

心臓IVR従事者における眼の水晶体の線量評価と放射線防護

東北大学病院 ○石井 浩生(Ishii Hiroki)

【はじめに】

この度、令和4年度学術奨励賞という荣誉ある賞を賜り（JSRT技術新人賞も受賞）、大変光栄に思うとともに、関係各位に厚く御礼申し上げる。本稿では、受賞論文を含めた自身のこれまでの研究・論文を紹介する。

【背景】

心臓IVR従事者は、常に散乱線による被ばくを受けながら作業を行うため、医療従事者の中でも高い線量に晒されることが知られている。Vanoら¹⁾やHaskal & Worgul²⁾により眼の水晶体に放射線障害が発生したとの報告がなされ、白内障リスクが問題視されるようになった。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、白内障のしきい線量が従来の8 Gyから0.5 Gyに、水晶体等価線量限度においては従来の年間150 mSvから5年平均20 mSv/年かつ年間最大50 mSvと、大幅に引き下げられた³⁾。2021年には日本の法令にもこの値が取り入れられ、より正確な線量評価と防護が重要となっている。

現行の頸部バッジによる管理では水晶体線量の過大評価が問題となっており、その場合、眼の近傍かつ防護眼鏡の内側に着用できる3 mm線量当量線量計の着用が有用である⁴⁾。我々は、現在普及している水晶体線量計DOSIRIS™（千代田テクノル）の性能評価を行い、2019年に論文化した⁵⁾。

ここで、水晶体線量モニタリングの課題として、以下の項目が挙げられている。本研究では、下線の項目について検討した。

- どのような場面でHp(3)測定が必要か
- 水晶体線量計の導入コスト
- 水晶体線量計はどこに着用すべきか
- 従来通り、頸部線量計では評価できないのか
- 患者線量パラメータから推定できないか
- 手技、機器、職種等によって被ばく状況が異なる

（参考）放射線審議会 眼の水晶体の放射線防護検討部会 資料

【目的】

最終目標は、心臓IVRに従事する医師および看護師における、適切な水晶体線量評価法と放射

線防護策を提案することである。これを達成するために、以下の3点を検討項目とした。

- 1.水晶体線量計の適切な着用部位を検討する
- 2.頸部線量や患者線量パラメータを用いた水晶体線量推定法の妥当性を検討する
- 3.スタッフの水晶体線量と行動パターンの時系列解析により、両者に関連する特徴を検討する

1.水晶体線量計の着用部位

Ishii H et al. A phantom study to determine the optimal placement of eye dosimeters on interventional cardiology staff. *Radiat Prot Dosimetry* 2019;185(4):409-413. doi: 10. 1093/rpd/ncz027⁶⁾

【方法】

心臓IVRを想定したファントム実験を行った。血管撮影装置（Infinix Celeve-i INFX-8000F、東芝）を使用し、患者を模擬した被写体として、胸腹部人体ファントム（PBU-60、京都科学）を寝台上に設置し、医師および看護師の立ち位置には治療用人体ファントム（THRA1、京都科学）を設置した。測定配置図やX線条件は論文を参照されたい。測定にはリアルタイム型個人線量計（EDD-30、Unfors）を使用し、実際の眼の位置である左眼と右眼、および水晶体線量計着用部位として想定される左側頭部、額中央、右側頭部の線量を測定した。

解析方法はFarahら⁷⁾の手法を参考に、水晶体線量計着用部位の線量に対する実際の眼の位置の線量比を“Ratio”とし、全8つの撮影方向についてRatioを求める。その8つのRatioの平均値を“Mean ratio”、標準偏差を平均値で除した値を“CV (coefficient of variation)”とする。Mean ratioが1に近いほど実際の眼の位置の線量に近い着用部位であると言え、CVが小さいほど撮影方向によるばらつきが少ない着用部位であると言える。

【結果】

X線管角度ではLAO30 CAU30のときに医師、看護師ともに線量が高くなった。医師位置では、

左眼の方が1.54倍線量が高く、線量計は左側頭部に着用するのが目の線量と最も近く、ばらつきも少なかった。看護師位置では、左右差は見られず、線量計は額中央に着用するのがよいことが分かった。

【考察】

眼の近傍の線量に関する報告はあるが、実際の眼の位置の線量をファントム実験で明らかにしたのは本研究が初である。医師は水晶体線量計を左側頭部に、看護師は額中央に着用するのが適切である。

2. 頸部線量や患者線量パラメータと水晶体線量の 相関

Ishii H et al. Occupational eye dose correlation with neck dose and patient-related quantities in interventional cardiology procedures. *Radiol Phys Technol* 2022;15(1):54-62. doi: 10. 1007/s12194-022-00650-w⁸⁾

【方法】

2018年3月1日から11月30日までの期間、仙台厚生病院にて行われた冠動脈造影（CA）18件、経皮的冠インターベンション（PCI）16件を対象とし、1件あたり術者、助手、看護師の計3名の測定を行った。左側頭部（水晶体線量計位置）と頸部の線量をリアルタイム型個人線量計（RaySafe i2、Unfors RaySafe）にて測定し、患者パラメータとして、透視時間、患者照射基準点における累積空気カーマ（ $K_{a,r}$ ）、面積空気カーマ積算値（ P_{KA} ）を収集した。水晶体線量と頸部線量の有意差検定にはWilcoxonの符号順位和検定（有意水準1%）、水晶体線量と頸部線量および患者パラメータとの相関の解析には回帰直線の決定係数 R^2 を用いた。

【結果】

CAにおいて、術者と助手は水晶体線量が有意に高く、看護師は頸部線量が有意に高かった。PCIでは有意差は見られなかった。頸部線量との相関については、術者では相関が見られず、助手ではPCI時のみ弱い相関が見られ、看護師では強い相関が見られた。患者パラメータとの相関については、術者ではCA時のみ透視時間に弱い相関、 $K_{a,r}$ と P_{KA} に強い相関が見られ、助手ではCA時のみ透視時間に弱い相関、 $K_{a,r}$ と P_{KA} に中程度の相関が見られ、看護師では相関が見られなかった。

【考察】

本研究の新規性は手技1件ごとに測定した点である。術者および助手の水晶体線量は頸部線量と乖離する可能性がある。看護師の水晶体線量は頸部バッジにて管理可能と考えられる。PCI術者で患者パラメータとの相関が見られなかったのは、Working angleが手技によって異なるためであるとされる。患者線量パラメータはおおまかな線量レベルの推定に用いるのが適切である。

3. 水晶体線量と行動パターンの時系列解析

【方法】

2.で使用したRaySafe i2線量計は医療従事者の放射線防護教育を目的に開発された経緯があり、被ばく線量をリアルタイムに把握することが可能となっている。RaySafe i2の検出部は半導体でできており、1秒ごとの線量データが内部ストレージに記録される。また、専用の外部ディスプレイに無線接続することにより、線量率および積算線量がリアルタイムに表示される。さらに、解析用PCソフトウェア（Dose Manager）にデータをインポートすることで、時刻と線量のデータを対応づけて解析することができる。実際の手技中にスタッフの線量と行動をモニタリングし、両者に関連する特徴があるかについて解析を行った。

【結果】

Fig.1はCAにおける術者線量率を時系列に示している。波形のピークは撮影によるもの、その前後に長時間続く低い波形は透視によるものである。透視はパルスレート7.5 p/sでX線出力も低い、撮影は診断価値を落とさぬようにフレームレート10 f/sでX線出力も透視に比べて高く設定されている。(1)に示すLAO45 CAU10の撮影では7.6 mSv/h、(2)に示すRAO30 CAU30の撮影では0.3 mSv/hであり、LAO系の角度で線量が高くなっていた。また、(1)では天吊り防護板を術者とX線管の間に適切に配置できておらず、(2)以降は防護板を適切に配置していたことによる防護効果が見られた。

Fig.2はPCIにおける看護師の線量率を術者および助手と比較した図である。看護師は通常、防護衝立の後ろで作業することが多いが、写真のように、患者の様子を観察するために患者に近づいたとき、術者や助手を上回る1.2 mSv/hが検出された。このとき、術者と助手は天吊り防護板でうまく遮蔽できていたと考えられる。

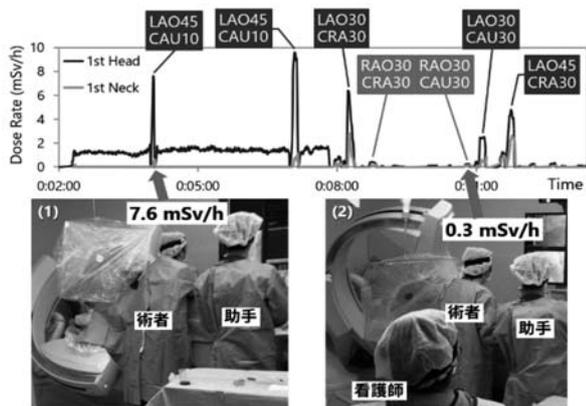


Fig.1 術者線量の時系列解析

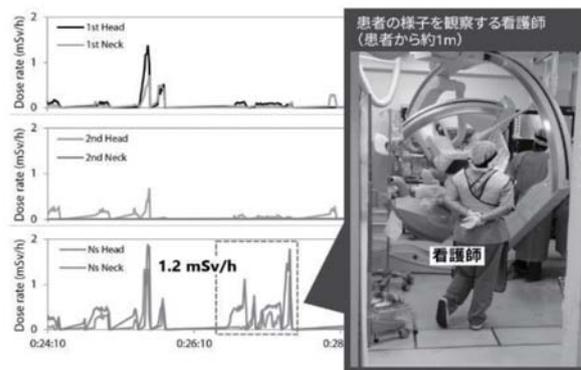


Fig.2 看護師線量の時系列解析

【考察】

水晶体線量を時系列解析したのは本研究が初である。医師の被ばく量は手技の内容やX線管角度によって刻々と変化し、看護師の被ばく量には立ち位置や防護衝立の有無が影響を与える。医師は、LAO系では天吊り防護板による遮蔽効果が薄れる傾向にあったため、防護メガネの併用が有効である。

【まとめ】

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ある。
- ✓ 水晶体線量計は左側頭部に着用するのが適切である。
- ✓ 患者線量パラメータからの推定は、空間散乱線量分布に依存すると考えられるため、おおまかな線量レベルの把握のみに用いられるべきである。
- ✓ 天吊り防護板は散乱線源と自身の眼の間に入るように設置し、防護眼鏡等の防護具を追加で使用するのが有効である。

看護師に関して

- ✓ 水晶体線量は頸部バッジにより管理可能と考えられる。
- ✓ 水晶体線量計は額中央に着用するのが適切である。
- ✓ X線照射中は必要時を除き、患者に近づかないようにすべきである。

【参考文献】

1.Vano E, Gonzalez L, Beneytez F, et al. Lens injuries induced by occupational exposure in

non-optimized interventional radiology laboratories. *Br J Radiol* 1998;**71**:728-33. doi: 10.1259/bjr. 71. 847. 9771383

2.Haskal ZJ, Worgul BV. Interventional radiology carries occupational risk for cataracts. *RSNA News* 2004;**14**:5-6.

3.International Commission on Radiological Protection. ICRP statement on tissue reactions. 2011. <http://www.icrp.org/docs/2011%20Seoul.pdf>

4.Haga Y, Chida K, Kaga Y, et al. Occupational eye dose in interventional cardiology procedures. *Sci Rep* 2017;**7**(1):569. doi: 10.1038/s41598-017-00556-3

5.Ishii H, Haga Y, Sota M, et al. Performance of the DOSIRIS™ eye lens dosimeter. *J Radiol Prot* 2019;**39**(3):N19-N26. doi: 10.1088/1361-6498/ab2729

6.Ishii H, Chida K, Satsurai K, et al. A phantom study to determine the optimal placement of eye dosimeters on interventional cardiology staff. *Radiat Prot Dosim* 2019;**185**(4):409-413. doi: 10.1093/rpd/ncz027

7.Farah J, Struelens L, Dabin J, et al. A correlation study of eye lens dose and personal dose equivalent for interventional cardiologists. *Radiat Prot Dosim* 2013;**157**(4):561-569. doi: 10.1093/rpd/nct180

8.Ishii H, Chida K, Satsurai K, et al. Occupational eye dose correlation with neck dose and patient-related quantities in interventional cardiology procedures. *Radiol Phys Technol* 2022;**15**(1):54-62. doi: 10.1007/s12194-022-00650-w