

令和2年度研究結果の概要（200601-01）

研究課題名：眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究  
研究代表者：千田浩一

**研究目的：**眼の水晶体の新しい等価線量限度取り入れ運用に際し医療分野は特に課題が多い。本研究は医療施設の従事者(スーパードクターを含む)が受けている眼の水晶体被ばくの防護状況の実態を詳細に把握すること、さらに医療施設の労働者の水晶体被ばく低減を図るため、放射線防護機材に求められるニーズ等の情報を収集し、今後の防護機材開発に資する検討、すなわち放射線防護機材開発の推進のための課題整理を行うことを目的とする。そのために、放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集に関する臨床研究、放射線防護機材の改良等に関する研究、放射線防護教育研究、そして関係学会及び団体との連携研究及び国内外の開発上の技術的課題等の情報について調査・収集などを行う。最終的には、分析結果を踏まえ多角的視点から、放射線防護機材の開発等に資する検討を行い、体系的に取りまとめる。同時に産業保健的なアプローチ、すなわち上流側であるX線発生源の低減対策についても提案する。

## 研究方法

### 1. 放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集

「リアルタイム線量評価」、「水晶体等価線量が定常的に20mSv/年を超える医師の実態調査」、「白内障の実態調査」について実施した。新しいリアルタイム個人線量計 RaySafe i3の基本性能評価に関する基礎検討を実施し、さらにi3を用いて心臓IVRでの術者(医師)のIVR手技中の水晶体と頸部の線量の初期的な測定をリアルタイムに行った。市中病院に勤務する医師一人の過去4年間(2016-2019年)における水晶体等価線量、血管造影検査・IVR件数、および透視時間の推移を調査した(水晶体等価線量は個人被ばく線量計を2個使用した時(不均等管理)の値を採用し個人被ばく線量報告書とRIS(Radiological Information System)より得られたデータを抽出解析した)。2020年日本脳神経血管内治療学会(JSNET)にて、水晶体混濁調査を無料で実施するキャンペーンを日本白内障学会の協力体制のもとで実施し、視力検査、散瞳下細隙灯顕微鏡検査ならびに簡易型徹照カメラでの水晶体撮影を行い、それらの所見から放射線白内障の初期病変等に関する解析、判定を行った。

### 2. 放射線防護機材の改良などに関する研究

「新しい防護デバイスであるZERO-GRAVITYに関する基礎的および臨床的検討」、「0.07mmPbメガネ改良に関する基礎検討」、「放射線シールドドレープ改良に関する基礎検討」について実施した。ZERO-GRAVITYの散乱線遮蔽効果に関して、ファントム実験にて防護メガネとZERO-GRAVITYの線量低減率を測定し、さらにZERO-GRAVITYを臨床の症例で使用し、従来の鉛エプロン+防護メガネの組み合わせとの比較における利点と欠点を取りまとめた。遮蔽率の向上を図るため、軽量眼鏡の形状等に改良を加えた新型0.07mmPb当量防護眼鏡の初期的臨床結果や防護効果について測定評価し、改良新型0.07mmPb当量防護眼鏡の有用性について検討した(対象は心臓IVR術者(医師)で、水晶体線量測定は防護眼鏡の左水晶体近傍の内側と外側に1つずつ水晶体用線量計DOSIRISを装着して行った)。橈骨動脈アプローチ用のX線防護壁付放射線シールドドレープを試作し、その遮蔽効果に関する初期的検討を行った(ファントムの腹部位置に、X線防護壁付シールドドレープを置いた場合、壁無しドレープを置いた場合、何も置かない場合について測定し遮蔽効果を比較した)。

### 3. 放射線防護教育研究

放射線診療従事者向け放射線防護教育コンテンツ開発に関して、拡張現実(Augmented Reality、AR)を用いて散乱線を現実空間に可視化して行った。ポータブルX線撮影装置による病棟撮影時の散乱線の挙動のシミュレーションし、次にシミュレーションデータの三次元表示を行った。さらにX線管等の三次元データの配置、散乱線分布の切替表示用のボタンの配置など機能の追加を行い、ARアプリケーションを開発した。

### 4. 国内外の開発上の技術的課題等の情報について調査・収集

インターネット上に公開された関連団体等のガイドライン等の情報収集、PubMed等により文献を検索した。更にウェブでも開催された国際学会に参加し発表内容の情報を得た。具体的には日本保健物理学会の「眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン」、放射線安全規制研究戦略的推進事業の「医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン」、日本放射線看護学会の「看護職のための眼の水晶体の放射線防護ガイドライン」、日本適合性認定協会の「認定の基準」についての指針—放射線個人線量測定試験分野—JAB RL 380:2020」、国際放射線防護学会(IRPA)の第15回大会、国際原子力機関(IAEA)の”International Conference on Radiation Safety:

Improving Radiation Protection in Practice”である。

## 結果

### 1. 放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集

・**リアルタイム線量評価:**リアルタイム個人線量計 i3 は、旧型と比較して、今回検討したすべての項目について同等以上の性能を有していた。さらに i3 は線量把握を詳細に行えるため、放射線医療従事者の防護具使用状態等をリアルタイムに評価分析するための個人線量計として、十分な基本性能を有していると思われた。i3 の初期臨床検討結果から、IVR 臨床の現場において問題なく使用できることが確認でき、さらに照射方向の違いや患者との距離によって術者と助手および水晶体と頸部の線量に差がみられる傾向があること等を明らかにできた。

・**水晶体等価線量が定常的に 20 mSv/年を超える医師の実態調査:** 2016-2018 年の年間水晶体等価線量は 40 mSv を超え、経験年数に応じて線量は下がっていないことが明らかとなった。一方 2019 年は、天吊り式防護板を効果的に使用することで、水晶体等価線量は 50% 近く低減できていることが明らかとなった。しかし、防護策の強化を行った後も、年間 20mSv を超えているため、今後、さらなる防護策を講じる必要があることが確認できた。

・**白内障の実態調査:** JSNET にて白内障調査を主とする眼科検診を行い、84 名の調査が終了した。両眼での白内障有病率は、主病型である皮質(前囊下含む)が 0.6%、核が 0.0%、後囊下が 1.2% となった。白内障副病型である Retrodots や Waterclefts はいずれも 1.2% であった。放射線白内障の初期変化とされる微小混濁(Vacuoles)は 25.6%(後囊下中心のみでは 15.5%) を示した。

### 2. 放射線防護機材当の改良などに関する研究

・**新しい防護デバイスである ZERO-GRAVITY に関する基礎的臨床的検討:** ファントム実験での ZERO-GRAVITY の遮蔽効果は 93% であった。臨床使用経験の結果、天吊りによる身体的負担軽減や支柱可動範囲による行動範囲制限は想定通りであったが、姿勢と視野の制限による使いにくさや助手が使用する際の不都合があつた。高い遮蔽効果と身体的負担軽減を維持したまま、使いにくさを改善した次世代のデバイス開発が期待された。

・**0.07mmPb メガネ改良に関する基礎検討:** 改良型メガネの IVR 医師 7 名の平均遮蔽率は 61.4% と良好であり、最低遮蔽率の IVR 医師に関しても 58.9% であった。改良メガネの装着感は問題なく、また眼鏡のサイズの違いによる遮蔽率への大きな差は無かった。十分な防護効果を有しているとは言えないため、更なる改良が必要である。

・**放射線シールドドレープ改良に関する基礎検討:** 試作したシールドドレープは、橈骨動脈アプローチの心臓 IVR を想定した術者被ばく線量を、平均で約 60% 低減できる可能性を示した。特に術者水晶体の被曝低減において、従来型よりも効果的であると思われた。IVR 手技に支障がないことや患者負担が無いことを前提として、ドレープの遮蔽能力向上、術者水晶体被曝低減を目指して、さらなる改良と検討を行う必要があると考えられた。

### 3. 放射線防護教育研究

散乱線分布をサーベイメータにより 20 ポイント程度測定し、モンテカルロシミュレーションで同じ照射条件の散乱線分布を計算することで、10% 程度の差でシミュレーションが可能であった。次に水ファントムを患者ファントムに入れ替え、臥位と座位での胸部撮影と、臥位での骨盤撮影における X 線検査時の室内の散乱線分布の 3 次元情報を取得した。この情報を基に、3 次元物体データ(ポリゴンデータ)として X 線装置、患者、散乱線分布を作成し、AR のアプリケーションとして iPad に取り込むことで、X 線照射時の散乱線分布を任意の位置から可視化し、散乱線の広がり方や適切な介助位置について理解する放射線防護教育教材を開発した。

### 4. 国内外の開発上の技術的課題等の情報について調査・収集

水晶体線量評価手法は、 $Hp(3)$  を直接測定するというよりは、 $Hp(10)$  及び  $Hp(0.07)$  に基づくものが多かった。特に IVR 手技における被ばくに対する関心が高く、新線量限度を超える事例報告もなされていた。評価手法は、線量計による測定だけではなく、モンテカルロ計算データを利用した推定方法も提案されていた。

## まとめ:

放射線防護機材の技術的課題等の情報について調査・収集に関する臨床研究、放射線防護機材の改良等に関する研究、放射線防護教育研究、そして関係学会及び団体との連携研究および国内外の開発上の技術的課題等の情報について調査・収集を行い、成果の一部については、学術論文として掲載することができた。工学的アプローチにより臨床現場での水晶体被ばくの実態とその低減策が提示できるところは防護機材開発に繋がり、さらに放射線防護に資する新しい機材開発が着実に進行していると考える。また、多角的に計画されて今後の詳細実施に向けて準備が整ったと考える。今後は以上の成果を活かして、眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究について、本格的な活動を継続実施していく予定である。