

令和 4 年 6 月 4 日現在

機関番号：72696

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K17183

研究課題名(和文)血管撮影装置を用いたコーンビームCT撮影における水晶体防護具の開発

研究課題名(英文)Development of lens protection shield during angiographic cone-beam CT

研究代表者

川内 覚 (Kawauchi, Satoru)

(財)沖中記念成人病研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：50808376

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はコーンビームCT撮影に特化した水晶体防護具の開発を行い、脳血管内治療時の水晶体線量の低減を図ることを目的とする。

防護具に用いる素材と配置条件に着目して、水晶体線量低減率と画質の検証を行った。防護具の素材の検討では、ビスマスと鉛防護眼鏡が最適であった。ビスマスの配置条件の検討では、配置距離は被写体表面から10mm、配置位置は眼球の位置に対して外側寄り、厚さは1枚が最適であった。最適化された配置条件において、水晶体線量の低減率は、 $26.9 \pm 0.36\%$ (左右平均)であった。水晶体防護具を用いることにより、脳血管内治療におけるコーンビームCT撮影時の水晶体線量の低減に貢献できると考える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、医療放射線被ばくにおける水晶体線量の低減の必要性は高まっている。本研究で開発した水晶体防護具を用いることで、脳血管内治療における患者水晶体線量の低減に大きく寄与できると考える。さらに、将来的には患者の放射線白内障の発生の抑制にも寄与できると考える。本研究成果は、脳血管撮影におけるコーンビームCTのみならず、一般的な頭部CT撮影の水晶体防護具としても応用可能である。頭部CTは、実施施設や撮影件数も多いため、防護具の開発により医療全体の患者被ばく線量を低減させる波及効果も期待できる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to develop a lens protective device specialized for cone-beam CT scan and to reduce the lens doses during interventional neuroradiology. Focusing on the materials and the placement conditions used for the protective device, the lens dose reduction rate and image quality were evaluated. We found that bismuth shield and lead goggle were suitable protective materials. The optimum placement conditions of the bismuth shield were concluded as follows: positioned outside, placed 10 mm from the surface of the subject, and used a 1-ply bismuth shield.

When these placement conditions were used, the lens dose reduction rate was $26.9 \pm 0.36\%$ (right-left average) for the bismuth shield. The protective device developed in this study will contribute to radiation dose reduction in CBCT scans.

研究分野：放射線技術学

キーワード：コーンビームCT 脳血管内治療 水晶体防護 ビスマス 鉛防護眼鏡 放射線白内障 水晶体線量低減率 アーチファクトインデックス

1. 研究開始当初の背景

脳動脈瘤や脳動静脈奇形等に対する脳血管内治療は、診断目的の脳血管撮影と比較して、X線の透視時間の延長、撮影回数の増加を伴い、患者被ばく線量の増大が報告されている。頭部には放射線感受性の高い水晶体が存在し、治療後の放射線白内障の発生も危惧されている [1]。2011年に国際放射線防護委員会が放射線白内障の閾値線量を 5 Gy から 0.5 Gy へと 1/10 に引き下げる声明を発表した。また本邦では、医療法に医療放射線に係る安全管理項目を新たに規定して、血管撮影を含む医療被ばくの適正管理・線量記録が義務化された。このように医療被ばく、水晶体被ばくに関しては、近年国内外から高い関心が集まっている。

コーンビーム CT (CBCT) 撮影とは、一般的な CT 撮影とは異なり、血管撮影装置を用いて、脳血管内治療後の脳実質の評価 (脳梗塞、脳出血の有無)、頭蓋内微細血管の描出を行う撮影である。CBCT 撮影は、1 回の脳血管撮影の中で頻回に撮影が行われるため、撮影に伴う患者被ばく線量の増大が懸念されている [2, 3]。

このように CBCT 撮影時には、水晶体線量を低減することが強く求められている。放射線防護具にビスマスや鉛を用いることにより高い防護効果が得られることは既知であるが、画像にアーチファクト (偽像) をもたらす診断の妨げともなる。そのため CBCT 撮影に対しては、適切な水晶体防護具が存在していないのが課題であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、脳血管内治療時の水晶体線量の低減と将来的な患者の放射線白内障の発生を目指して、水晶体防護具がもたらす線量低減効果と画質への影響を明らかにして、脳血管撮影時の CBCT 撮影に用いる専用の防護具の開発を行うことである。

3. 研究の方法

使用機器は、血管撮影装置として Azurion7 B20/15 (Philips ヘルスケア) を用いた。画像解析ワークステーションとして、血管撮影装置付属の Xtravision (Philips ヘルスケア) ならびに Ziostation2 (ザイオソフト株式会社) を用いた。線量計には、最大 4 つのマルチチャンネル測定が可能である光ケーブル式リアルタイム線量計 (RD-1000、トーレック株式会社) を用いた。ファントムは、模擬頭部ファントム (PH-3、京都科学社) と CT 装置付属水ファントム (Siemens ヘルスケア) を用いた。水ファントムは、直径 20 cm の円柱形の容器に水が均一に満たされた構造となっている。

(1) 防護具に用いる素材と形状の検討

CBCT 撮影時に用いる水晶体防護具に用いる遮蔽物質の候補として、ビスマスシールド (CT eye shield、0.06 mmPb 含有、フレア株式会社)、ステンレス、アルミニウム、銅、真鍮、鉛、硫酸バリウム、鉛防護眼鏡 (panorama shield、0.07mmPb 含有、東レ・メディカル株式会社) の 8 種類を選定した。ビスマスシールドに関しては、アイマスク状の形状 (アイマスク型) と左右に分割して眼球部分のみを覆う形状 (分離型) の 2 種類を用いた。

評価項目として、防護具の使用に伴う水晶体線量低減率と CBCT 画像の画質評価を行った。水晶体線量低減率は、RD-1000 ならびに頭部ファントムを用いて、線量計を頭部ファントムの左右水晶体に相当する部分に線量計を配置して水晶体線量の測定を行い、以下の式(1)を用いて算出を行った (図 1)。

水晶体線量低減率 [%] = 1 - (遮蔽物質を用いた時の水晶体線量) / (遮蔽物質を用いない時の水晶体線量) × 100 …… (1)

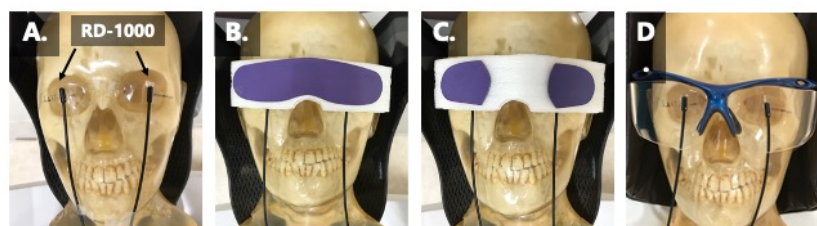


図 1 頭部ファントムを用いた水晶体線量測定における遮蔽物質の配置図
A. 防護具なし B. ビスマスシールド: アイマスク型 C. ビスマスシールド: 分離型 D. 鉛防護眼鏡

CBCT 画像の画質評価は、水ファントムを用いて CBCT 撮影を行い、水ファントムの短軸画像の前後左右と中央部、11 時方向の右側前方、1 時方向の左側前方の 7 点に直径 50 mm の円形の関心領域 (region of interest: ROI) を置き、ROI 内のノイズ成分としての標準偏差を計測した。遮蔽物質からのアーチファクトを定量的に評価するために、アーチファクトインデックス (Artifact index: AI) を式(2)を用いて算出した (図 2)。

$$AI = \sqrt{(\text{遮蔽物質を用いた時の画像ノイズ})^2 - (\text{遮蔽物質を用いない時の画像ノイズ})^2} \dots (2)$$

ここで、AI が大きいほど防護具に起因するアーチファクトの影響を強く受け、画質の低下が大きいことを示している

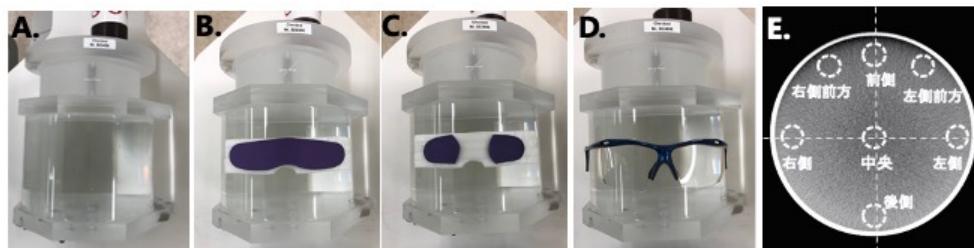


図 2 水ファントムを用いた CBCT 画像の画質評価における遮蔽物質の配置図
A. 防護具なし B. ビスマスシールド: アイマスク型 C. ビスマスシールド: 分離型
D. 鉛防護眼鏡 E. CBCT 画像評価における ROI 配置図

(2) 防護具の配置条件の検討

前述の検討において決定した素材を用いて、防護具の配置条件の検討を行った。防護具を配置する配置距離 (被写体表面から 0-20mm)、配置位置 (眼球に対して内側、中間、外側)、厚さ (1 枚、2 枚) を変化させた (図 3)。評価項目は、前述の検討と同様に、水晶体線量低減率と AI である。

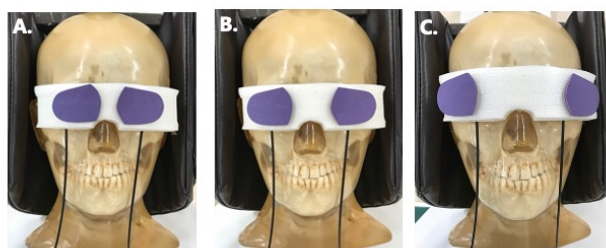


図 3 配置位置を変化させた時の防護具の配置図
A. 配置位置: 内側 B. 配置位置: 中間 C. 配置位置: 外側

4. 研究成果

(1) 防護具に用いる素材と形状の検討

遮蔽物質を変化させた時の水晶体線量低減率 (左右平均) は、以下の通りであった。ビスマスシールド: アイマスク型 $14.6 \pm 0.47\%$ 、ビスマスシールド: 分離型 $14.2 \pm 0.52\%$ 、ステンレス $11.1 \pm 0.49\%$ 、アルミニウム $0.0 \pm 0.61\%$ 、銅 $14.5 \pm 0.46\%$ 、真鍮 $15.1 \pm 0.35\%$ 、鉛 $19.3 \pm 0.36\%$ 、硫酸バリウム $17.8 \pm 0.51\%$ 、鉛防護眼鏡 $26.0 \pm 0.64\%$ 。遮蔽物質を使用に伴い水晶体線量の低減効果が得られ、遮蔽物質の種類に大きく依存をしていた。またビスマスシールドに関しては、ビスマスシールドの形状を変化させても線量低減率には変化を生じなかった。

防護具使用時の画質に関しては、防護具の使用に伴って、CBCT 画像にはアーチファクトが発生しており、アーチファクトの強さは遮蔽物質に大きく依存をしていた。アルミニウム使用時には、アーチファクトはほとんど発生していないが、鉛や硫酸バリウム使用時にはアーチファクトは顕著であった。ビスマスシールドは、形状がアイマスク型から分離型に変化することにより、アーチファクトは軽減した (図 4、図 5)。

以上、水晶体線量低減率と AI の結果を考慮した結果、CBCT 撮影に用いる最適な遮蔽物質と形状は、ビスマスシールド: 分離型もしくは鉛防護眼鏡であると判断した。

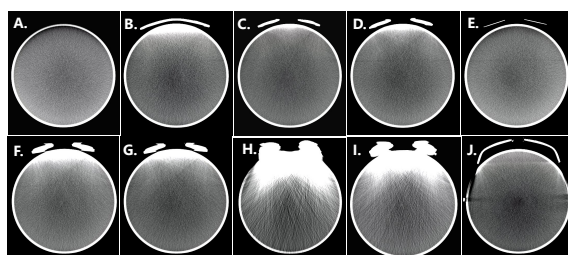


図 4 遮蔽物質を変化させた時の水ファントムの CBCT 画像

A. 防護具なし B. ビスマスシールド: アイマスク型
C. ビスマスシールド: 分離型
D. ステンレス E. アルミニウム F. 銅 G. 真鍮
H. 鉛 I. 硫酸バリウム J. 鉛防護眼鏡

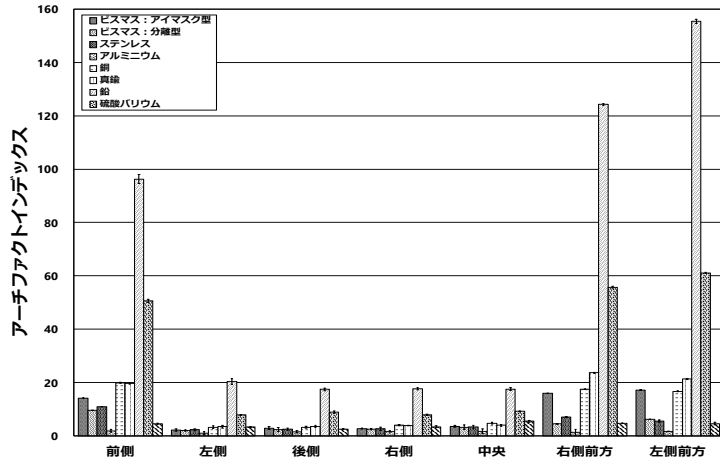


図5 遮蔽物質を変化させた時の水ファントムのAIの解析結果

(2) 防護具の配置条件の検討

防護具を配置する距離の検討では、水晶体線量低減率は、ファントム表面に配置した時(0 mm)に最大となり(34.6±0.62% (左右平均))、ファントム表面から10 mm 離れた時に14.3%±0.51% (左右平均)、20 mm 離れた時に最小(-1.4±0.48% (左右平均))となり、配置距離がファントム表面から離れるに従って、水晶体線量率は低減した。CBCT 画像の画質に関しては、防護具を配置する距離が近いほど、ファントムの前方部分に強いアーチファクトをもたらし、距離を離すほどアーチファクトは軽減した(図6、図7)。

防護具の配置位置の検討では、水晶体線量低減率は、従来の防護具を中間に配置した時(14.8±0.58% (左右平均))に対して、内側に配置した時に-1.8±0.86% (左右平均)、外側に配置した時に26.9±0.36% (左右平均)となり、外側に配置することにより線量低減率は大きく向上した。画質に関しては、防護具を外側に配置することにより水ファントムの前側のAIが上昇して画質の低下が認められた(図8、図9)。

防護具の厚さの検討では、水晶体線量低減率は、ビスマスシールド:アイマスク型において、1枚使用した時(14.3±0.51% (左右平均))に対して、2枚使用した時に20.2±0.45% (左右平均)となった。ビスマスシールド:分離型においては、1枚使用した時(14.8±0.58% (左右平均))に対して、2枚使用した時に、18.1±0.41% (左右平均)となり、いずれもビスマスシールドの厚さが増えることにより、水晶体線量低減率は大きくなった。画質に関しては、防護具の厚さが増加することによりAIが上昇してアーチファクトは顕著となり画質の低下が認められた(図10、図11)。

以上の結果をまとめると、防護具(ビスマスシールド)の最適な配置条件は、配置距離は、被写体表面から10 mm、配置位置は人体の水晶体の位置に対して外側(外眼角寄り)、厚さは1枚とすることが最適であった。配置条件を最適化した防護具を用いた時の水晶体線量低減率は、ビスマスシールド:分離型を用いた時に26.9 ± 0.36% (左右平均)となった。

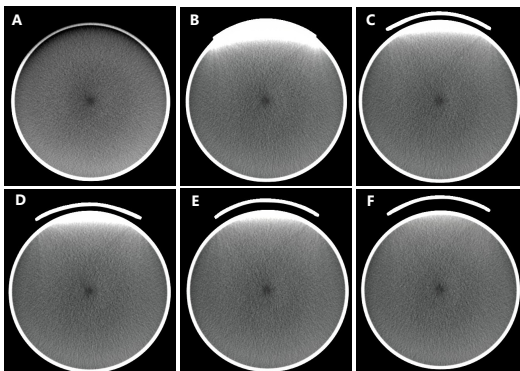


図6 遮蔽物質(ビスマスシールド:アイマスク型)の配置距離を変化させた時の水ファントムのCBCT画像

- A. 防護具なし
- B. 配置距離: ファントム表面から0mm
- C. 配置距離: ファントム表面から5mm
- D. 配置距離: ファントム表面から10mm
- E. 配置距離: ファントム表面から15mm
- F. 配置距離: ファントム表面から20mm

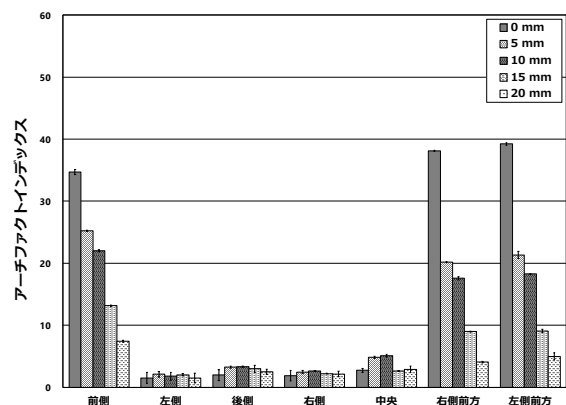


図7 防護具を配置する距離を変化させた時の水ファントムのAIの解析結果

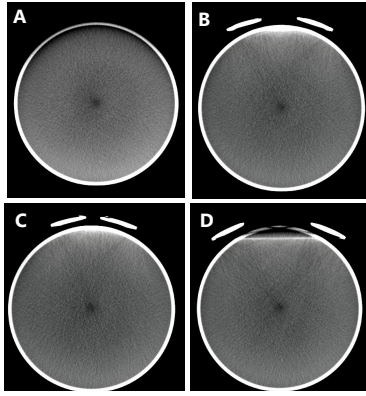


図 8 遮蔽物質（ビスマスシールド：分離型）の配置位置を変化させた時の水ファントムの CBCT 画像

- A. 防護具なし B. 配置位置：中間
C. 配置位置：内側 D. 配置位置：外側

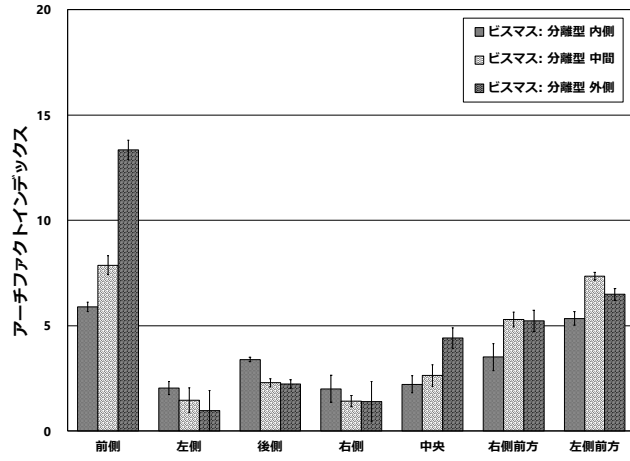


図 9 防護具を配置する位置を変化させた時の水ファントムの AI の解析結果

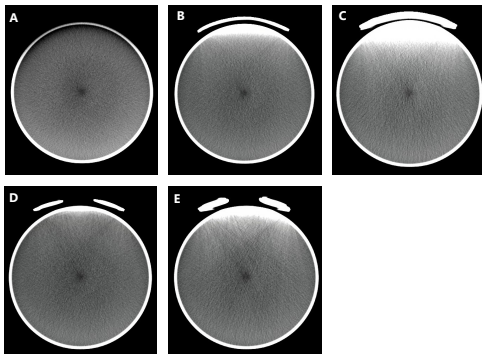


図 10 遮蔽物質（ビスマスシールド）の厚さを変化させた時の水ファントムの CBCT 画像

- A. 防護具なし
B. ビスマスシールド：アイマスク型 1 枚
C. ビスマスシールド：アイマスク型 2 枚
D. ビスマスシールド：分離型 1 枚
E. ビスマスシールド：分離型 2 枚

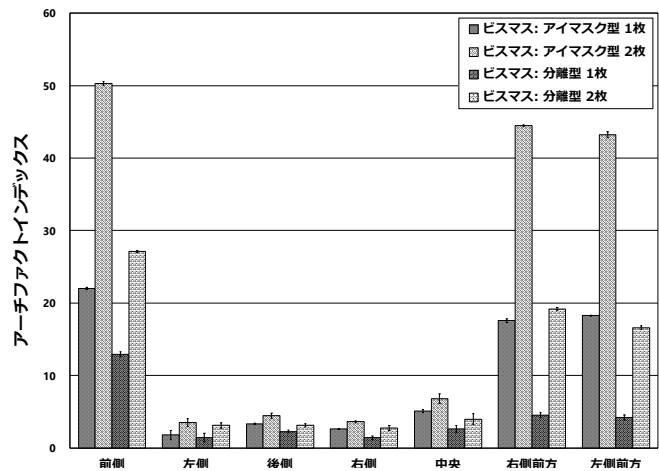


図 11 防護具の厚さを変化させた時の水ファントムの AI の解析結果

(3) まとめ

本研究により、CBCT 撮影に用いる水晶体防護具を考案することができた。防護具に用いる素材と形状、配置条件（配置距離、配置位置、厚さ）を最適化することにより、ビスマスシールド：分離型 使用時に $26.9 \pm 0.36\%$ （左右平均）、鉛防護眼鏡使用時に $26.0 \pm 0.64\%$ （左右平均）の水晶体線量の低減が可能になった。

CBCT 撮影 1 回あたりの水晶体線量は、頭部 CT 撮影の水晶体線量と比べて低いものの、脳血管内治療手技全体の水晶体線量は、水晶体のしきい線量である 0.5 Gy を超える症例も存在する。また、例えば単回の手技の水晶体線量がしきい線量を超過しなくても、複数回の検査・治療を行うことにより線量は蓄積し、しきい線量を超過する可能性がある。本研究で考案した水晶体防護具を用いることにより、1 回の脳血管内治療のみならず、患者の生涯を通じた水晶体線量の低減に貢献できるものとする。本研究成果は、脳血管撮影における CBCT 撮影のみならず、一般的な頭部 CT 撮影の水晶体防護具としても応用可能である。頭部 CT は、実施施設や撮影件数も多いため、防護具の開発により医療全体の患者被ばく線量を低減させる波及効果も期待できる。

5. 参考文献

- [1] Sánchez RM, Vañó E, Fernández JM, et al: Radiation Doses in Patient Eye Lenses during Interventional Neuroradiology Procedures. AJNR Am J Neuroradiol 2016; 37: 402-407
- [2] Kawachi S, Chida K, Moritake T, et al: Estimation of patient lens dose associated with C-arm cone-beam computed tomography usage during interventional neuroradiology. Radiat Prot Dosimetry 2019; 184: 138-147
- [3] Sandborg M, Nilsson Althén J, Pettersson H, et al: Patient organ radiation doses during treatment for aneurysmal subarachnoid hemorrhage. Clin Neuroradiol 2012; 22: 315-325

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kawauchi Satoru, Chida Koichi, Moritake Takashi, Hamada Yusuke, Tsuruta Wataro	4. 巻 82
2. 論文標題 Radioprotection of eye lens using protective material in neuro cone-beam computed tomography: Estimation of dose reduction rate and image quality	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physica Medica	6. 最初と最後の頁 192 ~ 199
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ejmp.2021.02.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawauchi Satoru, Chida Koichi, Moritake Takashi, Hamada Yusuke, Matsumaru Yuji, Tsuruta Wataro, Sato Masayuki, Hosoo Hisayuki, Sun Lue	4. 巻 -
2. 論文標題 TREATMENT OF INTERNAL CAROTID ANEURYSMS USING PIPELINE EMBOLIZATION DEVICES: MEASURING THE RADIATION DOSE OF THE PATIENT AND DETERMINING THE FACTORS AFFECTING IT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiation Protection Dosimetry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/rpd/ncz298	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawauchi Satoru, Chida Koichi, Hamada Yusuke, Tsuruta Wataro	4. 巻 15
2. 論文標題 Lens dose reduction with a bismuth shield in neuro cone-beam computed tomography: an investigation on optimum shield device placement conditions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Radiological Physics and Technology	6. 最初と最後の頁 25 ~ 36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12194-021-00644-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 川内 寛、千田 浩一、盛武 敬、濱田 祐介、依田 彰吾、佐久間 秀之、澤山 慧、田野 政勝
2. 発表標題 コーンビームCT撮影における水晶体防護具の試作 -防護具に用いる遮蔽物質の検討
3. 学会等名 日本放射線技術学会 第77回総会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Kawauchi, K. Chida, T. Moritake, Y. Hamada, Y. Matsumaru, H. Hosoo, L. Sun, M. Tano.
2. 発表標題 Radiation Dose Analysis of Internal Carotid Aneurysm Treatment With Flow Diverter Stent: Measurement of peak skin dose and lens doses
3. 学会等名 European Congress of Radiology 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川内 寛、千田 浩一、濱田 祐介、依田 彰吾、佐久間 秀之、澤山 慧、時森 貴央、阿部 凌那、鶴田 和太郎、細尾 久幸、藤谷 茂太、田野 政勝
2. 発表標題 コーンビームCT撮影における水晶体線量の低減 - ビスマスシールドの配置条件の検討 -
3. 学会等名 第36回NPO法人日本脳神経血管内治療学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川内 寛、千田 浩一、盛武 敬、濱田 祐介、依田 彰吾、佐久間 秀之、澤山 慧、時森 貴央、阿部 凌那、鶴田 和太郎、細尾 久幸、藤谷 茂太、田野 政勝
2. 発表標題 脳血管内治療における患者水晶体線量 -水晶体被ばくの変遷と線量低減の試み-
3. 学会等名 第36回NPO法人日本脳神経血管内治療学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川内 寛、千田 浩一、濱田 祐介、佐久間 秀之、依田 彰吾、鶴田 和太郎
2. 発表標題 血管撮影装置を用いた頭部CBCT撮影における水晶体線量の低減: 防護具の至適配置条件の検討
3. 学会等名 日本放射線技術学会 第75回東京支部学術大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	千田 浩一 (Chida Koichi)		
研究協力者	鶴田 和太郎 (Tsuruta Wataro)		
研究協力者	盛武 敬 (Moritake Takashi)		
研究協力者	濱田 祐介 (Hamada Yusuke)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------