

頭部CT検査において管電流変調技術の併用が介助者の眼の水晶体の被ばく線量に及ぼす影響の検証

Verification of the effect of combined use of tube current modulation technology on the exposure dose of the lens of the caregiver's eye in head CT examination

高梨 将大¹⁾, 橋本 純一¹⁾, 圓谷 明男¹⁾, 新井 元¹⁾, 萩原 紗弥香¹⁾, 新井 誠¹⁾, 増田 光一¹⁾
片田 芳明²⁾, 菅原 信二²⁾

1) 東京医科大学茨城医療センター 放射線部
2) (医師) 東京医科大学茨城医療センター 放射線科

Key words: occupational exposure, lens, equivalent dose, tube current modulation technology, computed tomography

[Abstract]

The International Commission on Radiological Protection has drastically reduced the threshold dose for vision-impairing cataracts, based on new epidemiological findings. Based on this, the revised Regulation on Prevention of Ionizing Radiation Hazards were enforced in Japan from April 1, 2021, and a new equivalent dose limit was set for the lenses of eyes of occupationally exposed persons.

In recent years, use of CT devices equipped with tube current modulation technology for the purpose of reducing the absorbed dose to organs located on the anterior surface of the body has become widespread.

The results of this study demonstrated that in the case of head CT examination performed using this technology, the exposure dose to the lens of the eyes of an occupationally exposed person assisting in the CT examination room could be reduced by up to 16.2 %.

【要 旨】

国際放射線防護委員会が、新たな疫学的知見を基に視覚障害性白内障のしきい線量を大幅に引き下げた。これに基づき、日本でも2021年4月1日より改正電離放射線障害防止規則が施行され、放射線業務従事者の新たな眼の水晶体の等価線量限度が設定された。

近年、体前面部に位置する臓器吸収線量を低減する目的で、管電流変調技術を搭載したCT装置が普及している。

本研究により、頭部CT検査において本技術を併用することで、CT検査室内で被検者の介助を行う放射線業務従事者の眼の水晶体の被ばく線量が、最大で16.2 %低減できることが分かった。

諸 言

2021年4月1日から改正電離放射線障害防止規則(以下、改正電離則)が施行された¹⁻⁴⁾。これにより、放射線業務従事者(以下、従事者)の眼の水晶体(以下、水晶体)の等価線量限度が見直された。これは、水晶体に関する新たな疫学的知見⁵⁻⁷⁾により、国際放射線防護委員会(International Commission on Radiation Protection:ICRP)が、視覚障害性白内障(以下、白

内障)のしきい線量を0.5 Gyに大幅に引き下げたことに起因している⁵⁻¹⁵⁾。

改正電離則が医療分野の従事者に及ぼす影響として、各種放射線防護対策を行わなかった場合、改正電離則の等価線量限度を超過する従事者が一定数発生することなど、数多くの問題が浮き彫りとなり¹⁾、関連文献も多く報告されている¹⁶⁻²²⁾。白内障のしきい線量が「急性・分割・遷延」など被ばく形態に差がないことを鑑みれば、撮影室内での介助などが単回では微々たる線量であっても、一定回数を長期にわたり被ばくする機会を有する医師や診療放射線技師をはじめとした医療従事者の職業被ばくは、厳密に管理され、できる限り低減する不断の努力が求められる。

頭部CT検査における水晶体への被ばく低減技術として、ビスマス製防護シールドを用いた報告があるが、金属アーチファクトによるCT値の変化およびノイズによりSD(Standard Deviation)が上昇する問題があった²³⁻²⁴⁾。この患者の水晶体の被ばく線量を低下させる効果をX線照射(装置側)で達成する技術と

TAKANASHI Masato¹⁾, HASHIMOTO Junichi¹⁾,
TSUMURAYA Akio¹⁾, ARAI Gen¹⁾,
HAGIWARA Sayaka¹⁾, ARAI Makoto¹⁾,
MASUDA Kouichi¹⁾, KATADA Yoshiaki²⁾,
SUGAHARA Shinji²⁾

1) Tokyo Medical University Ibaraki Medical Center Department of Radiology

2) Tokyo Medical University Ibaraki Medical Center Radiology

Received January 23, 2022; accepted December 24, 2022

して、臓器に則した管電流変調技術（Organ-Based Tube Current Modulation：OB-TCM）が開発され、本技術が搭載された装置が各社から販売されている²⁵⁻²⁶⁾。当院で使用しているCT装置であるAquilion ONE / PRISM Edition（キヤノンメディカルシステムズ）にも搭載されており、OEM（Organ Effective Modulation）と呼称されている。われわれは必要に応じてOEMを併用した撮影を行っている。

OEMは患者前面部の臓器吸収線量を低減するだけでなく、撮影室内のCT装置周辺の線量分布にも影響を及ぼすことが考えられる。これは、介助者になり得る従事者の職業被ばく低減の観点からも有用となる可能性が考えられた。OEMを併用することで、画質を担保しつつ患者被ばく線量を低減できることを報告した文献は散見されるが²⁷⁻³⁰⁾、介助者の視点に立った従事者の職業被ばく低減について述べた報告はない。

本研究の目的は、当院で臨床に使用している頭部CT検査に使用しているプロトコルにおいて、OEM併用の有無により、介助者の水晶体の被ばく線量をどの程度低減できるかを、ポケット線量計の1 cm線量当量の相対値を比較することにより定量的に評価することである。

方 法

1. 使用機器

〈CT装置〉

Aquilion ONE / PRISM Edition（TSX-306A：キヤノンメディカルシステムズ）

〈散乱体〉

頭部ファントム（PBU-1型：京都科学）（以下、ファントム）

〈線量計〉

電子ポケット線量計（PDM-127B-SZ：日立製作所）
（以下、線量計）

2. 測定プロトコル

本研究では、梗塞プロトコル、経過観察プロトコル、対比プロトコル1および2の4プロトコルを測定した。

梗塞プロトコル（OEM－）と経過観察プロトコル（OEM＋）は、当院で臨床に使用しているプロトコルである。対比プロトコル1および2は、臨床では使用していないプロトコルであるが、梗塞プロトコルと経過観察プロトコルはスキャン方式やローテーションタイムといった諸条件が異なるため、スキャン方式ごとのOEM併用による低減率を算出する目的で測定した。対比プロトコル1は、経過観察プロトコルでOEM－としたプロトコルであり、対比プロトコル2は、梗塞プロトコルでOEM＋としたプロトコルである（Table 1）。

CTDI_{vol} やDLPは、Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM) を用いた線量レポート（DICOM Radiation Dose Structured Report：RDSR）の線量画像情報（DICOM Secondary Capture：SC）から取得した。

3. 測定方法

3-1. 幾何学的配置

ガントリー中心にファントムを配置し、介助時に水晶体が最も散乱体に近接する場合を想定し、ガントリー中心から50 cmの位置に方向依存性を考慮し、線量計の検出面をガントリー中心に向けて配置した^{16, 22)}（Fig.1）。

線量計を空間に配置するために、線量計固定具を使用した（Fig.2）。

Table 1 List of protocols used in this study

	対比プロトコル1	経過観察プロトコル	対比プロトコル2	梗塞プロトコル
スキャン方式	ヘリカル	ヘリカル	コンベンショナル	コンベンショナル
管電圧（kV）	120	120	120	120
管電流（mA）	AEC	AEC	AEC	AEC
ローテーションタイム（s/回転）	0.75	0.75	1.5	1.5
総撮影時間（s）	6.12	6.12	6.00	6.00
CTDI _{vol} （mGy）	38.30	32.60	52.94	59.52
DLP（mGy・cm）	767.00	653.30	799.40	898.70
SD	2.5	2.5	2.5	2.5
OEM 併用	－	＋	＋	－
臨床における使用	×	○	×	○

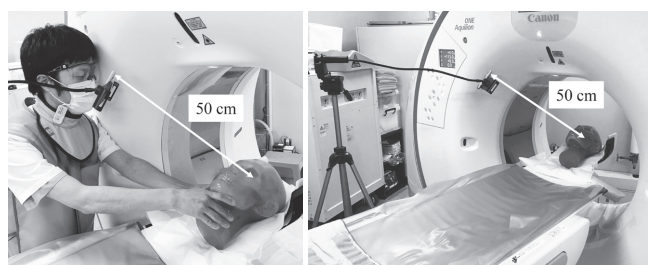


Fig.1 Geometric arrangement of phantoms and dosimeters

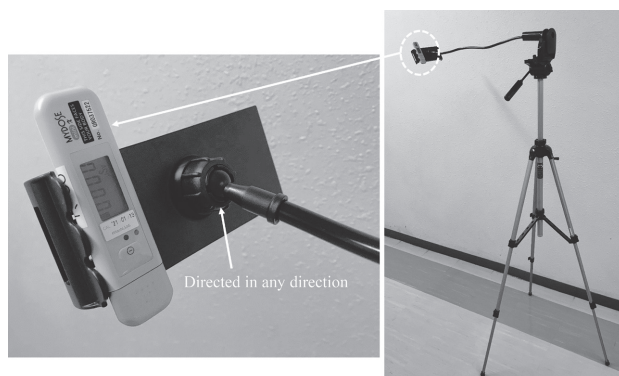


Fig.2 Dosimeter fixturing

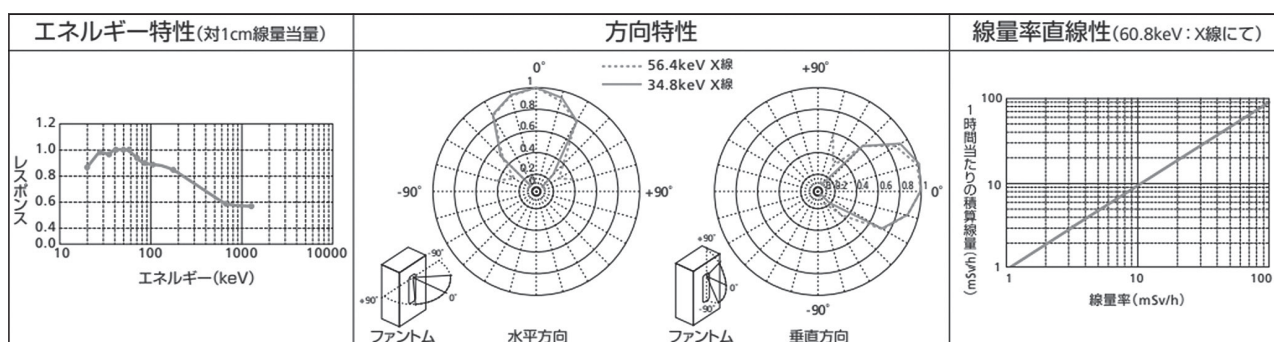


Fig.3 Characteristics of the dosimeter (Published with permission from Hitachi, Ltd.)

3-2. 測定回数

それぞれのプロトコルの撮影条件で撮影を行い、散乱線量を実測した。測定はそれぞれ10回行った。

3-3. 各種係数の扱い

水晶体の吸収線量を算出するために必要な係数を以下に列挙する。

①線量計の校正定数（校正証明書により確認）

②温度気圧補正係数

③線量計の特性（エネルギー依存性、方向依存性、線量率直線性）

④後方散乱係数（Backscatter Factor : BSF）³¹⁾

⑤組織吸収線量変換係数

⑥1 cm線量当量から3 mm線量当量への変換係数

さまざまな係数のうち、明確なのは校正定数が1.00であることと、線量計が半導体検出器であり、温度気圧補正係数を考慮する必要がないことのみであった。また線量計の特性のうち関与できるのは方向依存性のみであり、前述のように、検出感度が最大となるよう

測 定 線 種	X(γ)線(20keV~)
検 出 器	半導体検出器
エ ネ ル ギ ー 特 性	30~200keV、±30%以内(²⁴¹ Am、ファントムを用いて校正)
測 定 範 囲	1μSv~15v、1μSv/h~100mSv/h
積 算 指 示 誤 差	±10%以内(10μSv~15v)
線 量 率 指 示 誤 差	±20%以内(10μSv/h~100mSv/h)
線 量 率 直 線 性	±20%以内(10μSv/h~100mSv/h)
表 示	4桁液晶表示、単位、電池残量
イ ミ ュ ニ テ ィ 特 性	0.15~200MHz: 150V/m 200~1000MHz: 100V/m(IEC61326-1:2006)
そ の 他	データリセット、バッテリーダウン表示、オーバフロー表示
使 用 温・湿 度 範 囲	-10~+50℃、90%RH以下(結露なし)
電 源	コイン形リチウム電池(CR2450B) 連続で約350時間使用可能

Fig.4 Dosimeter specifications
(Published with permission from Hitachi, Ltd.)

に、検出面の向きについては最大限配慮した。

参考として、線量計の特性や仕様について、取扱説明書から引用する (Fig.3, Fig.4)。

本来、しきい線量と比較可能な水晶体の吸収線量を把握するためには、測定値に対してさまざまな係数を乗ずる必要がある。これらの変換係数を取得するには、散乱線の実効エネルギーを測定する必要があるが、当院では、実効エネルギーを測定するための線量計を保有していないため、把握できない。

しかし、本研究はあくまで各プロトコルにおける線量計測定値の比較であり、線量計のみでも低減率については評価可能と考えられた。よって方向依存性以外

の線量計の特性（エネルギー依存性、線量率直線性）や④～⑥については、散乱線の実効エネルギーが不明であると明確な値が分からないため、考慮していない。

4. 統計解析

本研究では、プロトコルごとの測定値に有意差があるかを検証するため、取得した標本の基データについて統計解析を行った。解析ソフトウェアはIBM SPSS Statistics Ver.28を使用し、有意水準を5%未満とし、Kruskal-Wallis検定を行った。

5. 研究対象および倫理的配慮

本研究は、東京医科大学 医学倫理審査委員会による承認を受け実施した。

結 果

各プロトコルにおける測定結果を示す（Table 2）。介助者の水晶体位置における1 cm線量当量の平均値は、対比プロトコル1で421.7 μ Sv、経過観察プロトコルで353.3 μ Sv、対比プロトコル2で431.6 μ Sv、梗塞プロトコルで476.2 μ Svであった。測定の不確かさは、Table 2に示すように、ほとんど認められなかった。

また標本の基データを統計解析したところ、漸近有意確率は0.001未満となり（ $P < 0.05$ ）、各プロトコルの測定値には有意差があった。

考 察

1. 水晶体被ばく線量の低減率

各プロトコルにおける測定値の平均値の結果から、経過観察プロトコルは梗塞プロトコルと比較し、1 cm線量当量を25.8%低減可能であった。同様に、スキャン方式ごとのOEM併用の低減率を算出した。まず、経過観察プロトコルは対比プロトコル1と比較し、1 cm線量当量を16.2%低減可能であった。次に、対

比プロトコル2は梗塞プロトコルと比較し、1 cm線量当量を9.4%低減可能であった。よってOEM併用による1 cm線量当量の低減率は、ヘリカルスキャンで16.2%、コンベンショナルスキャンで9.4%であった。スキャン方式間の低減率に6.8%の差異が生じた要因として、オーバースキャンやローレーションタイム、自動管電流調整機構などさまざまな因子が、散乱線の挙動に影響を及ぼしている可能性が推察された。以上より、OEM併用は患者の水晶体被ばくを低減するだけではなく、いずれのスキャン方式の場合であっても、介助者の被ばく低減の観点からも有益であった。

当院におけるプロトコルのすみ分けとして、脳梗塞の精査には「early CT sign」が重要であり、正確な病態の評価には「白質／灰白質の境界不明瞭化」「脳溝の消失」「閉塞動脈の高吸収域」が判別可能な画像が求められる³²⁾。これらの条件を満たす梗塞プロトコルは、脳梗塞に対する診断能は高いが、患者被ばく線量の観点からは、頭部CT検査の全症例に用いる必要はない。よって患者被ばく線量をできる限り低減する目的で、頭部打撲など明らかに検査目的が「脳梗塞除外ではない検査」については、経過観察プロトコル³²⁻³³⁾で撮影している。明らかな外傷であっても、何らかの脳実質の器質的疾患が背景に存在する可能性があるため、当院では経過観察プロトコルと梗塞プロトコルのSDを同一にしている。

当然ではあるが、プロトコルの設定については診療放射線技師が単独で決定せず、施設ごとに読影医やIVR術者などと協議の上、厳密に決定しなければならない。

2. 新しい水晶体の等価線量限度との比較

頭部CT検査は、疾患の状態を把握するために、何度も繰り返し撮影する場合がある。また患者は意識がない、またはもうろうとしている場合もある。その際には意思の疎通が図れないため、必然的に介助機会が多くなる。

また画像診断管理加算が要求する施設基準に関し

Table 2 Measured value at the caregiver's lens position (1 cm dose equivalent)

	Comparison protocol 1	Follow-up protocol	Comparison protocol 2	Infraction protocol
Combined with OEM	—	+	+	—
Mean $\pm$ SD (μ Sv)	421.7 $\pm$ 0.8	353.3 $\pm$ 2.4	431.6 $\pm$ 2.3	476.2 $\pm$ 2.4
Median [range] (μ Sv)	422.0 [420 - 423]	353.5 [349 - 356]	432.0 [428 - 434]	475.5 [473 - 479]
Relative value of mean value (%)	88.6	74.2	90.6	100.0

て、CT撮影に係る部門に専従として勤務する診療放射線技師が求められる場合があり³⁴⁾、特定の診療放射線技師が多くの特介機会に遭遇することが想定される。加えて、そのような施設は地域の中核となる大規模施設である場合が多く、撮影件数自体が多い。そうした背景を鑑みた場合、水晶体の等価線量限度と比較する際、単年度の許容値である50 mSvと比較するのではなく、5年平均となる20 mSvと比較し、安全側を考えるべきである。

以上を踏まえ、各撮影プロトコルで特介することを想定した場合、水晶体の累積線量が20 mSvに到達するのは、経過観察プロトコルで57回、梗塞プロトコルで42回であった(回数なので、小数点以下を切り上げて整数表記した)。回数については、前述したように、測定値から実際の水晶体等価線量(X線なので放射線加重係数は1)を見積もるには、さまざまな係数を乗じる必要があるため、あくまで概算値である。

3. 臨床でOEMが特介者被ばくの低減に有用である撮影(部位)

前述したが、OEMが有用と考えられるのは、体前面部に放射線感受性の高い組織・臓器が存在する場合である。以下に、頭部撮影以外で、従事者による特介機会が想定され、OEMを併用することが有用と考えられる撮影(部位)を列挙する。

3-1. 意識混濁時や外傷時の頸部撮影

甲状腺は、組織荷重係数が0.04⁸⁾と放射線感受性が高いため、OEM併用が有用である。これまで同様、意思の疎通が図れない場合や、外傷による痛みがある場合には、特介が必要な状況が想定される。具体的には、撮影室内でアンビュバックを使用しながら撮影をする場合などが挙げられる。

3-2. 幼児や小児の撮影

幼児や小児は成人と比較して、放射線の身体に及ぼす影響が大きいことは周知の事実である。よって本邦の診断参考レベル(National diagnostic reference levels in Japan : DRLs 2020)³⁵⁻³⁶⁾でも年齢や体重ごとにDRL量が与えられているが、プロトコルを細分化して作成することは当然として、OEM併用は、患者被ばく線量低減の観点からも効果的であると考えられる。また検査に対する恐怖心などから指示が通らない場合も多いため、必然的に特介機会も頻回となる。以上より、特に幼児や小児のプロトコルには、通常のプロト

コルとは別に「特介を前提としたプロトコル」を作成し、画質を担保した上でOEMの併用を活用することが、職業被ばく低減の観点からも有用と考えられる。

4. 放射線防護眼鏡(以下、防護眼鏡)装着の順守

特介者の職業被ばくは不可避であるため、第一に徹底した放射線防護措置を講じることが重要である。CT検査における特介に関して、水晶体の防護に焦点を絞った場合、防護眼鏡の装着が等価線量を低減する上で最も効果的である。文献により防護眼鏡の遮蔽効果は異なるが、これらは各施設で使用している装置の実効エネルギーや防護眼鏡の鉛当量と因果関係がある。いずれにしても、装着することにより水晶体の等価線量を大幅に低減できるため³⁷⁻³⁸⁾、不均等被ばく環境下での業務に就く場合は、標準防護策とすべきである。

5. 水晶体等価線量に特化した個人線量計について

改正電離則では、水晶体の等価線量を評価する方法として、「放射線の種類およびエネルギーの種類に応じて、1 cm線量当量、3 mm線量当量または70 μ m線量当量のうちいずれか適切なものにより算定する必要がある」と定義している¹⁾。法律上は、水晶体の等価線量の算定は3 mm線量当量の測定による算定を原則としつつ、頸部の個人線量計の70 μ m線量当量または1 cm線量当量の大きな値を水晶体の等価線量として扱っても差し支えないとしている。この部分に関して、頸部と水晶体位置の高さが異なることによる測定値の違い、個人線量計の方向依存性の問題、頸部の個人線量計では防護眼鏡の遮蔽効果が反映されていないことなどが議論されている³⁹⁻⁴⁰⁾。

以上を踏まえ、現在、従事者の水晶体の等価線量をより正確に評価するため、3 mm線量当量測定専用の個人線量計(以下、水晶体専用線量計)が製品化され、実臨床において使用されている。

当院では、厚生労働省の資料¹⁾や、自施設におけるこれまでに蓄積した測定値を踏まえ、水晶体専用線量計で評価することが妥当である(年間の水晶体の等価線量が20 mSvを超過することが推測される従事者)と判断した血管撮影業務に従事する医師にのみ、水晶体専用線量計を装着している。法律的に、不均等被ばくを伴う業務に就く従事者は、2個の線量計を装着する義務があることは大前提である。ただし、医療財源は有限であるので、等価線量や実効線量の算出過程など何も理解せずに測定業者任せにし、全ての従事者に3個以上の個人線量計を装着することは、非常に対費用

効果が悪いだけでなく、的確な個人線量管理が行えていないと考えられる。厚生労働省の資料¹⁾にもある通り、従事する業務内容と水晶体の等価線量には密接な関係があるため、自施設の個人線量を洗い出し検査内容との相関を把握するなど、しっかりと検証を行った上で水晶体専用線量計を装着する従事者を抜粋することが、内容を熟知した放射線安全管理を遂行するために重要であると考えられる。

6. 測定値から実際の水晶体の等価線量に変換する際に必要な各種係数について

本研究では、あくまでOEM併用の有無による1 cm線量当量の相対的な比較を行ったのみである。考慮したのは、線量計の校正定数のみであり、実際の水晶体の等価線量である3 mm線量当量を算出するために必要な各種係数については考慮していない。一般的に散乱線は直接線と比較し、実効エネルギーは低エネルギー側にシフトすることが知られている。また実効エネルギーの低下に伴い、1 cm線量当量と3 mm線量当量は乖離することが知られており、40 keV未満では3 mm線量当量>1 cm線量当量となる¹⁾。以上より、仮に全ての係数が把握でき測定値に乗じた場合、「考察2」で提示した回数よりも少ない介助回数で、水晶体は各年平均の水晶体の等価線量限度である20 mSvに到達することが推測される。

7. 業者ごとのOB-TCMの特徴について

OB-TCMに関し、製造業者によっては、画質のSDを担保するために、前面部で減らした分のX線量を後面部で増加させる機種も存在する⁴¹⁾。そのような機種においては、OB-TCMの併用により測定値が減少するとは言い切れない。

8. 介助者被ばく低減に特化したプロトコルの創出

従事者が水晶体の等価線量限度を超過し、放射線診療に就くことができなくなる状況も想定されている¹⁾。今後は、あくまで「防護の最適化」を順守した患者被ばく線量の低減を第一とし、画像の診断能を担保した上で、さらに術者や介助者の職業被ばくを低減する技術や工夫が、これまで以上に要求されると思われる。

9. 新たな疫学的知見による電離則改正の可能性

実効線量を算出する際の組織加重係数は、これまで2度見直されてきた (Table 3)⁴²⁻⁴⁵⁾。また今回、水晶

体のしきい線量の見直しもあった。今後、新たな疫学的知見などにより、しきい線量が再考される状況も想定される。そのような場合には、今回の改正電離則と同様に、等価線量限度の見直しにつながる可能性も十分考えられる。

また従事者の実効線量は50年間放射線業務に従事することを想定して算出されているが、仮に水晶体等価線量限度のボーダーラインである年間平均20 mSvを50年継続した場合、20 mSv×50年間=1000 mSvとなり、水晶体のしきい線量を超過する。1000 mSvの等価線量を被ばくした場合の白内障の発生は、2%と見積もられている¹²⁾。実効線量についても同様であるが、リスクを完全に0とした場合、臨床上不都合が生じる（著しく業務が制限される、もしくは被ばくを伴う業務が行えなくなる）ため、ある一定のリスクを許容している⁴⁶⁾。よって改正電離則を順守していれば「放射線による身体的影響は一切ない」という考えは誤りであるため、提示された値の根拠を知ることが非常に重要である。放射線安全管理に携わる業務を行っていない場合でも、従事者として働く診療放射線技師は、これらの基礎的事項を熟知した上で放射線を取り扱うべきである。

繰り返しになるが、水晶体の放射線影響の疫学的知見によれば、影響は蓄積され回復することがないため、長年にわたり血管造影業務などに従事していた場合などは、改正電離則を順守していても白内障になる可能性がある。また「考察2」でも述べたように、CT検査の介助者となる機会の多い診療放射線技師は、一定回数以上の介助について防護眼鏡を装着せずに行った場合、白内障のしきい線量に到達する可能性があることを肝に銘じ、放射線業務に従事する必要がある。OEM

Table 3 Transition of tissue weighting factors

組織・臓器	組織加重係数		
	ICRP103 (2007年)	ICRP60 (1990年)	ICRP26 (1977年)
生殖腺	0.08	0.20	0.25
赤色骨髄・肺	各0.12	各0.12	各0.12
結腸・胃	各0.12	各0.12	項目なし
乳房	0.12	0.05	0.15
甲状腺	0.04	0.05	0.03
肝臓・食道・膀胱	各0.04	各0.05	項目なし
骨表面	0.01	0.01	0.03
皮膚	0.01	0.01	項目なし
唾液腺・脳	各0.01	項目なし	項目なし
残りの組織・臓器	0.12	0.05	0.30

を併用したプロトコルは、前述したさまざまな事象を考慮した場合、積極的な使用が推奨される。

以上より、従事者の職業被ばくの低減を考えた場合にも、「As Low As Reasonably Achievable」という患者の撮影条件を決定する場合と同様に、できる限り職業被ばくを抑えるという意識が重要であると考えられる。

リミテーション

1. 本研究は、自施設で保有するファントムや線量計を用いて、OEM併用の有無による職業被ばくの相対値を調査したものである。実際の水晶体の等価線量を厳密に算出するには、散乱線の実効エネルギーを測定する必要があるため、高価な測定器などを要する。よってさまざまな係数については考慮していない。
2. 電子ポケット線量計自体が、メーカー公称値で積算指示誤差として $\pm 10\%$ 程度有することなども鑑み、本研究では10回の測定値により比較を行った。測定値は機器的な誤差を含むことも考慮する必要がある。

以上より、電子ポケット線量計を用いた測定法には限界があるが、保有施設数も多く、測定個数に応じ費用を要する個人線量計と異なり、何度も繰り返し測定できる点では利用価値が高いと考える。

結 語

本研究では、頭部CTにおけるOEMを併用する経過観察プロトコルは、OEMを併用しない梗塞プロトコルと比較し、介助者の水晶体被ばく線量を1 cm線量当量において、25.8%低減できることが明らかとなった。また対比プロトコル1および2の測定により、スキャン方式ごとのOEM併用による低減率を算出したところ、ヘリカルスキャンで16.2%、コンベンショナルスキャンで9.4%低減できることが明らかとなった。

また職業被ばくを低減する上で防護手順が複雑であると、臨床現場では普及しないことが考えられる。そのような観点からも、OEM併用は撮影者のワークフローを阻害する因子（防護板を用意するなど）がなく、浸透しやすいと考えられる。

従事者の職業被ばくを取り巻くさまざまな課題を解決する上で、放射線を取り扱うプロフェッショナルで

あり、人体に放射線を照射することを国家資格で認められた診療放射線技師の担う役割は非常に大きい。今後は、画像の診断能を担保した上で、術者や介助者として被ばくを余儀なくされる場面を有する従事者について、その職業被ばくを極力低減できる手技的工夫やプロトコルの創出が、これまで以上に要求されることが推測される。

利益相反

本研究に関して開示すべき利益相反事項はない。

謝 辞

本研究に際し、多大なるご協力を頂きました東京医科大学茨城医療センター 放射線部諸兄に深謝致します。

なお、本研究の一部要旨は2021年11月12日に開催された第37回日本診療放射線技師学術大会において発表した。

表の説明

Table 1	本研究に用いたプロトコルの一覧表
Table 2	介助者の水晶体位置における測定値 (1 cm線量当量)
Table 3	組織加重係数の変遷

図の説明

Fig.1	ファントムや線量計の幾何学的配置
Fig.2	線量計固定具
Fig.3	線量計の特性 (日立製作所に許可を得て掲載)
Fig.4	線量計の仕様 (日立製作所に許可を得て掲載)

参考文献

- 1) 厚生労働省：眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会。 https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_02959.html (Accessed 2022.01.18)
- 2) 小田雄二：医療被ばく管理の国内動向。日放技学誌 (0369-4305), 75巻12号, 1492-1493, 2019年。
- 3) 諸澄邦彦：電離放射線障害防止規則の改正について (上) -改正の概要と関連事業-。日放技誌 (2187-2538), 67巻11号, 1177-1182, 2020年。
- 4) 諸澄邦彦：電離放射線障害防止規則の改正について (下) -眼の水晶体の検査と健康診断-。日放技誌 (2187-2538), 68巻1号, 60-66, 2021年。
- 5) Minamoto A: Cataract in atomic bomb survivors. Int J Radiat Biol, 80: 339-345, 2004.
- 6) Neriishi K: Postoperative cataract cases among atomic bomb survivors: radiation dose response and threshold. Radiat Res, 168: 404-408, 2007.

- 7) Worgul BV et al.: Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures. *Radiat Res*, 167, 233-243, 2007.
- 8) ICRP Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP*, 37: 1-332, 2007.
- 9) ICRP Publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs--threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann ICRP*, 41: 1-322, 2012.
- 10) 浜田信行, 他: 医療放射線被ばくの疫学とリスク推定に関する最近のトピックス. *保健物理* (0367-6110), 53巻3号, 136-145, 2018年.
- 11) 浜田信行: 低線量被ばくによる放射線白内障の評価と課題放射線作業員に対する水晶体等価線量限度の改訂: 現行の限度との違い, 規制動向, 放射線影響の観点からの課題. *日本白内障学会誌* (0915-4302), 30巻1号, 51-53, 2018年.
- 12) 浜田信行: NCRP Commentary No.26 「眼の水晶体に対する放射線線量限度に関するガイダンス」の概要. *保健物理* (0367-6110), 52巻2号, 77-87, 2017年.
- 13) 赤羽恵一: 水晶体の放射線防護に関する専門研究会追加報告 (III) —最近の国外動向—. *保健物理* (0367-6110), 50巻4号, 262-268, 2015年.
- 14) 塚本篤子: 低線量被ばくによる放射線白内障の評価と課題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* (0915-4302), 30巻1号, 63-64, 2018年.
- 15) 竹井泰孝: HOTな話題をお届け! HEART TOPIC 正しい放射線防護を繰り返し学ぶ—水晶体の被ばく線量限度見直しを受けて—. *ハートナーシング* (0914-2819), 30巻11号, 1138-1141, 2017年.
- 16) 藤淵俊王: 放射線診療従事者の職業被ばくと防護対策. *福岡医学雑誌* (0016-254X), 110巻4号, 185-194, 2019年.
- 17) 藤淵俊王: 医療分野における職業被ばくと放射線防護—放射線診療従事者の不均等被ばく管理—. *保健物理* (0367-6110), 53巻4号, 247-254, 2018年.
- 18) 藤淵俊王, 他: 放射線診療従事者の不均等被ばく管理の実態に基づく水晶体被ばく低減対策の提案. *日放技学誌* (0369-4305), 77巻2号, 160-171, 2021年.
- 19) 飯塚崇文, 他: CTガイド下IVRにおける術者頭頸部被ばくの測定. *日放技学誌* (0369-4305), 75巻7号, 625-630, 2019年.
- 20) 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* (0369-4305), 76巻1号, 26-33, 2020年.
- 21) 廣澤文香, 他: オーバーテーブル式X線管形TV装置を用いたERCP検査における放射線防護具使用時の術者被ばく低減効果. *日放技学誌* (0369-4305), 76巻1号, 54-63, 2020年.
- 22) 宮島隆一, 他: X線CT撮影の介助時における医療従事者被ばくの効果的な防護方法について. *日放技学誌* (0369-4305), 74巻4号, 326-334, 2018年.
- 23) Mukundan S, et al.: MOSFET dosimetry for radiation dose assessment of bismuth shielding of the eye in children. *AJR Am J Roentgenol*, 188(6), 1648-1650, 2007.
- 24) 高木 卓, 他: 頭部CT検査におけるビスマス含有放射線防護シートの使用方法の検討 (第68回総合学術大会放射線防護・管理関連演題発表後抄録). *放射線防護分科会誌*, 2012年.
- 25) Wang J, et al.: Bismuth shielding, organ-based tube current modulation, and global reduction of tube current for dose reduction to the eye at head CT. *Radiology*, 262(1), 191-198, 2012.
- 26) Kim JS, et al.: New organ-based tube current modulation method to reduce the radiation dose during computed tomography of the head: evaluation of image quality and radiation dose to the eyes in the phantom study. *Radiol Med*, 122(8), 601-608, 2017.
- 27) 太田丞二, 他: 小児頭部CT検査におけるorgan-effective modulationを用いた水晶体の被ばく低減方法の検討. *日放技学誌* (0369-4305), 77巻4号, 326-334, 2021年.
- 28) 木寺信夫, 他: 頭部CT撮影における水晶体被ばくの低減を目的とした管電流変調技術の性能特性. *日放技学誌* (0369-4305), 76巻4号, 366-374, 2020.
- 29) 村松 駿: 胸部CTにおける被ばく低減機構 (Organ Effective Modulation) の出力線量と画質の評価. *日放技学誌* (2187-2538), 67巻8号, 810-816, 2020年.
- 30) 高城正宏, 他: 臓器感受性を考慮した被ばく低減機構 (organ effective modulation) の使用方法についての検討. *日放技学誌* (0369-4305), 74巻12号, 1406-1411, 2018年.
- 31) 日本放射線技術学会: 放射線医療技術学叢書 (25) 医療被ばく測定テキスト (改訂2版).
- 32) 日本放射線技術学会: 放射線医療技術学叢書 (27) X線CT撮影における標準化〜GALACTIC〜 (改訂2版).
- 33) Sun Kyung Jeon, et al.: Unenhanced 320-row multidetector computed tomography of the brain in children: comparison of image quality and radiation dose among wide-volume, one-shot volume, and helical scan modes. *Pediatric Radiology*, 48: 594-601, 2018.
- 34) 北村善明: 2012年度診療報酬改定 放射線医療における改定のポイントと評価 診療放射線技師から見た2012年度診療報酬改定の評価と影響. *INNERVISION* (0913-8919), 27巻5号, 102-103, 2012年.
- 35) J-RIME: Diagnostic reference levels based on latest surveys in Japan -Japan DRLs 2020-.
- 36) 公益社団法人日本放射線技術学会: 診断参考レベル運用マニュアル 2020版. 第1版.
- 37) 日本循環器学会, 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 (2021年改訂版).
- 38) 日本医学放射線学会, 他: 医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン. 2020年.
- 39) 両角拓哉, 他: 水晶体における放射線被ばく線量の測定と低減について. *長野市民病院医学雑誌* (2432-8537), 4巻, 47-51, 2020年.
- 40) 加藤京一, 他: 眼の水晶体に対する放射線防護眼鏡の開発. *昭和学会雑誌* (2187-719X), 80巻4号, 323-329, 2020年.
- 41) 布目晴香: 胸部X線CT検査における局所被ばく低減機構の出力線量の評価. *日放技学誌* (0369-4305), 70巻11号, 1297-1303, 2014年.
- 42) ICRP Publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP*, 21: 1-201, 1991.
- 43) ICRP Publication 26: 国際放射線防護委員会勧告. 日本アイソトープ協会, 1977年.
- 44) 丸山隆司, 他: X線診断による臓器・組織線量, 実効線量及び集団実効線量. *Radioisotopes* (0033-8303), 45巻12号, 761-773, 1996年.
- 45) 五十嵐隆元: 医療被ばくに対するICRPの考え方. *日放技学誌* (0369-4305), 76巻7号, 727-734, 2020年.
- 46) 日本放射線技術学会: 放射線医療技術学叢書 (31) 図解放射線防護ミニマム基礎知識.