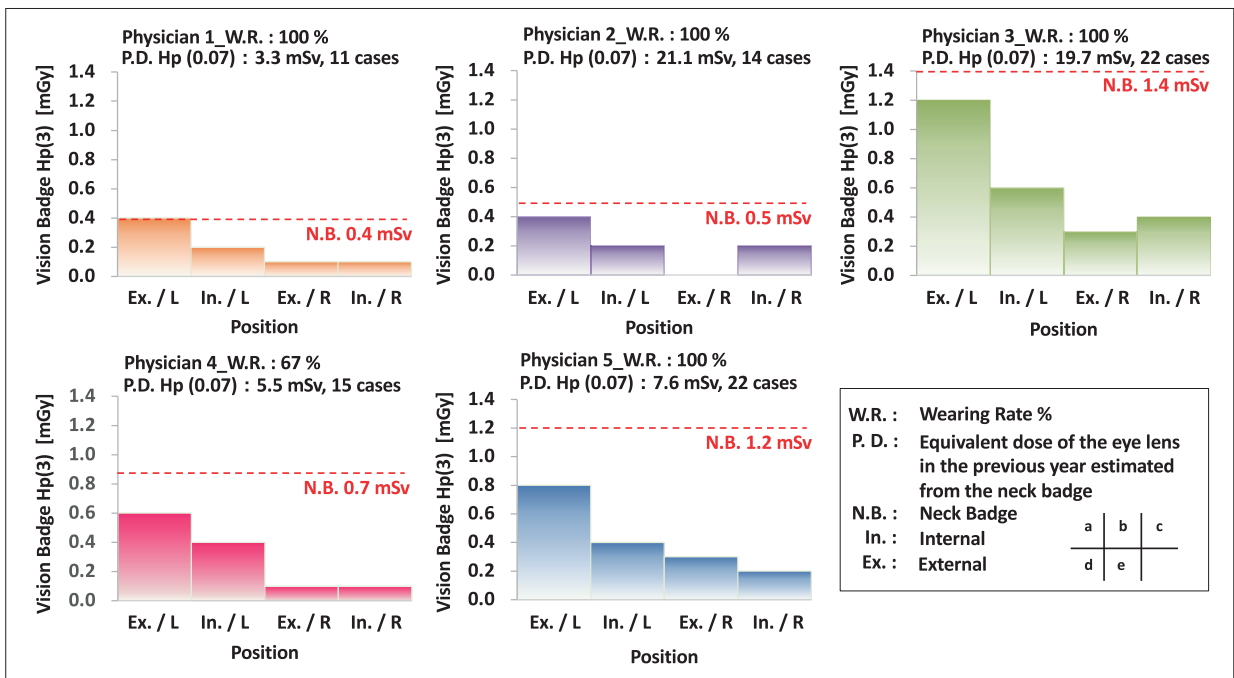


Fig.3 Evaluation of individual doses near the eyes

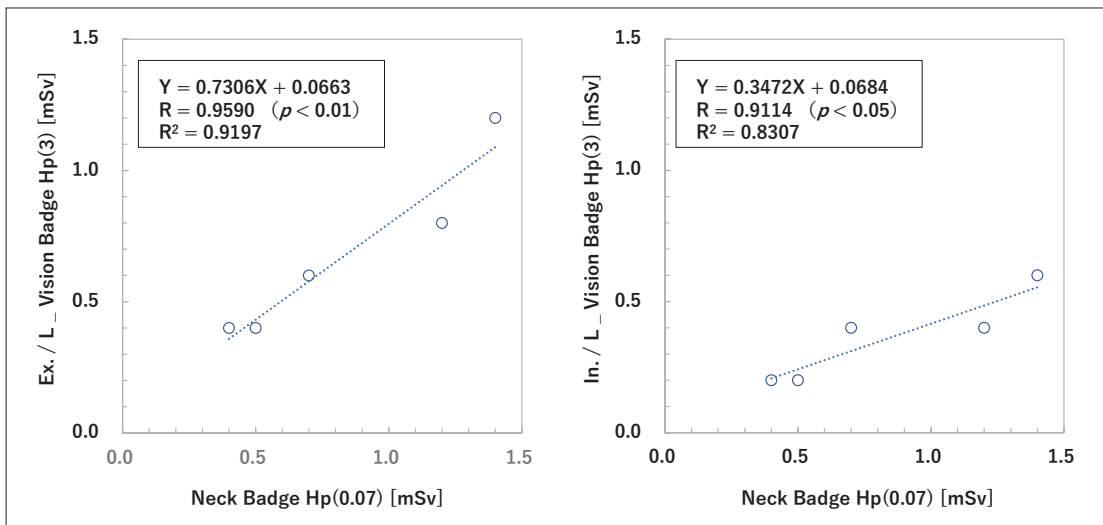


Fig.4 Regression analysis of the relationship of “left and outside” and “left and inside” for lens dosimeter Hp(3) with glass neck badge Hp(0.07)

決定係数 $R^2 = 0.8307$, $p < 0.05$, 傾き 0.3472, 切片 0.0684であった (Fig.4).

法令改正以降, Hp(3)を測定する線量計の装着を希望する意見があった。

3-3 装着所感などのヒアリング調査

ビジョンバッジの重さやビジョンバッジが視認性に与える影響については, 対象医師5人全員から, 業務への支障を来すものではないとの回答が得られた。また自身の水晶体等価線量を正確に把握するためにも,

4 考察

当該施設では, 平時より, 防護具 (防護対象: 胸腹部・生殖腺・甲状腺), 遮へい板, および遮へいカーテンを活用した放射線防護策が必ず講じられている。

放射線防護眼鏡についても全ての医師で着用経験があり、着用に当たって強い抵抗感は示されていない。本研究での放射線防護眼鏡の着用率は、対象医師5人中4人では100%であり、水晶体の防護に対する意識の高さがうかがえた。残りの1人については、夜間の緊急対応に従事する際に放射線防護眼鏡の着用対策が取れなかったことが着用率67%という結果につながっていた。各医師が所属する関連学会などから、線量限度に係る法令改正は周知されているものの、認知度は対象医師の中でもバラツキがあり、施設単位での周知または教育の徹底が急務である²⁰⁾。

本研究期間中に実施された手技の多くにおいて、右総大腿動脈穿刺による経動脈的アプローチがとられており、術者は患者の右側鼠径部のレベルに位置していた。この場合のX線管や受像器の位置を考えると、術者の左眼の方が高線量場に近接するため、左眼の近傍の線量当量は右眼の近傍の線量当量よりも平均 $74 \pm 19\%$ 程度高くなっており、先行研究の結果と一致した²¹⁻²³⁾。本結果を踏まえると、左眼の近傍の線量に注目することで、水晶体等価線量に係る職業被ばくの管理が可能となる。例えば医師3は、他の対象医師と比較し、担当した症例数が22症例と多く、そのため左眼外側の1カ月の線量当量は 1.2 mSv と最も高かったが、これを12カ月分に単純乗算すると 14.4 mSv となり、1年間当たりの個人の水晶体の被ばくの傾向が確認できる。

新法令規制値 ($100 \text{ mSv}/5 \text{ 年}$) は、旧法令規制値 ($150 \text{ mSv}/1 \text{ 年}$) の7.5分の1となっている。本研究において、放射線防護眼鏡による左眼近傍の被ばく線量低減効果は平均 $47 \pm 7\%$ であり、撮影条件の調整、天吊型X線防護遮へい板の使用に加えて、放射線防護眼鏡の着用は効果的な放射線防護策であることが分かる。放射線防護眼鏡左側の内側および外側のHp(3)は、頸部Hp(0.07)と非常に強く相関し、Hp(0.07)に対するHp(3)の傾きは、放射線防護眼鏡外側および内側において、それぞれ0.7306および0.3472であり、頸部Hp(0.07)は、放射線防護眼鏡外側および内側Hp(3)より、それぞれ約27%および約66%過大な評価になることが示唆された。従って頸部Hp(0.07)を用いると、放射線防護眼鏡による防護策を講じているにもかかわらず、必要以上に安全側で管理することとなり、医師の業務配置などの運用に支障を来しかねない。

先行研究においては、Hp(0.07)とHp(3)の相関関係を導き、推定値を算出することについて一定の有

用性は示されているものの、過大評価につながる可能性が危惧されている¹⁶⁾。またこのような推定値は、現場の医師が定期的に受け取る個人線量モニタリングの報告値と一致しないことから、医師と管理者の間に認識の齟齬が生じる可能性がある。さらに相関式に基づいて推定値を算出するという作業が加わるために管理がより煩雑になることは必須であり、多忙な臨床業務と並行して実施することを踏まえると、推定値に基づく職業被ばくの管理には課題が残る。このような課題の対策として、眼の水晶体線量モニタリングのガイドライン¹⁴⁾に基づいて水晶体の等価線量の算定方法を決定することは有用であろう。

本研究において、ビジョンバッジは放射線防護眼鏡に圧着固定して使用したが、総重量約1gと非常に軽量なため重さを懸念する意見はなく、視界や医療手技への影響もなかった。また対象医師全員から、正確な線量を把握するためにも環境が許す場合においては継続して装着したいとの要望を受け、当該施設では、対象となる医師全員がHp(3)を測定する線量計を装着し、水晶体の等価線量を管理することになった。すなわち本研究において、試験的に水晶体被ばくのモニタリングを実施したことで現場医師の職業被ばくに関する認識が高まり、放射線安全管理の徹底につながった。

しかしながら、眼近傍の3mm線量当量による評価を実施することによって、経済的コストの発生、および線量管理や現場医師への周知などの管理業務の増加による負担が懸念される。資金面の制約は、多くの施設において安全管理体制の徹底を妨げる要因であることから、診療報酬加算などの財政的支援を国に求めることも必要ではないかと考える。今後、放射線管理業務を円滑に遂行するためには、放射線防護の安全性、経済性、および業務の効率性の観点から、個人の水晶体被ばくを長期的に継続して収集する必要がある。収集結果は現場のスタッフに対し周知を行うとともに学協会と連携し、臨床現場の課題解決に努めたい。

5 結 論

本研究では、放射線診療を行う循環器内科医師を対象に、意識調査、眼の近傍での個人線量当量評価、およびHp(3)を測定する線量計の装着所感などのヒアリング調査を実施した。対象医師において、眼の近傍の線量の評価に参加したことが放射線防護眼鏡の着用による線量低減効果のより良い理解につながったことから、当該施設では対象医師に対し、3mm線量当量

の評価に基づいた水晶体の被ばく管理を行うに至った。

医療現場の円滑な放射線管理業務を実施するためにも、長期的なエビデンスの収集を行うとともに学協会と連携することで課題解決に努めたい。

謝辞

本研究にご協力いただきました国立研究開発法人国立医療研究センター病院 循環器内科および放射線診療部門の皆さまに感謝申し上げます。本研究は2020(令和2)年度 労災疾病臨床研究事業の助成金により遂行されました。

図の説明

- Fig.1 眼の水晶体線量計および装着時の外観
 Fig.2 眼の水晶体の被ばくに関する意識調査
 Fig.3 眼の近傍の個人線量評価
 Fig.4 放射線防護眼鏡の“左側かつ外側”および“左側かつ内側”の水晶体用線量計Hp(3)と頸部用ガラスバッジHp(0.07)における相関性の評価

参考文献

- 1) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR): Report to the General Assembly with scientific annexes: Volume I, New York: UNITED NATIONS, 2008.
- 2) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR): Sources and Effects of Ionizing Radiation annexes: Volume I, New York: UNITED NATIONS, 2010.
- 3) International Commission on Radiological Protection: ICRP Statement on Tissue Reactions. ref 4825-3093-1464, ICRP, Approved by the Commission on April 21, 2011. <http://www.icrp.org/docs/2011%20Seoul.pdf>
- 4) International Commission on Radiological Protection (ICRP): 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, 2012.
- 5) International Atomic Energy Agency, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements Part 3, 2014.
- 6) International Atomic Energy Agency: Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye. IAEA TECDOC 1731, 2013.
- 7) 藤淵俊王: 医療分野における職業被ばくと放射線防護. 保健物理, 53.4, 247-254, 2018.
- 8) 原子力規制委員会 第6回放射線審議会眼の水晶体の放射線防護検討部会: 資料3-3 眼の水晶体の放射線防護について. 平成30年1月29日.
- 9) 原子力規制委員会 第6回放射線審議会眼の水晶体の放射線防護検討部会: 議事録. 平成30年1月29日.
- 10) 原子力規制委員会 放射線審議会 眼の水晶体の放射線防護検討部会: 眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について(意見具申)(原規放発第18030211号). 2018.
- 11) 厚生労働省医政局: 医療法施行規則の一部を改正する省令等の公布について(医政発0401第8号). 2020年4月1日.
- 12) 厚生労働省労働基準局: 電離放射線障害防止規則の一部を改正する省令等の施行等について(基発1027第4号). 2020年10月27日.
- 13) 原子力規制委員会: 眼の水晶体の線量限度の変更のための放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則の一部を改正する規則(原子力規制委員会規則第13号). 2020年3月18日.
- 14) 一般社団法人日本保健物理学会: 眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン. 2020年7月.
- 15) Kato Mamoru, et al.: Occupational radiation exposure of the eye in neurovascular interventional physician. Radiation protection dosimetry, 185.2, 151-156, 2019.
- 16) 加藤 守, 他: 脳神経血管および心臓電気生理手技のインターベンションに携わる医師の水晶体線量評価. 日放技学誌, 76.1, 26-33, 2020.
- 17) 竹中 完, 他: ERCP(内視鏡的逆行性胆管膵管造影検査)における水晶体被ばくの現状. 日本消化器病学会雑誌, 116.12, 1053-1055, 2019.
- 18) Haga Yoshihiro, et al.: Occupational eye dose in interventional cardiology procedures. Scientific reports, 7.1, 1-7, 2017.
- 19) 長瀬ランダウア株式会社: ビジョンバッジカタログ・SDP-103-V4 (<https://www.nagase-landauer.co.jp/download/pdf/VisionbadgeServiceCatalogue.pdf>). 閲覧日: 2021年1月5日.
- 20) 上妻 謙, 他: 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. Circulation journal: official journal of the Japanese Circulation Society. 2021年3月27日.
- 21) 塚本篤子: 医療におけるスタッフの水晶体被ばくと課題. 日本白内障学会誌, 30.1, 63-64, 2018.
- 22) 櫻田尚樹: 眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会 参考資料. 2019年9月.
- 23) Matsubara Kosuke, et al.: Eye lens dosimetry and the study on radiation cataract in interventional cardiologists. Physica Medica, 44, 232-235, 2017.