

医療従事者の放射線被ばくと放射線白内障

永田 竜朗

産業医科大学眼科学

(2025 年 4 月 12 日受付)

要旨：2011 年 4 月、国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection : ICRP) は、職業被ばくの水晶体等価線量限度を、それまでの年 150mSv から 5 年平均で年 20mSv への大幅な引き下げを勧告した (ソウル声明)。日本でも 2021 年 4 月に電離放射線障害防止規則で水晶体等価線量限度を 100mSv/5 年以下かつ 50mSv/年未満へ大幅に改正した。このことは放射線白内障が従来考えられていた被ばく量より大幅に低線量で生じる可能性が認識されてきたことを意味し、放射線業務従事者の中でも日常的に放射線を治療や診断で使用し曝露している医療従事者の職業被ばくが懸念されるようになってきている。医療放射線業務従事者の放射線白内障についてこれまで調べられた報告はほとんどなく、我々が医療従事者で電離放射線健康診断対象者 360 人 (平均年齢 38.3 ± 10.4 歳) を簡易型水晶体微照カメラで精査・解析したところ、白内障有所見者 116 人 (平均年齢 43.7 ± 11.3 歳)、有所見率 32.2% ; 20 歳代 15.3%, 30 歳代 24.0%, 40 歳代 41.7%, 50 歳代 52.5%, 60 歳代 77.8% であった。単純比較はできないが、若年層はいずれの既報と比べても高い有病率であった。しかし、全対象者の 5 年間の累積水晶体等価線量平均は、 1.32 ± 4.33 (範囲 : 0~50.9) mSv で、全ての対象者が改正後の累積水晶体等価線量限度よりも小さく、放射線線量との相関は見いだせなかった。低線量被ばくが生体に及ぼす影響については未だ不明な点が多く安全の確証がないため、日常から最新の知識で正しく放射線を防護しておく必要がある。

(日職災医誌, 73 : 52—58, 2025)

キーワード

放射線被ばく, 医療従事者, 放射線白内障, 水晶体等価線量限度, 水晶体微照カメラ

はじめに

水晶体は生体内で最も放射線感受性が高い組織の一つである。国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection : ICRP) は、2011 年のソウル声明で、視力障害を来す放射線白内障のしきい線量を、 $>8\text{Gy}$ から 0.5Gy へ、また職業被ばくに対する眼の水晶体の等価線量限度を 5 年間の平均で年 20mSv かつ年最大 50mSv へ、被ばく許容量をそれまでの基準より大幅に引き下げた¹⁾。この声明後、世界各国で取り入れに向けた議論や法令の改正が進められ、日本では 2021 年 4 月に改正電離放射線障害防止規則が施行され、水晶体の等価線量限度を、『1 年につき 150mSv を超えない』から、世界標準である『5 年間に 100mSv 及び 1 年につき 50mSv を超えない』に大幅に下方修正した。放射線白内障が従来考えていた被ばく量より大幅に低線量で生じる可能性が出てきたことは、日常的に放射線を使用し治療

や診断を行っている多くの放射線業務従事者が職業被ばくですでに放射線白内障のリスクに曝されていることを意味している。

本稿ではまず放射線の基礎知識を再確認し、放射線白内障発生のメカニズムや分類についての知見について述べる。さらに、放射線業務に従事する医療従事者の放射線白内障の実態およびその防御方法について解説する。

放射線の基礎知識

放射線は、真空中や物質中を高速で飛ぶ粒子や電磁波であり、エネルギーを持っている。ぶつかった相手と相互作用を起こすものの一つの形態が電離放射線である。通常放射線といった場合は、電離放射線のことを示す。レントゲンや CT で使用される X 線や核医学検査で用いられるガンマ線は電磁波であるが、核医学治療で用いられるアルファ線やベータ線などは電磁波ではなく粒子線に分類される。粒子線には重さがあるというところが

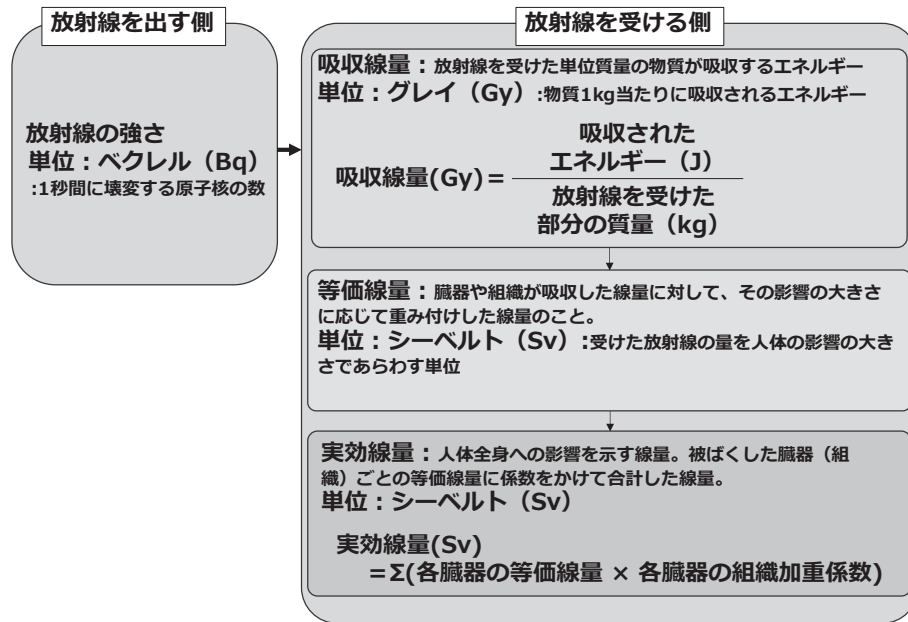


図1 放射線強度を表す単位

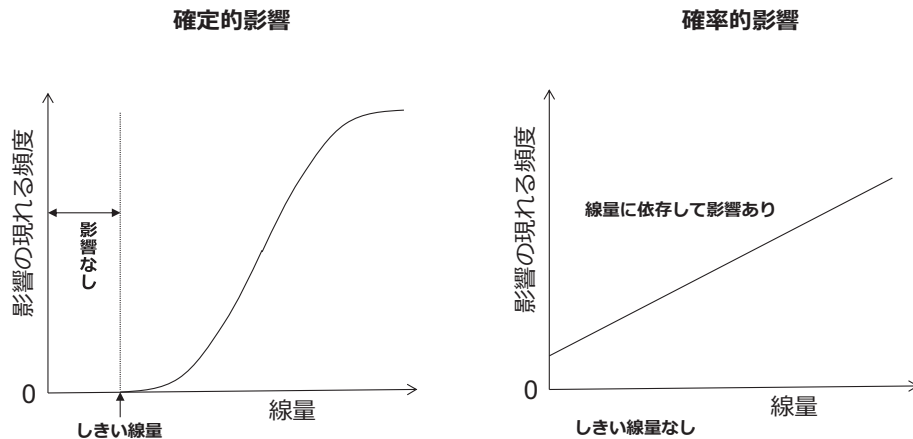


図2 確定的影響と確率的影響

電磁波との相違点である。

放射能や放射線を表す単位で近年用いられているのは、Bq (ベクレル)、Gy (グレイ) と Sv (シーベルト) である (図1)。これらはそれぞれ研究者の名前に由来しており、国際単位 (Système International : SI 単位) である。これらは、放射線を出す側の単位と受ける側の単位に大別でき、放射能の強さの単位である Bq は放射線を出す側の単位で、放射線を受ける側の単位が、Gy と Sv である。放射線が通った所では放射線のエネルギーを吸収するが、この吸収線量の単位が Gy ある。放射線の種類やエネルギーによって、吸収線量が同じでも人体への影響の大きさが変わるため、放射線の種類ごとに影響の大きさに応じた重み付けをした線量が等価線量、さらに放射線防護における被ばく管理のために考案されたものが実効線量で人体全身への影響を示し、この単位も Sv となっている。

放射線の人体への影響は、被ばくした本人に影響が出る「身体的影響」と、放射線を受けた人の子供や孫に影響が現れる「遺伝性影響」とに分けられるが、前者には、放射線を受けて数週間以内に症状が出る「急性障害」と、数カ月から数年後になって症状が出てくる「晩発障害」がある。さらに、放射線の人体への影響は、しきい線量のある「確定的影響」としきい値はないと仮定する「確率的影響」に分類することもできる (図2)。しきい線量は、同じ線量を多数の人が被ばくしたとき、全体の1%の人に現れる線量であり、脱毛、皮膚障害には存在すると考えられている。しきい線量がなく、線量に依存して影響があるとされるのが、確率的影響で、がん、白血病、遺伝性影響等がこれに分類される。これまで放射線白内障はしきい線量があるとされてきたが、より低線量からのリスクが指摘され、確率的影響で発生する可能性も考えられている。

放射線白内障の病態生理と所見の特徴

放射線白内障はX線などの電離放射線が水晶体に曝露することにより生じる。水晶体は造血管や消化管と同様、放射線感受性が高い組織である。水晶体の赤道部に存在する分裂能を有する Germinal zone の水晶体上皮細胞が放射線被ばくすると、細胞内にフリーラジカルが産生され、DNA が損傷、水晶体タンパク質の一部であるクリスタリンの畳み込み構造が異常変化する。また水晶体上皮細胞および有核水晶体幼弱繊維が変性して水晶体後極部へ移動し、後囊下白内障として観察される。

放射線白内障に特徴的な細隙灯顕微鏡検査所見として、初期に多色性の光沢を示す微細な点状混濁及び Vacuoles を生じた後、徐々に拡大し後囊下に斑状混濁、微小紅色顆粒状混濁となる。水晶体 Y 字縫合の解離である Water clefts を生じることもあり、進行すると中央が比較的透明なドーナツ状混濁を呈する²⁾³⁾。さらに透明部は前後2層の膜様混濁からなる皿状混濁となり視機能低下を生じる。原子爆弾による白内障に関する報告では放射線白内障の臨床像が詳細に記載され、約8割が上記の所見を示した⁴⁾。

動物実験では Germinal zone のみを保護した状態で水晶体に放射線照射しても白内障は生じないが、高度の被ばくでは皮質白内障や核白内障を生じたという報告もある⁵⁾。高線量放射線被ばく眼の放射線白内障の混濁の進行過程および形状は、加齢性白内障やステロイド白内障で見られる混濁とは異なり診断は比較的容易である。しかし、低線量被ばくによる放射線白内障は長い時間を経てゆっくりと進行し、視機能へ影響する後囊下白内障へと変化するのに長期間を要す。加齢性白内障でも、Vacuoles、後囊下混濁、Water clefts、皮質浅層混濁はみられるため、判断が難しい場合や原因が混在する場合がある。

発症に関連する危険因子としては、年齢、照射量、照射間隔が重要とされている。細胞分裂能の高い若年者では放射線感受性が高いため発症のリスクは高くなるという考え方がある一方、逆に若年者は細胞の修復能が高いため低線量の被ばくでは発症しにくいという考え方もある。また、同一線量の放射線であれば、照射を複数回に分けて曝露すると曝露間に細胞が修復するため、発症閾値は高くなると推測されている。しかし、低線量放射線被ばくによる白内障については未だエビデンスに乏しく、分かっていないことも多い。

放射線白内障分類方法について

放射線白内障は水晶体がX線などの電離放射線に曝露されることにより生じる。水晶体は造血管や消化管と同様、放射線感受性が高い組織である。水晶体の赤道部に存在する、分裂能を有する Germinal zone の水晶体上皮細胞が放射線被ばくすると、細胞内にフリーラジカル

が産生され、DNA が損傷、水晶体タンパク質の一部であるクリスタリンの畳み込み構造が異常変化する。また水晶体上皮細胞および有核水晶体幼弱繊維が変性して水晶体後極部へ移動し、後囊下白内障として観察される。

加齢性白内障の分類としては、Lens Opacities Classification System II, III (LOCS II, III)、Oxford 分類、WHO 分類、Wilmer 分類、Wisconsin 分類^{9)~10)}などが知られる。この中で Oxford 分類には、放射線白内障の特徴的な混濁の初期変化である Vacuoles, Focal dots, Water clefts についての評価項目があり放射線白内障の判定に有用ではあるが、他の分類には放射線白内障の初期病変の評価項目はなく放射線白内障の研究には不向きといえる。これまでの放射線白内障に関する調査では、特徴的な変化を考慮した Merriam-Focht scoring system による分類が使用されていることが多い¹¹⁾。この方法は、チェルノブイリ原発事故清掃者 8,607 人を対象にした調査にも使用された³⁾。この診断基準では、白内障の進行度合いに合わせて Stage1~5 に分けているが、Vacuoles 5 個未満など放射線白内障の極初期の微細な所見はさらに early pre-cataract changes に分類している。放射線被ばく早期の水晶体を長期経過観察し、初期混濁と視機能低下を生じる混濁に移行するかを観察するのに有効と考えられている。

東京電力福島第一原子力発電所の事故対応作業において、平成 23 年 3 月 14 日から同年 12 月 16 日まで、緊急被ばくの線量限度が 100mSv から 250mSv に引き上げられたが、この間約 2 万人が作業に従事した。佐々木らは、東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所での緊急作業従事者における放射線被ばくの水晶体への影響について、東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究 (NEWS) および労災疾病臨床研究事業費補助金分担研究として 2013 年から金沢医科大学や慶應義塾大学および 71 の眼科クリニックによる多施設で調査している¹²⁾。この調査では、WHO 白内障分類 (3 主病型：後囊下白内障 PSC 0~4、皮質白内障 C 0~4、核白内障 N 0~4) と金沢医科大学分類 (2 副病型：Waterclefts, Retrodots)、放射線白内障の微小混濁として重要な Vacuoles (VC0~3) が分類に用いられている。

医療現場での放射線被ばくの実態

日常的に放射線を使用し治療や診断を行っている多くの医療放射線従事者は、職業被ばくで既に放射線白内障のリスクにさらされているが、電離放射線健康診断 (電離放射線障害防止規則第 56 条) で 6 カ月以内毎に行われている白内障に関する眼の検診の多くはペンライトでチェックする程度で、微細な水晶体の変化は不明であった。また、これまで大規模に医療従事者の放射線白内障について詳細に調べた報告はなかった。そこで、我々は医療従事者の放射線白内障の実態について調査するた

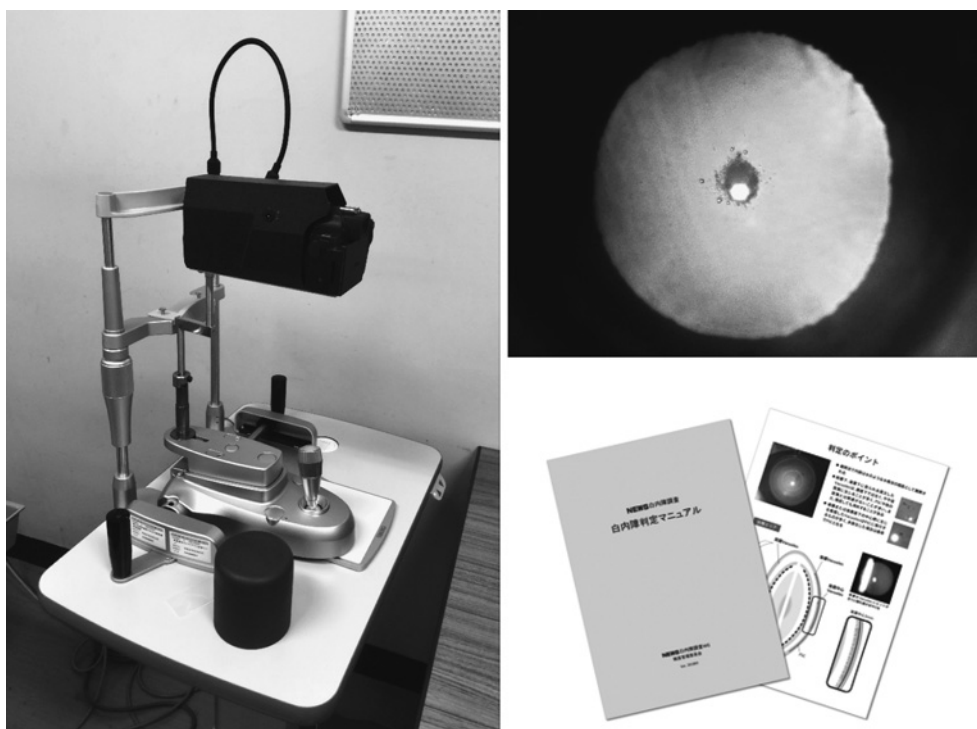


図3 簡易型水晶体徹照カメラ（瞳孔径測定機能付き白内障画像検査装置；LAVEOX 社）（左）と後囊下白内障徹照写真（右上）および白内障判定マニュアル（右下）

佐々木らが開発した簡易型水晶体徹照カメラは被写界深度（焦点深度）が約8mmあり、水晶体前部から後部まで、解像度の高い状態で混濁を正確に捉えることができる。白内障判定マニュアルは『東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究』で作成された。

め、簡易型水晶体徹照カメラ（図3）を用い、2021年10月～2023年3月産業医科大学及び病院の電離放射線健康診断の対象者390人に対して、水晶体精密検診を行いその結果を報告した¹³⁾。この研究では、過去5年間の累積水晶体等価線量が測定できなかった者や眼手術や眼の外傷、副腎皮質ステロイド使用など白内障誘因となる疾患の既往者を除いた360人（男性227人、女性133人、平均年齢 38.3 ± 10.4 歳）を解析の対象とした。個人被ばくは、線量蛍光ガラス製パッチ型個人線量計（ガラスパッチFX：千代田テクノル株式会社、東京、日本）を用いて測定した。視力検査（必要な場合は眼鏡矯正での検査）の後、簡易型水晶体徹照カメラ（図3）を用いて、水晶体の徹照写真を撮影した。異常を認めない者は異常なし、有所見者は要精密検査とし、眼科専門医が眼科外来での精査を行った。分類は、前項で述べたNEWSで作成された白内障判定マニュアル（図3）に示されている方法を用い、現法通り瞳孔中心3mm以内の所見で判定を行った。

結果であるが、白内障有所見者は116人（32.2%）で、平均年齢は、 43.7 ± 11.3 歳であった。母数や分類、検査方法が違うので単純には比較できないが、これはチェルノブイリ原発事故清掃者8,607人を対象にした調査では、総被曝線量約350mGy以上から白内障リスクが増加するとされ、事故から12年後の調査結果で、原子炉事故処理作業員（平均年齢45歳）の白内障有所見率は17%で、

同年代一般市民の5%に比べ有意に高かったと報告³⁾しているが、それよりも高い。また、今回と基本的に同じ検査評価手法を用いているNEWS白内障調査において、東京電力福島第一原発緊急作業従事者の7～9年目におけるVCの年代別有所見率は、30歳代7.4%、40歳代9.0%、50歳代11.1%、60歳代16.5%であった¹²⁾が、この調査と比較しても、本研究の有所見率は30歳代19.9%、40歳代41.7%、50歳代40.0%、60歳代55.6%で、本研究の方がそれぞれの年代において高い。

しかし、本研究全対象者の5年間の累積水晶体等価線量平均は、 1.32 ± 4.33 （範囲：0～50.9）mSvで、全ての対象者が改正後の累積水晶体等価線量限度である100 mSv/5年よりも小さかった。それにもかかわらず放射線白内障とも関連があるとされる後囊下のVacuolesの所見が高い割合でみられた原因の一つとして、線量測定が適正にできていない可能性が考えられた。現在では透視時などの作業時にパッチ型の個人線量計を防護衣の外と内の二カ所に付けるようになっているが、最近まで全国的にも法律の解釈の違いが施設によって存在しており、当院でも2021年3月まで1つの線量計パッチをほぼ100%防護衣の下に付けていた。よって今回の調査の水晶体等価線量は大幅に過小評価されている可能性が高いことが考えられた。また、5年よりも前の時点や当施設以外の外勤先で放射線被曝を受けている可能性などが考え



パノラマシールドウルトラライト 重量 42g

東レ・メディカル

含鉛アクリルレンズ 鉛当量 0.07mmPb



FP-3 フェイスシールド重量 270g

保科制作所

含鉛アクリルレンズ 鉛当量 0.1mmPb



X-GUARD Clic MONARCH 重量 85g

昭和光学

鉛ガラスレンズ 鉛当量 0.75mmPb

図4 放射線保護眼鏡

られた。低線量被ばくによる白内障については未だ不明点が多く、今後より大規模な調査や追加の聞き取り調査を行い、医療従事者の職業被ばくと白内障の関係を明らかにしていく予定である。

医療従事者の放射線被ばくの放射線白内障以外のリスクも既に報告されている。例えば、比較的放射線被ばく量の多い整形外科や放射線科の男性医師の子供は性別として女兒が多いという報告あり、機序として精巣への放射線被ばくで、Y染色体をもつ精子が減少する可能性が指摘されている^{14)~16)}。さらに血管造影などでX線透視を手にする医師の職業病としての皮膚ガンが比較的多いなどの報告¹⁷⁾¹⁸⁾があり、放射線業務を行う医療従事者の体への被ばく量を正確に反映するように線量測定を統括し、放射線被ばくを可能な限り防止しなければならない。

防護策

放射線白内障を防護するのも、外部被ばく低減三原則である距離、遮蔽、時間が基本である。距離とは、離れるという意味で、発生源から距離をとることで被ばく量は減衰する。遮蔽とは、遮蔽板や散乱線防止カーテン、装置防護クロスなどがこれに当たる。時間とは放射線の被ばく時間を短くすることである。

また、眼への放射線を遮蔽する防護用具として放射線保護眼鏡がある(図4)。レンズの素材には含鉛ガラスや

含鉛アクリルがある。含鉛ガラスレンズは鉛当量の大きいものを使用できるため放射線防護効果は大きい。重量がアクリル製に比べて重く疲れやすくなる傾向にある。後頭部をバンドで固定できたり必要ないときはすぐに外せる仕組みになっていたりするものもある。含鉛アクリルレンズは比較的軽いのが特徴で、様々な形状に加工できるため顔の弯曲に合わせて眼の側方まで保護できるよう作られていることも多い。しかし、透明度がガラスより劣るため鉛当量は低くなり、保護効果は含鉛ガラスに比べ劣る。ただし、鉛当量0.07mmPbの含鉛アクリルレンズの約61%のX線遮蔽効果があり、全く付けないうでの曝露を考えると十分有効である。因みに含鉛ガラスでも完全に遮蔽できるわけではなく、鉛当量0.75mmPbのもので約80%の遮蔽効果である。

臨床現場における使用率は未だ低く、多い施設でも80%にとどまっている。今後は放射線を取り扱う医療従事者への定期的教育と日々の点検で、保護眼鏡装着の周知徹底を行う必要がある。

おわりに

放射線被ばくは特殊な環境下でしか受けないと思われがちだが、実際は日本では一人当たり年間平均1.5mSvの自然放射線を受けながら生活をしていて、1回の胸部レントゲンは0.1mSv程度、東京—ニューヨークを1往

復すると 0.2mSv 程度の放射線を受けている。つまり、誰しも日常的に放射線を被ばくしており、放射線自体を無闇に恐れる必要はない。しかし、見えないだけにいつの間にか後々に健康に害を起すリスクを受けていることもある。特に低線量被ばくが生体に及ぼす影響については未だ不明な点が多く安全の確証がないため、常に最新の知識を持ち正しく放射線を防護しておく必要がある。

謝辞：金沢医科大学眼科の佐々木洋先生と初坂奈津子先生、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構の盛武 敬先生、北須磨病院 脊椎・腰痛センターの土方保和先生から貴重な助言を頂いたことを深く感謝致します。またデータ収集解析に協力いただいた産業医科大学の喜多村紘子先生、栗山知子先生に深く感謝致します。なお、本研究は JSPS 科研費 JP24K13354/JP20K10366/JP18H03376、厚生労働省労災疾病臨床研究事業費補助金 180501-01/200601-01 の助成を受けて行われた。

[COI 開示] 本論文に関して開示すべき COI 状態はない

文 献

- 1) Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, et al: 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. ICRP publication 118. *Annals of the ICRP* 41 (1-2): 1—322, 2012.
- 2) Merriam GR Jr, Focht EF: A clinical and experimental study of the effect of single and divided doses of radiation on cataract production. *Trans Am Ophthalmol Soc* 60: 35—52, 1962.
- 3) Worgul BV, Kundiye YI, Sergiyenko NM, et al: Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures. *Radiat Res* 167 (2): 233—243, 2007.
- 4) Cogan DG, Martin SF, Kimura SJ: Atomic bomb cataracts. *Science* 110 (2868): 654—655, 1949.
- 5) Wolf N, Pendergrass W, Singh N, et al: Radiation cataracts: mechanisms involved in their long delayed occurrence but then rapid progression. *Mol Vis* 14: 274—285, 2008.
- 6) Chylack LT Jr, Leske MC, McCarthy D, et al: Lens opacities classification system II (LOCS II). *Arch Ophthalmol* 107 (7): 991—997, 1989.
- 7) Chylack LT Jr, Wolfe JK, Singer DM, et al: The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. *Arch Ophthalmol* 111 (6): 831—836, 1993.
- 8) Sparrow JM, Bron AJ, Brown NA, et al: The Oxford Clinical Cataract Classification and Grading System. *Int Ophthalmol* 9 (4): 207—225, 1986.
- 9) Thylefors B, Chylack LT Jr, Konyama K, et al: A simplified cataract grading system. *Ophthalmic Epidemiol* 9 (2): 83—95, 2002.
- 10) West SK, Rosenthal F, Newland HS, et al: Use of photographic techniques to grade nuclear cataracts. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 29 (1): 73—77, 1988.
- 11) Merriam GR Jr, Worgul BV: Experimental radiation cataract—its clinical relevance. *Bull N Y Acad Med* 59 (4): 372—392, 1983.
- 12) Hayashida T, Sasaki H, Hamada N, et al: Issues behind Radiation Management of Workers at Fukushima Nuclear Power Plant of Tokyo Electric Power Company —From the Viewpoint of Radiation Exposure of the Ocular Lens and the Biological Effects to the Lens—. *Jpn J Health Phys* 52 (2): 88—99, 2017.
- 13) 永田竜朗, 栗山知子, 喜多村紘子, 他：医療放射線業務従事者の放射線白内障の実態. *日眼会誌* 129 (5) : 543—550, 2025.
- 14) Zadeh HG, Briggs TW: Ionising radiation: are orthopaedic surgeons' offspring at risk? *Ann R Coll Surg Engl* 79 (3): 214—220, 1997.
- 15) Hama Y, Uematsu M, Sakurai Y, Kusano S: Sex ratio in the offspring of male radiologists. *Acad Radiol* 8 (5): 421—424, 2001.
- 16) Hijikata Y, Nakahara M, Kusumegi A, et al: Association between occupational testicular radiation exposure and lower male sex ratio of offspring among orthopedic surgeons. *PLoS One* 16 (12): e0262089, 2021.
- 17) Yoshinaga S, Mabuchi K, Sigurdson AJ, et al: Cancer risks among radiologists and radiologic technologists: review of epidemiologic studies. *Radiology* 233 (2): 313—321, 2004.
- 18) Ansai S, Noro S, Ogita A, et al: Case of Merkel cell carcinoma with squamous cell carcinoma possibly arising in chronic radiodermatitis of the hand. *J Dermatol* 42 (2): 207—209, 2015.

別刷請求先 〒807-8555 北九州市八幡西区医生ヶ丘 1—1
産業医科大学眼科学教室
永田 竜朗

Reprint request:

Tatsuo Nagata
Ophthalmology, University of Occupational and Environmental Health, Japan, 1-1, Iseigaoka, Yahatanishi-ku, Kitakyushu, Fukuoka, 807-8555, Japan

Radiation Exposure and Radiation Cataract in Medical Radiation Workers

Tatsuo Nagata

Ophthalmology, University of Occupational and Environmental Health, Japan

In April 2011, the International Commission on Radiological Protection (ICRP) recommended a significant reduction in the crystal equivalent dose limit for occupational exposure from the previous 150 mSv per year to an average of 20 mSv per year over five years (Seoul Statement). In Japan, the Regulations for Prevention of Ionizing Radiation Injury were also substantially revised in April 2021 to set the equivalent lens dose limit at less than 100 mSv/5 years and less than 50 mSv/year. This means that the possibility of radiation cataract occurring at much lower doses than previously thought is now recognized, and there is growing concern about occupational exposure among medical radiation workers who are routinely exposed to radiation for treatment and diagnosis. Few reports have been published on radiation cataract in medical radiation workers. We examined 360 medical radiation workers (mean age 38.3 ± 10.4 years) who underwent ionizing radiation health examinations using a retro-illumination lens camera and found that 116 subjects (mean age 43.7 ± 11.3 years) were found to have cataracts, with a prevalence of the rate was 32.2%; 15.3% were in their 20s, 24.0% in their 30s, 41.7% in their 40s, 52.5% in their 50s, and 77.8% in their 60s. Although no simple comparison can be made, the prevalence was higher in the younger age groups than in any of the previous reports. However, the mean cumulative lens equivalent dose over 5 years for all subjects was 1.32 ± 4.33 (range: 0–50.9) mSv, which was lower than the revised cumulative equivalent dose limit for lens, and no correlation with radiation dose could be found. There are still many unknowns regarding the risk of low-dose radiation exposure to the human body, and there is no assurance of safety. Therefore, it is necessary to acquire the latest knowledge and protect oneself from radiation daily.

(JJOMT, 73: 52–58, 2025)

—Key words—

radiation exposure, medical radiation workers, radiation cataracts, equivalent dose limit for lens, retro-illumination lens camera