

眼の水晶体に対するJIS規格対応放射線防護眼鏡の検査別による基礎的評価

Basic evaluation of radiation protective eyewear in accordance to JIS for eye lenses

加藤 京一¹⁾, 橘高 大介¹⁾, 安田 光慶¹⁾, 中村 登紀子²⁾, 佐藤 久弥¹⁾, 鈴木 昇一³⁾

1) 昭和大学大学院 保健医療学研究科

2) 順天堂大学医学部附属静岡病院

3) 藤田医科大学保健学科

Key words: the lens of the eye radiation exposure, dose reduction, radiation protection

[Abstract]

In 2011 the International Commission on Radiological Protection recommended that “the threshold dose for cataracts and the lens equivalent dose limit should be significantly reduced”, and the Ministry of Health, Labour and Welfare has notified medical institutions to strengthen measures to protect eye lenses from radiation exposure. This shows the necessity to protect medical professionals by using equipment with increased levels of protection.

This study developed new radiation protective eyewear in accordance with Japanese Industrial Standards (JIS) for eye lens exposure, and conducted basic evaluations of the protection efficiency in angiography, general radiography, fluoroscopy, and C-arm applications. The results showed that these newly developed radiation protective eyewear provide a high level of radiation protection.

キーワード：水晶体放射線被ばく、被ばく低減、放射線防護

[要旨]

ICRPが2011年に「白内障のしきい線量および水晶体等価線量限度を大幅に引き下げるべき」と勧告し、2017年に厚生労働省は、医療関係団体に対して水晶体を被ばくから守るため被ばく低減策を強化するよう通知した。そのためより一層の防護性能を持つ製品で医療従事者を守る必要がある。

本研究では、JISに対応した放射線防護眼鏡を新しく開発し、心血管検査・胸部撮影・透視・術中検査における水晶体に対する放射線防護効果について基礎的評価を行った。その結果、開発した放射線防護眼鏡は高い放射線防護効果を有することが認められた。

緒 言

近年、放射線を用いた医療機器の進歩は目覚ましく、診断から治療に至るまで幅広く使用されているが、患者被ばくが問題となっている。このため1977年に国際放射線防護委員会 (ICRP: International Commission on Radiological Protection 以下、ICRP) は、放射線防護の基本三原則である正当、防護の最適化、線量限度を勧告している。そして臨床現場では、患者のみならず、医療従事者が放射線に曝されるケースも少なくない。特に、眼の水晶体 (以下、水晶

体) は、放射線感受性の高い臓器の一つであり、放射線被ばくにより一定のしきい線量を超えると白内障などの放射線障害を引き起こす可能性があることから、ICRPは、2011年に疫学調査結果として、1990年および2007年に勧告した水晶体の混濁および視覚障害のしきい線量 (それぞれ5Gyおよび8Gy) が過小評価であるとし、水晶体のしきい線量を0.5mSvに改める発表を出した。これに伴い、水晶体等価線量限度を「5年間の平均が20mSv/年を超えず、いかなる1年間においても50mSvを超えないようにすべきである」ことが示された¹⁻²⁾。現在の法令では、1cm線量当量や70μm線量当量が測定できる個人線量計を用いて胸腹部や頭頸部に装着して間接的に評価しているため、正確な水晶体被ばくを評価しているとはいえないが、これは、実効線量を対象とした1cm線量当量と皮膚等価線量を対象とした70μm線量当量でおのおの線量限度が担保されていれば、水晶体の線量限度も担保されると考えられているためである。しかし、放射線防護眼鏡 (以下、防護眼鏡) の使用による遮蔽効果は考慮されていないことから、先行研究³⁾において、臨床

KATO Kyoichi¹⁾, KITAKA Daisuke¹⁾,
YASUDA Mitsuyoshi¹⁾, NAKAMURA Tokiko²⁾,
SATO Hisaya¹⁾, SUZUKI Shoichi³⁾

1) Showa University Graduate school of Health Sciences

2) Department of Radiology, Juntendo University Shizuoka Hospital

3) School of Health Sciences, Fujita Health University

Received August 21, 2020; accepted November 25, 2020

現場での水晶体被ばくの防護に際して、さらなる被ばく低減対策のためJIS規格 (JIS: Japanese Industrial Standards) (JIS T 61331-3)⁴⁾ に対応した防護眼鏡を開発した。本研究では、心血管検査・胸部撮影・透視・術中検査での、水晶体に対する防護眼鏡の防護効果について基礎的評価を行い、検討したので報告する。

方法

1. 線量測定

JIS規格対応防護眼鏡 Dr.B-Go[®] (ドクタージャパン株式会社) をファントムに装着し、臨床での立ち位置を想定し、散乱線量をOSL線量計で測定した。線量計は小型OSL線量計 nanoDot (長瀬ランダウ株式会社) を使用した。散乱体となるファントムにはPMMA (W×D×H) 20cm, 人体等価ファントムとしてTHRA-1 (株式会社京都科学) を使用した。測定条件は検査ごとに実際の臨床で用いる時の条件とした。なお、OSL線量計は使用エネルギーで、素子ごとに校正値で補正して線量を算出した。OSL線量計は、防護眼鏡の正面ガラスの内外、側面はフレームの内外、また両目の直上のみとして測定した (Fig.1)。使用装置は、血管撮影装置: Allura Xper FD10/10 (株式会社フィリップス・ジャパン), X線透視装置: CUREVISTA (日立製作所株式会社), X線装置: CALNEO (富士フイルムメディカル株式会社), C-アーム装置: OEC9900

(GEヘルスケア・ジャパン株式会社) である。心カテのX線防護板 (以下、防護板) には、マービック鉛当量0.5mmPb (グティングループ・ジャパン株式会社), 透視装置には、散乱線防護クロスNP (以下、防護クロス) 鉛当量2.5mmPb (株式会社保科製作所) を使用した。測定値は3回測定の平均値とした。

1-1

心血管撮影を想定した測定手技角度は、先行研究で最大の線量であったLAO60°+Caud30°で行った。照射野は12×12インチ、焦点-フラットパネルディテクター間距離 (SFD: source flat panel detector distance 以下, SFD) は110cm, 寝台の高さは床から85cmとした。人体ファントム位置は術者が立つ位置を想定して設置し、寝台中心より水晶体表面まで正面40cm, 横80cm, 床から水晶体までの高さを150cmとした。管電圧・管電流は、PMMA20cmに対してFull Autoとした。使用フィルターは撮影時0.1mm Cu+1.0mm Al, 透視使用時0.4mm Cu+1.0mm Alとした。また撮影時間1分と透視時間10分の照射を行った。透視条件は15frame/secとした (Fig.2)。

1-2

胸部撮影において、患者を介助するために立ち会う場合を想定し、患者中心から50cmの位置にファントムを配置した。SFDは130cm, ディテクター中心の高さは床から122cmとした。PMMA20cm中心か

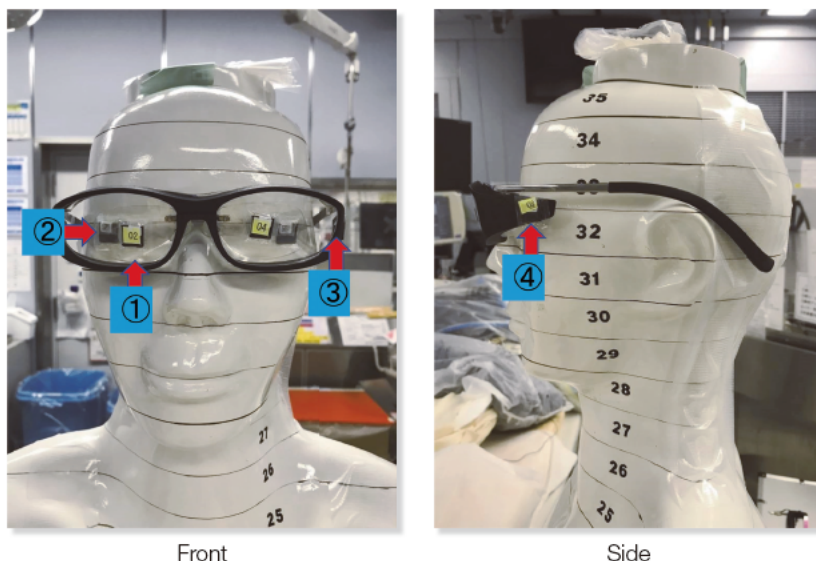


Fig.1 Placement of radiation protective eyewear and dosimeters

- ①eyewear lens surface ②On the top of the eye
③Inside eyewear ④Outside of eyewear

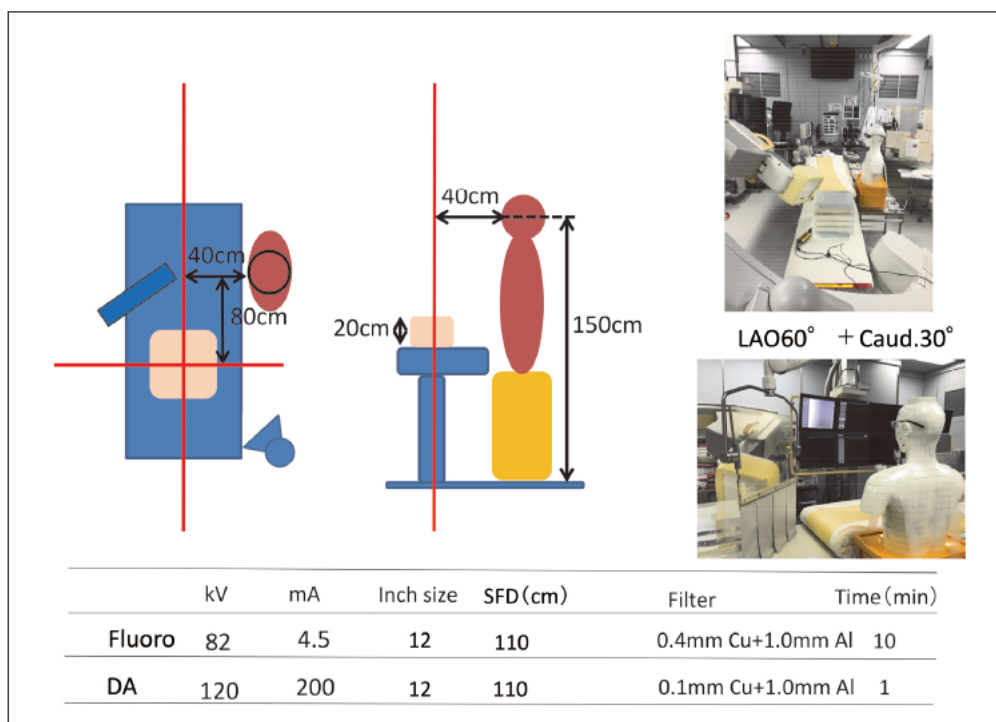


Fig.2 Measurement geometry and measurement conditions in Angiography

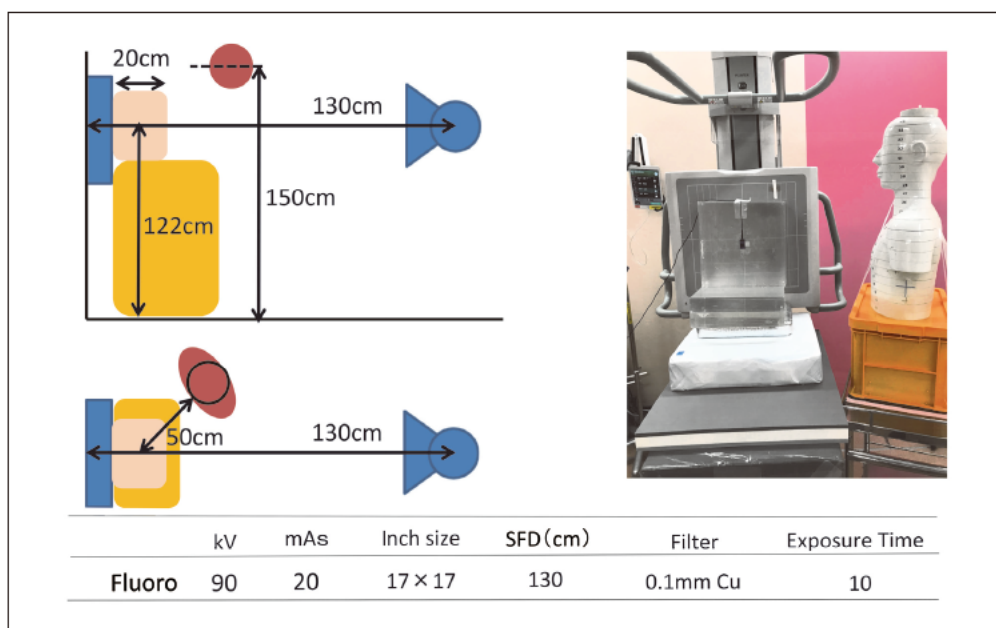


Fig.3 Measurement geometry and measurement conditions in General radiography

ら水晶体表面まで50cm, 床から水晶体までの高さを150cmとした。撮影条件は、管電圧・管電流時間積はPMMA20cmに対して90kV, 20mAs, 照射野は17×17インチ, 使用フィルターは0.1mm Cuとし, 10回撮影した (Fig.3)。

1-3

透視検査において, 装置に散乱線防護クロスNPを装着, 術者が立つ位置を想定し, 人体ファントム位置は寝台中心より水晶体表面まで正面60cm, 横80cm, 床から水晶体までの高さを150cmとした。管電圧・管電流は, PMMA20cmに対してFull Autoでの透視条件とし92kV, 0.7mA, 照射野は21×21インチ,

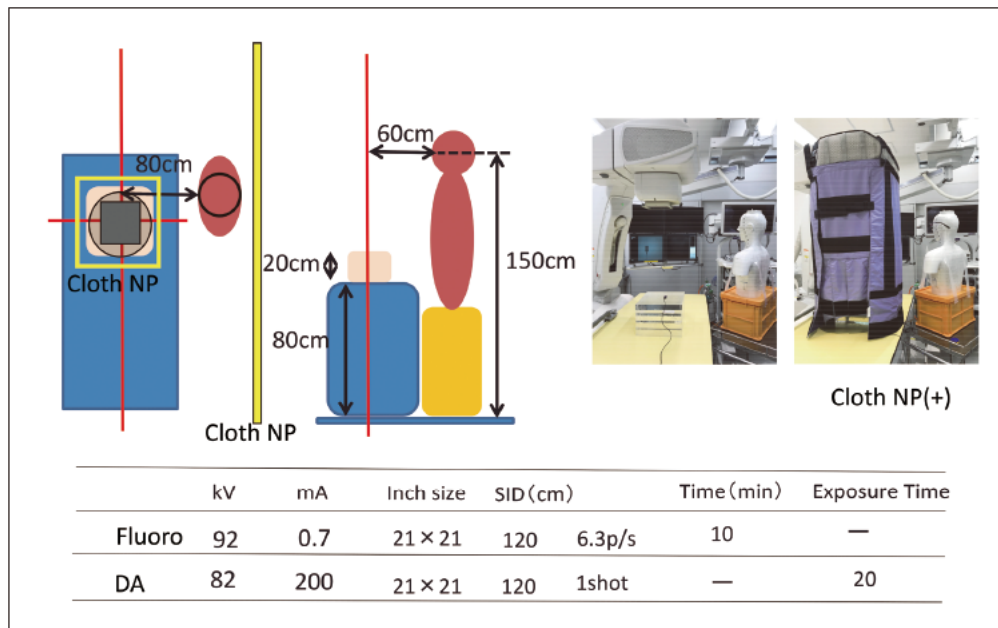


Fig.4 Measurement geometry and measurement conditions in Fluoroscopy

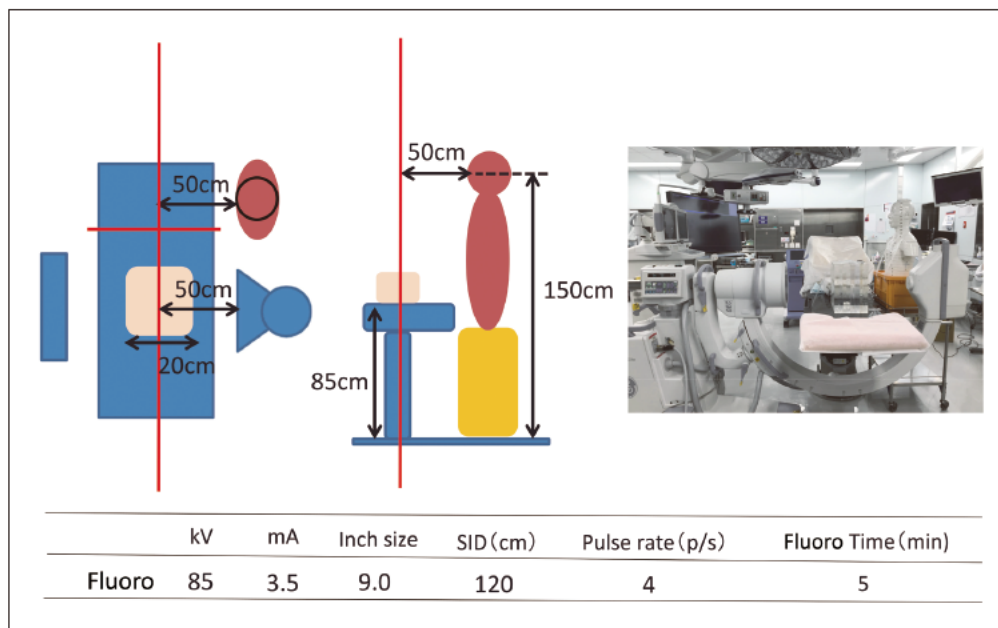


Fig.5 Measurement geometry and measurement conditions in C-arm

焦点-受像面間距離 (SID: source-imager receptor distance 以下, SID) は120cm, 透視条件は6.3Pulse/sec, 10分, 撮影条件は82kV, 200mA, 照射野は21 × 21インチ, SIDは120cm, 20回撮影とした (Fig.4).

を150cmとした. 透視条件は85kV, 3.5mA, SIDは120cm, 4Pulse/sec, 5分とした (Fig.5).

結 果

1-4

C-アーム術中透視において, 術者が立つ位置を想定し設置, 人体ファントムは寝台中心より水晶体表面まで正面50cm, 横50cm, 床から水晶体までの高さ

1-1

血管撮影装置での測定結果についてTable 1に示す. 眼鏡あり, 防護板なし: 眼鏡あり, 防護板ありで, 左眼鏡側面外側0.339mGy: 0.095mGy, 左

眼鏡側面内側0.179mGy：0.052mGyであった。左眼鏡正面外側0.263mGy：0.080mGy，左眼鏡正面内側0.050mGy：0.018mGyであった。右眼鏡正面外側0.124mGy：0.038mGy，右眼鏡正面内側0.036mGy：0.014mGyであった。右眼鏡側面外側0.088mGy：0.016mGy，右眼鏡側面内側0.026mGy：0.001mGyであった。目の直上において，左目0.091mGy：0.078mGy，右目0.114mGy：0.030mGyであった。

眼鏡なし，防護板なし：眼鏡なし，防護板ありで，目の直上において，左目0.300mGy：0.090mGy，右目0.130mGy：0.036mGyであった。

1-2

一般撮影装置での測定結果についてTable 2に示す。

眼鏡ありで，左眼鏡側面外側0.098mGy，左眼鏡側面内側0.083mGyであった。左眼鏡正面外側0.139mGy，左眼鏡正面内側0.012mGyであった。右眼鏡正面外側0.009mGy，右眼鏡正面内側0.007mGyであった。右眼鏡側面外側0.087mGy，右眼鏡側面内側0.028mGyであった。目の直上に関しては，眼鏡あり：眼鏡なしで，左目0.022mGy：0.150mGy，右目0.099mGy，0.131mGyであった。

1-3

透視撮影装置での測定結果についてTable 3に示す。

眼鏡あり，防護クロスなし：眼鏡あり，防護クロスありで，左眼鏡側面外側0.166mGy：0.006mGy，左眼鏡側面内側0.045mGy：0.006mGyであった。左眼鏡正面外側0.163mGy：0.002mGy，左眼鏡

Table 1 Radiation protection dose by radiation protection glasses and protective plate in Angiography

| Angiography | eyewear (+) : protective plate (-) | eyewear (+) : protective plate (+) |
|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Left side: Outside of eyewear | 0.339 | 0.095 |
| Left side: Inside eyewear | 0.179 | 0.052 |
| Left front: Outside of eyewear | 0.263 | 0.080 |
| Left front: Inside eyewear | 0.050 | 0.018 |
| Right front: Outside of eyewear | 0.124 | 0.038 |
| Right front: Inside eyewear | 0.036 | 0.014 |
| Right side: Outside of eyewear | 0.088 | 0.016 |
| Right side: Inside eyewear | 0.026 | 0.001 |
| On the top of the left eye | 0.091 | 0.078 |
| On the top of the right eye | 0.114 | 0.030 |
| | eyewear (-) : protective plate (-) | eyewear (-) : protective plate (+) |
| On the top of the left eye | 0.300 | 0.090 |
| On the top of the right eye | 0.130 | 0.036 |

(mGy)

Table 2 Radiation protection dose by radiation protection glasses in General radiography

| General radiography | eyewear (+) | eyewear (-) |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| Left side: Outside of eyewear | 0.098 | - |
| Left side: Inside eyewear | 0.083 | - |
| Left front: Outside of eyewear | 0.139 | - |
| Left front: Inside eyewear | 0.012 | - |
| Right front: Outside of eyewear | 0.009 | - |
| Right front: Inside eyewear | 0.007 | - |
| Right side: Outside of eyewear | 0.087 | - |
| Right side: Inside eyewear | 0.028 | - |
| On the top of the left eye | 0.022 | 0.150 |
| On the top of the right eye | 0.099 | 0.131 |

(mGy)

Table 3 Radiation protection dose by radiation protection glasses and protective cross in Fluoroscopy

| Fluoroscopy | eyewear (+) : protective cross (-) | eyewear (+) : protective cross (+) |
|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Left side: Outside of eyewear | 0.166 | 0.006 |
| Left side: Inside eyewear | 0.045 | 0.006 |
| Left front: Outside of eyewear | 0.163 | 0.002 |
| Left front: Inside eyewear | 0.016 | 0.003 |
| Right front: Outside of eyewear | 0.125 | 0.015 |
| Right front: Inside eyewear | 0.009 | 0.002 |
| Right side: Outside of eyewear | 0.021 | 0.001 |
| Right side: Inside eyewear | 0.036 | 0.001 |
| On the top of the left eye | 0.030 | 0.002 |
| On the top of the right eye | 0.031 | 0.002 |
| | eyewear (-) : protective cross (-) | eyewear (-) : protective cross (+) |
| On the top of the left eye | 0.156 | 0.006 |
| On the top of the right eye | 0.087 | 0.003 |

(mGy)

Table 4 Radiation protection dose by radiation protection glasses in C-arm

| C-arm | eyewear (+) | eyewear (-) |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| Left side: Outside of eyewear | 0.017 | - |
| Left side: Inside eyewear | 0.007 | - |
| Left front: Outside of eyewear | 0.018 | - |
| Left front: Inside eyewear | 0.002 | - |
| Right front: Outside of eyewear | 0.015 | - |
| Right front: Inside eyewear | 0.001 | - |
| Right side: Outside of eyewear | 0.001 | - |
| Right side: Inside eyewear | 0.012 | - |
| On the top of the left eye | 0.006 | 0.011 |
| On the top of the right eye | 0.006 | 0.010 |

(mGy)

正面内側0.016mGy : 0.003mGyであった。右眼鏡正面外側0.125mGy : 0.015mGy, 右眼鏡正面内側0.009mGy : 0.002mGyであった。右眼鏡側面外側0.021mGy : 0.001mGy, 右眼鏡側面内側0.036mGy : 0.001mGyであった。目の直上において、左目0.030mGy:0.002mGy, 右目0.031mGy:0.002mGyであった。

眼鏡なし, 防護クロスなし:眼鏡なし, 防護クロスありで、目の直上において、左目0.156mGy:0.006mGy, 右目0.087mGy : 0.003mGyであった。

1-4

C-アーム透視での測定結果についてTable 4に示す。

眼鏡ありで、左眼鏡側面外側0.017mGy, 左眼鏡側面内側0.007mGyであった。左眼鏡正面外

側0.018mGy, 左眼鏡正面内側0.002mGyであった。右眼鏡正面外側0.015mGy, 右眼鏡正面内側0.001mGyであった。右眼鏡側面外側0.001mGy, 右眼鏡側面内側0.012mGyであった。目の直上において、左目0.006mGy, 右目0.006mGyであった。

眼鏡なしで、目の直上において左目0.011mGy, 右目0.010mGyであった。

考 察

開発した防護眼鏡の特徴は、高密度に鉛を含有させたガラスレンズ,鉛当量0.88mmPbを用いている。またフレームにも鉛塗装を施していることから、直接線であっても防護効果を発揮できる。また散乱線においても、フレームを皮膚表面との隙間が少なくなるよう設計した結果、上下方向や側面からの散乱線において

も放射線防護効果が認められた。先行研究で得られた防護眼鏡のみによる基本測定で、正面では80kVから140kVの全てにおいて98%以上の直接線防護効果が得られた。また側面においても、最大で80%以上、最小でも66%以上の直接線防護効果が得られた。また防護板との併用活用では、平均で約7分の1の散乱線量となったことから、水晶体放射線防護には併用活用が大きな効果をもたらすと考える³⁾。

今回の測定より、心血管撮影で術者が1回の手技で被ばくする水晶体の最大線量値は、眼鏡なし、防護板なしの左目直上の0.300mGyであり、線量限度5年の平均が20mGyであることから、66回の手技でその値を超えることになる。右目直上では0.13mGyであり、153回と推定されるが、防護眼鏡を用いても、防護板を用いない場合は、水晶体のしきい値の上限を超える可能性は否定できない。

年間最大50mGyと考えた場合、166症例の対応が可能である。ただし、多くの症例を扱う、または長時間を要する治療を行う場合の医師は、しきい線量を超える可能性がある。眼鏡あり、防護板ありの場合、被ばく線量最大値でも左眼鏡側面外側0.095mGyであり、しきい値20mGyで210症例に、また50mGyで考えると526例の対応が可能と考えられる。これらのことから、防護眼鏡の使用と併せて、放射線防護板の使用が望ましい。

一般撮影で撮影介助を行う診療放射線技師が1カ月間に受けると想定される散乱線被ばく線量は、最大値で眼鏡なしの左目直上で0.150mGyであり、5年間平均が20mGyであることから、133回の介助が可能と考えられる。右目直上の結果は0.131mGyであり、153回と推定されるが、勤務日数が200日であれば、この上限値を超える可能性は大きいと考える。1年間最大50mGyとしても333回であり、200日勤務で1.6回の介助で、しきい値を超える可能性がある。防護眼鏡を使用した場合は左目直上で0.022mGy、右目直上で0.099mGyであり、使用しない場合と比べ左目で6.8分の1、右目で1.3分の1の被ばく線量であった。これらのことから、一般撮影時の介助の際は、防護眼鏡の使用は必須であり、竹井が示した先行研究⁵⁾と同様の見解となった。

透視検査を想定した測定の結果からは、防護眼鏡・防護クロス共に未使用の場合と、防護眼鏡・防護クロス共に使用した場合は、目の直上において、左目78分の1、右目で43.5分の1であり、遮蔽クロスのみ使用でも左目26分の1、右目29分の1であったことか

ら、しきい値20mGyで考えると、計算上では防護眼鏡および防護クロス未使用で128件の検査が行え、防護眼鏡のみ使用で645件、両方使用した場合は1万件の検査に対応できることになることから、少なくとも防護眼鏡を使用することが望まれる。

C-アーム装置を用いた場合では、最大値の眼鏡なしの左目直上は0.011mGyであり、5年間平均が20mGyであることから、1,818回の手技が可能と考えられる。さらに防護眼鏡を使用すれば2分の1の被ばく低減になることから、防護眼鏡の使用は有効である。

また今回、測定対象として示していないが、CT検査による患者介助やCT下バイオプシーを施行する術者などにも、放射線防護眼鏡の装着は水晶体を守るために有効な手段であると考えられる。

赤羽は「防護メガネの遮蔽効果は、頭部とグラスと線源の位置関係に影響される。線源に正対していない場合、防護メガネの遮蔽効果は減弱する。グラスと顔面の隙間が大きいと、防護メガネの遮蔽効果が減弱しやすいかもしれない。グラス内面に貼り付けた線量計は、防護メガネの遮蔽効果減弱を捉えにくいので、水晶体等価線量の目安として用いると過小評価の恐れがある⁶⁾」としているように、散乱線は複雑な分布となるためレンズや素材の基礎実験の結果とは異なることが予測され、入射方向の影響による誤差として回り込みによる影響、二次散乱の可能性も推測された。

なお、測定結果は物理量としてGyとして表記した。また本研究は水晶体を対象としており、X線の放射線荷重係数は1.0であるため、水晶体の吸収線量Gyと水晶体の等価線量Svを同等とすることで管理上問題ないと考えられる。

本研究の限界

今回の測定において、高い防護効果が得られた結果となったが、実際の臨床においては治療に時間を要する症例もあり、その場合は透視時間や撮影回数、負荷の大きな角度も多くなることが考えられるため、防護効果の値に影響を及ぼすことが考えられる。

結 論

今回、開発したJIS規格対応防護眼鏡について、基礎的評価を行った。その結果、さまざまな場面において高い防護効果が認められたことから、水晶体防護におけるデバイスとして有用であることが認められた。

謝辞

本研究に対して多大なるご協力を頂いた小林育夫氏(長瀬ランダウア株式会社)に、心より感謝申し上げます。

表の説明

| | |
|---------|-------------------------------------|
| Table 1 | 血管撮影における放射線防護眼鏡と防護板の放射線防護線量 |
| Table 2 | 一般X線撮影における放射線防護眼鏡の放射線防護線量 |
| Table 3 | X線透視検査における放射線防護眼鏡と防護クロス の放射線防護線量 |
| Table 4 | C-アームにおける放射線防護眼鏡の放射線防護線量 |

図の説明

| | |
|-------|-----------------------|
| Fig.1 | 放射線防護眼鏡と線量計の配置 |
| Fig.2 | 血管撮影における測定幾何学的配置と測定条件 |
| Fig.3 | 一般撮影における何学的配置と測定条件 |
| Fig.4 | 透視検査における幾何学的配置と測定条件 |
| Fig.5 | C-アームの測定幾何学的配置と測定条件 |

利益相反

本研究は、ドクタージャパン株式会社と昭和大学との共同研究開発について契約を結び、研究費を受託した。

参考文献

- 1) ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP, 21 (1-3), 1991.
- 2) ICRP, 2012 ICRP Statement on Tissue Reactions/ Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP, 41 (1/2), 2012.
- 3) 加藤京一, 他: 眼の水晶体に対する防護眼鏡の開発. 昭和医学会雑誌, 第80巻, 第4号, 2020.
- 4) 診断用X線に対する防護用具—第3部: 防護衣, 防護眼鏡及び患者用防護具. 日本工業規格JIS T61331-3: 2016.
- 5) 竹井泰孝: The Non-uniform Exposure of Medical Staffs in General Radiography (一般撮影での不均等被ばく). 放射線防護部会誌, 16(1), 10-13, 2017.
- 6) 赤羽正章: 防護メガネの遮蔽効果 ばらつきの程度と要因. 第3回放射線審議会眼の水晶体の放射線防護検討部会, 資料4. www.nsr.go.jp/data/000205423.pdf (accessed 2020 Jan.29)