

介入放射学工作人员眼晶体的剂量测量评估及其防护

胡盼盼¹, 刘海宽¹, 孔 燕², 卓维海¹

1. 复旦大学放射医学研究所, 上海 200032; 2. 江南大学无锡市第四人民医院, 江苏 无锡 214062

【摘要】目的: 通过对国内外相关文献的调研, 探讨介入放射学工作人员眼晶体的剂量测量评估以及防护情况, 并指出相关不足和值得研究的方向。**方法:** 对现有介入工作人员眼晶体的剂量测量评估以及防护相关的研究论文进行归纳和总结。将相关的内容进行比较, 得出比较的结果。**结果:** 目前对于介入放射学工作人员眼晶体剂量的测量方法各异, 但多数都基于热释光剂量计。可通过直接佩戴在眼晶体周围的剂量计来评估眼晶体剂量, 也可以通过其他体表剂量或者 KAP 值来间接得到, 还可以通过蒙特卡罗模拟计算来预测和评估。在不进行防护的情况下, 介入放射学工作人员眼晶体剂量很容易超过最新的年剂量限值规定 ($20 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$)。因此对于介入工作人员眼晶体进行防护相当必要, 目前对于此的防护设备主要有铅屏风和铅帘以及铅眼镜。**结论:** 对于介入工作人员眼晶体剂量的测量与评估方法国际上的研究较多, 但国内还未开展; 对于其理论计算和防护的研究国内外均较少。目前国内仅在其相关流行病学方面做了统计研究, 以后应加大对于介入放射工作人员眼晶体剂量的测量以及相关防护方面做出更多的研究, 给出相关评价标准以及防护用品的选择指导。

【关键词】 介入放射学; 眼晶体; 剂量测量与评估; 剂量防护

【DOI 编码】 doi:10.3969/j.issn.1005-202X.2015.02.017

【中图分类号】 R144.1; R814.2; R312

【文献标识码】 A

【文章编号】 1005-202X(2015)02-0225-04

Measurement, evaluation and protection of eye lens doses for interventional radiologists

HU Pan-pan¹, LIU Hai-kuan¹, KONG Yan², ZHUO Wei-hai²

1. Institute of Radiation Medicine, Fudan University, Shanghai 200032, China; 2. Wuxi No.4 People's Hospital, Jiangnan University, Wuxi 214062, China

Abstract: Objective Through a comprehensive literature search of domestically and abroad, this review investigates measurements and evaluations of interventional staff's eye lens doses, and current protection situation of eye lens, and aiming to point out the deficiencies and interested research contents. Methods Making summary through literature review on the current literature about measurements and evaluations of interventional staff's eye lens doses, and current protection situation of eye lens. These aspects were compared and conclusions of the results were made. Results There are various measurements methods for eye lens doses of interventional radiologist, mostly with thermoluminescent dosimeters. Eye lens doses could be evaluated through direct measurement with dosimeters worn near eyes, or indirectly through surface doses or KAP value, and also through Monte Carlo simulations. Lead screen above catheter bed and lead eye glasses are main measures to protect eye lens. Without shielding protection, eye lens dose of interventional staff is tend to surpass the new annual operational dose limit ($20 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$). So it is necessary to make protections for interventional staff's eye lens, mainly with lead screen, lead curtain and lead glasses. Conclusion Currently, there are lots of researches on measurements and evaluations of interventional operators' eye lens doses abroad, but rarely seen domestically. Researches on theoretical calculation of eye lens doses and its protection are rarely published. Precisely measure and evaluate of eye lens dose and protect of eye lens still deserve further study. Currently, only related epidemiological studies have been carried out domestically. Studies on radiation dose measurements and radiation protection of interventional staff's eye lens should be paid more attention in future, and aiming to provide guidance for eye lens dose evaluation criteria and selection of radiation protection measurement.

Key words: interventional radiology; eye lens doses; dose measurement and evaluation; radiation protection

【收稿日期】 2014-10-11

【基金项目】 国家自然科学基金(11075040)

【作者简介】 胡盼盼(1989-), 男(汉), 硕士研究生, E-mail: 12211140002@fudan.edu.cn。

前言

介入放射学(Interventional Radiology, IR)是以影像诊断为基础,主要利用经血管或非经血管穿刺及导管等介入技术,在影像监视下对一些疾病施行治疗,或者采取活体标本进行诊断^[1]。在全世界范围内,辐射在医疗应用中越来越广泛地被使用,最新 UNSCEAR 报告中估计,全球每年大约有 40 亿例的 X 射线检测^[2];根据调查,2009 年,在上海有 1030 名来自 63 家医院的介入放射学工作人员实施了 163 300 例手术,平均每名第一术者每年手术量为 270 例^[3];但是目前国内外对于介入放射学工作人员眼晶体剂量的测量和防护都比较模糊。从国际放射防护委员会(ICRP)第 60 号报告到 ICRP 第 118 号报告,逐步修正了眼晶体的确定性效应阈值和当量剂量限值^[4]。为此,有必要针对介入放射学工作人员的眼晶体剂量的测量以及相关防护进行总结和评价。

1 介入放射学工作人员眼晶体的辐射效应和剂量限值的规定

眼晶体属于眼球的屈光系统,如图 1 所示。它是一个圆盘状的双凸面的弹性透明体,被一层薄的透明囊膜包裹,中央为晶状体核,核与囊膜之间为晶状体皮质,属于对放射性高敏感的组织之一,过量照射容易引发眼晶体的放射性损伤,如眼晶体浑浊甚至白内障^[5]。

目前,国内对于介入放射学工作人员和公众的眼晶体年剂量限值分别为 150 mSv 和 15 mSv^[6]。最新的调查表明,随着介入放射学工作人员的工作量的逐年增加,工作人员眼晶体的年受照剂量也逐年增加^[7],然而在实际操作中佩戴铅眼镜进行防护的比例还不足三成^[8]。大剂量照射后,眼晶体的损伤不可恢复,已确定可以形成电离性白内障;长期小剂量照射,其对眼晶体损害以远期效应为主^[9]。因此,ICRP 在其 2011 年的报告中指出:职业工作人员眼晶体剂量的确定性效应(白内障)阈值从 2 Gy 降低到 0.5 Gy;眼晶体当量剂量限值最新规定为:连续 5 年的平均当量剂量每年不得超过 20 mSv,5 年中任何 1 年的当量剂量不得超

过 50 mSv^[4]。同年,国际原子能机构(IAEA)也采纳了该最新规定值^[10]。英国更是将该年剂量限值降低到 15 mSv^[11]。

2 介入放射学工作人员眼晶体剂量的测量方法

目前国内外研究中,对于眼晶体剂量的测量绝大多数都是使用热释光剂量计(TLD),通常材料为 LiF:Mg, Cu, P,该材料具有高灵敏度、能响好,低衰退性和良好的组织等效性等优点^[12]。国外相关文献指出,通常将 TLD 布放在眼睛的左右两侧和两眼中间进行测量,所得结果通常是中间值低于左侧值(更靠近 X 射线机头的位置),所以建议在测量眼晶体剂量时将 TLD 布放在眼睛的左侧位置^[13]。

辐射光致发光剂量计(OSL)因其具备相当优良的辐射计量学特性、受照后可重复多次测量、自身衰退少、批内的均匀性好等优点^[14],因此近年来也有少数使用辐射光致发光剂量计来测量放射工作人员外照射剂量,包括眼晶体剂量,但是通常将其佩戴于领口处(近似估计眼晶体剂量),并且在防护设备外侧,因而给测量结果带来较大偏差。

此外,胶片剂量计和辐射光致发光玻璃剂量计也曾得到相关的应用^[14]。也可以使用相关直读式的测量仪器,如 Unfors 公司生产的 EDD-30,放在介入放射学工作人员常站位置的眼晶体所在高度处,用来估算眼晶体剂量,但是通常误差较大^[15]。

3 介入放射学工作人员眼晶体剂量的评估

外照射个人剂量监测中,用个人剂量当量 $H_p(d)$ 来进行剂量评估,它定义为体表某一指定点下深度 d 处软组织的剂量当量^[16]。在使用 TLD 等进行测量前需要先对其进行刻度,对于个人剂量计的刻度,最早使用的是 ISO 体模:(30×30×15) cm³,后来改为缩小的体模:(20×20×15) cm³,目前最新使用的体模为:直径为 20 cm、高为 20 cm,新的体模的能量响应更好、计算方便,而且可以用来更准确地校准 $H_p(3)$ ^[17]。

根据 ICRP 第 103 号报告,眼晶体剂量当量值用 $H_p(3)$ 来表示,因为眼晶体大概位于皮下 3 mm 处。但

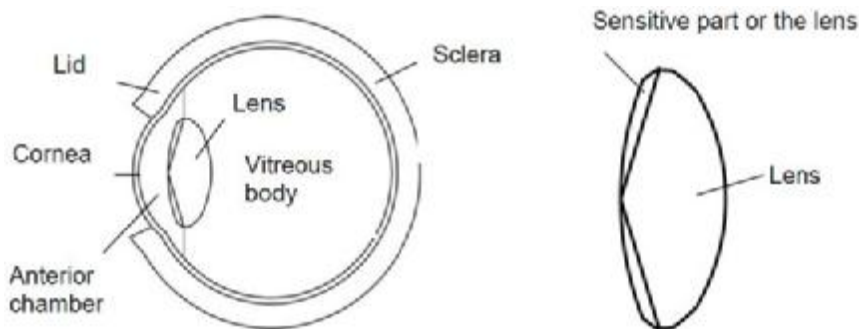


图 1 眼睛和眼晶体结构示意图

Fig.1 The Structures of the Eye and The Eye Len

是 $H_p(3)$ 值由于缺乏相应体模而无法直接准确刻度, 目前国际上最新的眼晶体剂量计是 EYE-DTM 剂量计^[18]。它的探测部和佩戴部是分开的, 探测部是用聚酰胺材料做成的中空半球形状, 聚酰胺的厚度为 3 mm, 其密度为 $1.13 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$; 探测元件选用的是 TLD (LiF, Mg, Cu, P), 直径为 4.5 mm, 厚度为 0.9 mm 的 TLD 元件可以刚好布放在中空半球内。这种新型的剂量计配上 TLD 测量元件, 保证了其具有很好的能量响应和角度响应, 而且这种胶囊型结构具有防水的作用, 可以打开方便更换 TLD, 并且可以无限期使用^[19]。但是目前该新型剂量计并未得到广泛地使用。在此之前人们多数测量 $H_p(0.07)$ 值来代替眼晶体剂量。 $H_p(0.07)$ 值的测量, 通常是将测量元件直接装在塑料袋中布放于测量位置处进行测量。对于 $H_p(0.07)$ 值来代替眼晶体剂量是否合适, 国外对此作了相关研究, Vanhavere 等^[20]分别将 TLD 元件布放于塑料袋中和新型 EYE-D™ 剂量计中, 用 N-60 和 N-80 源来进行刻度, 所得的结果的差别均小于 5%; 将这些 $H_p(0.07)$ 塑料袋和 EYE-DTM 剂量计布放在工作人员的左眼左侧位置处, 在 100 例介入手术后, 读出它们的数据, 当剂量值大于 $50 \mu\text{Sv}$ 时, 中位数的比值为 1.12。说明 $H_p(0.07)$ 值可以很好地代替眼晶体剂量值 $H_p(3)$ 。

除了直接测量外, 国外还有人通过间接测量得到工作人员眼晶体剂量。由于多数介入放射学影像设备都有相关剂量参数, 如比释动能面积乘积(KAP)等, 所以有人开始探讨 KAP 值与工作人员眼晶体剂量值之间的关系, 表 1 为总结的介入放射学工作人员一次介入手术中眼晶体剂量以及 $H_p(3) / \text{KAP}$ 值。这样就可以在只知道仪器的 KAP 值的情况下快速估算出工作人员的眼晶体剂量。

除此之外, Kong 等^[25]针对麻醉师, 做了眼晶体剂量与其他体表剂量值之间的比值研究, 结果如下: 眼晶体剂量 = $2.49 \times$ 颈部剂量, 眼晶体剂量 = $1.42 \times$ 胸部剂量, 眼晶体剂量 = $1.28 \times$ 腰部剂量。Farah 等^[17]针对第一术者做了类似的更加详细的比较, 不仅比较了眼晶体剂量与其他体表剂量的关系, 还比较了不同照射类型以及不同介入手术之间的差别等。

除了实际测量外, 还可以通过蒙特卡罗模拟得到眼晶体剂量。模拟计算中所使用的人体模型也从最早的 MIRD 模型到现在的 voxel 模型, 眼晶体结构也从无到有; Behrens 等^[19]还建立了一个更加精确的眼晶体来进行相关计算。模拟中使用 MCNPX 软件^[26], 可以直接通过 F6 卡、F8 卡或者 *F8 卡模拟出眼晶体剂量; 也可以通过计算出相应的粒子注量, 再乘以每单位注量的空气比释动能之转换系数 K_{a}/ϕ 得到自由空气比释动能, 再乘以每单位自由空气中的空气比释动能对眼晶体之吸收剂量 $D_{\text{r}}/K_{\text{a}}$ 得到眼晶体剂量^[19]。

4 介入放射学工作人员眼晶体的防护

据调查, X 射线机球管约 90% 在患者的下方 (PA

表 1 介入放射学工作人员一次介入手术中眼晶体剂量

Tab.1 The Eye Lens Dose of Interventional Radiologists During a Surgery

Reference	Eye Lens Dose(μGy)	$H_p(3)/\text{KAP}(\mu\text{Gy}\cdot\text{Gy}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2})$
Antic et al ^[21]	121.00±84.00(4.5-370.00)	0.94±0.61
Donadille et al ^[8]	52.00±77.00(4.00-644.00)	1.00
Vano et al ^[22]	170.00(53.00-460.00)	3.30-6.00
Bor et al ^[23]	72.00(32.00-107.00)	0.86(0.46-1.25)
Martin et al ^[24]	66.00(5.00-439.00)	1.00

表 2 不同铅眼镜降低介入放射工作人员眼晶体剂量的系数 (DRF)

Tab.2 The DRF of The Eye Lens Dose of Interventional Radiologists for Different Lead Glasses

Reference	Lead Equivalent(mm)	DRF
Vanhavere et al ^[20]	-	3.00-8.00
Zett-Lobos et al ^[27]	0.25	1.70-2.40
Jacob et al ^[28]	0.50	5.00
Raymond et al ^[15]	0.75	5.00-10.00

位), 8% 位于患者的两侧, 只有 2% 位于患者的上方 (AP 位), 选择 PA 位投照对于工作人员的外照射剂量也有相当的减弱作用^[8]; 同时结果还表明, 31% 的介入手术中是没有任何个人防护设备的, 在不进行防护的情况下, 介入放射学工作人员眼晶体剂量很容易超过最新的年剂量限值规定 ($20 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$)。因此对于介入工作人员眼晶体进行防护相当必要, 目前对于此的防护设备主要有铅屏风和铅帘以及铅眼镜。

对于铅屏风和铅帘的防护效果, Vanhavere 等^[20]的研究表明, 对于内镜逆行胰胆管造影手术 (ECRP), 当 X 射线球管位于床上时, 铅屏风和铅帘可降低眼晶体剂量的系数为 5-8; 当 X 射线球管位于床下时, 可降低眼晶体剂量的系数为 3-7; 对于经皮冠状动脉成形术 (PTCA), 可降低眼晶体剂量的系数为 1.6-2.3; 对于栓塞手术, 可降低眼晶体剂量的系数为 8-20。

关于铅眼镜的防护效果, 国外对此作了相关研究, 表 2 为总结的不同铅眼镜对介入放射学工作人员眼晶体剂量的降低系数 (DRF)。

对于介入放射学工作人员眼晶体的主要个人防护用品是铅眼镜, 但是目前国外对于究竟该选择何种铅眼镜 (铅当量和镜片大小) 也未做相关研究。

综上所述, 介入放射学工作人员的眼晶体剂量值往往超过最新剂量限值, 不容忽视, 国外对此已经做了相当多的研究, 也取得了一些相关成果, 但绝大多数仅是实际的实验测量, 而对于理论计算部分较少; 国内仅在相关流行病学方面做了统计研究, 以后应加大对于介入放射工作人员眼晶体剂量的测量以及相关防护方面的研究, 给出相关评价标准以及防护用品的相关选择指导。

【参考文献】

- [1] 孔燕, 卓维海, 陈波. 介入放射学工作人员个人剂量监测方法研究进展[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2011, 31(5): 614-616.
- Kong Y, Zhuo WH, Chen B. The research progress of monitoring

- methods for interventional radiologists [J]. *Journal of Radiological Protection*, 2011, 31(5): 614-616.
- [2] Le Heron J, Padovani R, Smith I, et al. Radiation protection of medical staff[J]. *Eur J Radiol*, 2010, 76(1): 20-23.
- [3] Kong Y, Gao LF, Zhuo WH, et al. A survey on radiation exposure of primary operators from interventional X-ray procedures [J]. *Radiat Meas*, 2013, 55: 43-45.
- [4] International Commission on Radiological Protection. 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 [R]. Ann ICRP Oxford: Pergamon Press, 2012.
- [5] 贾德林. X, γ , β 射线和电子束所致眼晶体剂量估算方法的研究 [J]. *中国辐射卫生*, 2000, 9(4): 209-211.
Jia DL. The study of eye lens dose's estimation method for X, γ , β rays and electron beam [J]. *Chinese Journal of Radiological Health*, 2000, 9(4): 209-211.
- [6] 刘长安, 李小娟, 高玲. 辐射诱发白内障剂量判断: 变化在即[J]. *中华放射防护杂志*, 2011, 31(3): 249-251.
Liu CA, Li XJ, Gao L. Determine the threshold dose of radiation-induced cataracts: changing [J]. *Journal of Radiological Protection*, 2011, 31(3): 249-251.
- [7] Bartal G, Vano E, Paulo G, et al. Management of patient and staff radiation dose in interventional radiology: Current concepts [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2014, 37: 289-298.
- [8] Donadille L, Carinou E, Brodecki M, et al. Staff eye lens and extremity exposure in interventional cardiology: Results of the ORAMED project[J]. *Radiat Meas*, 2011, 46(11): 1203-1209.
- [9] 李农, 王良群, 缪维芳. 唐山市放射工作人员眼晶体损害调查分析 [J]. *中国辐射卫生*, 2011, 20(3): 383-385.
Li N, Wang NQ, Miu WF. Investigation of eye lens damage for interventional radiologists in Tangshan [J]. *Chinese Journal of Radiological Health*, 2011, 20(3): 383-385.
- [10] International Atomic Energy Agency. Basic Safety Standards of International Radiation Protection and Safety of Radiation Sources (Interim)[S]. IAEA "Safety Standards Series" GRS part 3. 2011: 94.
- [11] McVey S, Sandison A, Sutton D G. An assessment of lead eyewear in interventional radiology[J]. *J Radiol Prot*, 2013, 33(3): 647.
- [12] 黄铭, 张辉, 康宁, 等. LiF (Mg, Cu, P) 热释光探测器储能长期稳定性研究[J]. *中国辐射卫生*, 2013, 22(4): 391-395.
Huang M, Zhang H, Kang N, et al. Study on long-term stability of energy-storage of TLD 2000C LiF (Mg, Cu, P) thermoluminescence dosimeter [J]. *Chinese Journal of Radiological Health*, 2013, 22(4): 391-395.
- [13] Domienik J, Rusicka D, Szubert W. A study on the dose distributions near the eye lens and the legs. Part 2-interventional radiology [J]. *Radiat Meas*, 2013, 51: 62-66.
- [14] 卓维海, 刘伟琪, 黄刚, 等. GD-300 系列辐射光致发光玻璃剂量计的辐射剂量学特性[J]. *原子能科学技术*, 2009, 42(12): 1120-1124.
Zhuo WH, Liu WQ, Hu G, et al. Dosimetric properties of GD-300 series of radiophotoluminescent glass detector[J]. *Atomic Energy Science and Technology*, 2009, 42(12): 1120-1124.
- [15] Thornton RH, Dauer LT, Altamirano JP, et al. Comparing strategies for operator eye protection in the interventional radiology suite [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2010, 21(11): 1703-1707.
- [16] Vano E, Gonzalez L, Fernández JM, et al. Eye lens exposure to radiation in interventional suites: Caution is warranted 1 [J]. *Radiology*, 2008, 248(3): 945-953.
- [17] Farah J, Struelens L, Dabin J, et al. A correlation study of eye lens dose and personal dose equivalent for interventional cardiologists[J]. *Radiat Prot Dosim*, 2013, 157(4): 561-569.
- [18] Bilski P, Bordy JM, Daures J, et al. The new EYE-D dosimeter for measurements of HP (3) for medical staff [J]. *Radiat Meas*, 2011, 46(11): 1239-1242.
- [19] Behrens R. On the operational quantity Hp (3) for eye lens dosimetry [J]. *J Radiol Prot*, 2012, 32(4): 455.
- [20] Vanhavere F, Carinou E, Domienik J, et al. Measurements of eye lens doses in interventional radiology and cardiology: final results of the ORAMED project[J]. *Radiat Meas*, 2011, 46(11): 1243-1247.
- [21] Antic V, Ciraj-Bjelac O, Rehani M, et al. Eye lens dosimetry in interventional cardiology: results of staff dose measurements and link to patient dose levels[J]. *Radiat Prot Dosim*, 2013, 154(3): 276-284.
- [22] Vano E, Gonzalez L, Guibelalde E, et al. Radiation exposure to medical staff in interventional and cardiac radiology [J]. *Br J Radiol*, 1998, 71(849): 954-960.
- [23] Bor D, Olgar T, Onal E, et al. Assessment of radiation doses to cardiologists during interventional examinations[J]. *Med Phys*, 2009, 36(8): 3730-3736.
- [24] Martin CJ. Personal dosimetry for interventional operators: when and how should monitoring be done? [J]. *Br J Radiol*, 2011;84 (1003): 639-48.
- [25] Kong Y, Struelens L, Vanhavere F, et al. Influence of standing positions and beam projections on effective dose and eye lens dose of anaesthetists in interventional procedures [J]. *Radiat Prot Dosim*, 2014.
- [26] Carinou E, Ferrari P, Koukorava C, et al. Monte Carlo calculations on extremity and eye lens dosimetry for medical staff at interventional radiology procedures[J]. *Radiat Prot Dosim*, 2011, 144(1-4):492-496.
- [27] Zett-Lobos C, Vera-Muñoz F, Arriola-Alvarez K, et al. Es suficiente la protección otorgada por gafas plomadas en cardiología a intervencionista?[J]. *Revista Médica de Chile*, 2013, 141(1): 63-69.
- [28] Jacob S, Donadille L, Maccia C, et al. Eye lens radiation exposure to interventional cardiologists: a retrospective assessment of cumulative doses[J]. *Radiat Prot Dosim*, 2013, 153(3): 282-293.