

介入放射工作者眼晶状体受照剂量测量方法的研究

杨树强, 赵镁嘉, 陈晓文, 赵陆芊, 秦宏冉, 王静静, 何佳伟, 龙为红, 徐孝华

摘要: [目的] 探讨肝动脉栓塞化疗术中放射工作者眼晶状体累积受照剂量的测量方法。[方法] 用仿真人体模型模拟肝动脉栓塞化疗术常用投照体位及投照条件, 用眼晶状体剂量计[Hp(3)]测量模体眼晶状体部位(内测法)的累积受照剂量, 用热释光(TLD)元件测量模体眼睑部位(外测法)的累积受照剂量, 比较两种方法所测结果的差异。[结果] 无铅眼镜防护状态下, 内测法累积受照剂量当量为左眼(54.1 ± 2.3) μSv , 右眼(18.9 ± 0.8) μSv , 右眼累积受照剂量低于左眼($t=-63.31, P<0.05$); 外测法累积受照剂量当量为左眼(67.1 ± 1.2) μSv , 右眼(62.3 ± 1.4) μSv , 右眼累积受照剂量低于左眼($t=-11.71, P<0.05$); 两种测量方法中佩戴铅眼镜后左眼晶状体累积受照剂量当量可减少约30%~70%, 但铅眼镜对右眼晶状体的防护效果不如左眼($t=0.11, t=0.03, P>0.05$)。[结论] 两种测量方法中左眼晶状体受照剂量的结果相近, 测量右眼晶状体受照剂量时, 外测法结果明显高于内测法, 此法可能高估右眼晶状体受照剂量, 最大误差为65%。

关键词: 介入放射学; 眼晶状体剂量当量; 有效剂量; 辐射防护; 测量方法

Study on Measurement Methods for Radiation Exposure Dose in Human Lens of Interventional Radiologists
YANG Shu-qiang, ZHAO Mei-jia, CHEN Xiao-wen, ZHAO Lu-qian, QIN Hong-ran, WANG Jing-jing, HE Jia-wei, LONG Wei-hong, XU Xiao-hua (Department of Nuclear Radiation, Shanghai Pulmonary Hospital, Shanghai 200433, China). Address correspondence to XU Xiao-hua, E-mail: xiaohua621218@sina.com • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To study the methods for estimating cumulative exposure dose in human lens of the medical radiation workers in hepatic arterial chemoembolization. [Methods] Alderson Radiation Therapy (ART) phantom was used to simulate the scenario commonly used in hepatic arterial chemoembolization according to the position and projection conditions. Human lens dosimetry [Hp(3)] was used to estimate the cumulative exposure dose of the human lens in the ART phantom (internal measurement method), and at the same time thermoluminescence (TLD) elements on eyelids were used to estimate the dose (external measurement method). Then the difference of two kinds of measurement results was calculated. [Results] When lead glasses were off, for internal measurement method, the cumulative exposure dose to right lens [$(18.9 \pm 0.8) \mu\text{Sv}$] was lower than that to left lens [$(54.1 \pm 2.3) \mu\text{Sv}$] ($t=-63.31, P<0.05$). For external measurement method, the cumulative exposure to right lens [$(62.3 \pm 1.4) \mu\text{Sv}$] was also lower than that to left lens [$(67.1 \pm 1.2) \mu\text{Sv}$] ($t=-11.71, P<0.05$). The cumulative radiation exposure doses to left eye lens were attenuated by 30%-70% when lead glasses were on; however, the protection effect of lead glasses to right lens was not as good as that to left lens ($t=0.11, t=0.03, P>0.05$). [Conclusion] The results of the two measurement methods are similar for left human lens, but for right lens the cumulative dose equivalent detected by external measurement method is significantly higher than that by internal measurement method. Therefore, Hp(3) may overestimate the cumulative exposure dose to right human lens with a maximum error of 65%.

Key Words: interventional radiology; eye lens dose equivalent; effective dose; radiation protection; measurement method

随着介入放射学的迅速发展, 介入术中医护人员的放射防护问题也得到越来越广泛的关注。介入放射

诊疗过程中需要曝光的时间较长, 手术医生和辅助人员靠近患者站立, 距离主射束较近, 受到的辐射剂量相对较高。有研究报道, 介入心脏学医师在无眼部防护的情况下眼晶状体年剂量可达450~900 mGy^[1]。眼晶状体对电离辐射有较高的敏感性, 受到一定剂量的照射后, 经过一定的潜伏期, 会产生眼晶状体混浊, 进一步发展可导致放射性白内障, 而我国职业性放射性疾病确诊病例分布中, 放射性白内障长期以来高居

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2016.16442

[基金项目] 上海市2015—2017年公共卫生三年行动计划

[作者简介] 杨树强(1979—), 男, 硕士生, 主管技师; 研究方向: 放射防护; E-mail: yangsqiang2006@126.com

[通信作者] 徐孝华, E-mail: xiaohua621218@sina.com

[作者单位] 上海市肺科医院核辐射科, 上海 200433

第2位,占23.4%^[2]。因此,针对介入放射工作者眼晶状体的防护,国际放射防护委员会(ICRP)和国际原子能机构(IAEA)等国际组织对眼晶状体年当量剂量限值以及白内障的阈值做出了严格的规定。然而,眼晶状体当量剂量的准确测量仍然是一个亟待解决的问题。近年来,体表下3 mm深处的个人剂量当量即 $H_p(3)$ 被广泛用于评价眼晶状体剂量,但利用仿真人体模型作为眼晶状体剂量的评价方法研究较少,本研究采用专门测量 $H_p(3)$ 的热释光剂量计(TLD)和仿真人体模型进行平行实验测量,对比两种方法在测量结果上的差异,以期对眼晶状体累积受照剂量的准确评价提供实验依据,并为放射性白内障的辅助诊断奠定剂量学基础。

1 材料与方法

1.1 设备、仪器与人体模型

AXIOM ARTIS型数字减影血管造影X射线机(西门子,德国)的X射线球管位于床下,探测器为数字平板,管电压和电流均自动调节,该机配备的防护设施有悬挂铅屏风、上铅帘、侧铅帘和下铅帘。热释光剂量测量系统为BR2000D型热释光剂量读出器(解放军防化研究院,中国);热释光探测器为LiF(Mg, Cu, P)(北京瑞福特辐射测量仪器有限公司,中国),型号:GR-200A,规格: $\Phi 1.5\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$,分散性: $\leq \pm 1\%$,均经过上海市计量测试技术研究院检定。多功能组合式个人剂量计(天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司,中国)可测量深部剂量 $H_p(10)$ 和眼晶状体剂量 $H_p(3)$ 。美国ART(Alderson Radiation Therapy phantom)仿真人体模型(Radiology Support Devices,美国),防护眼镜(不带侧防)0.5 mm铅当量。

1.2 测量方法

以肝动脉栓塞化疗术作为本次的实验模型,因术中患者体位基本固定不变,射束方向也较为单一,可避免因患者体位的变动对测量结果的影响。实验中,将仿真人体模型的腹部置于诊疗床上适当的位置模拟患者作为散射体,将仿真人体模型的头胸部置于第一术者介入操作时所处位置模拟操作者。考虑到介入术中操作人员可能佩戴铅眼镜等实际情况,实验将模型分为佩戴和不佩戴铅眼镜两种情况,各测量30次,每次曝光时间为5 min。

测量方法有两种。内测法:将TLD元件置于仿真人体模型的左、右眼晶状体位置,每个位点设置5个

平行TLD元件,检测结果取其平均值;外测法:在仿真人体模型眼睑处布放专门测量 $H_p(3)$ 的眼晶状体剂量计,与内测法同时进行。

选择肝动脉栓塞化疗术诊疗条件:焦屏距为100 cm,常用照射野31 cm,照射方向向上,自动曝光。参数为管电压75.4 kV,管电流261.2 mA,曝光时间设定为5 min。上述曝光模式及参数在实验测量过程中保持不变,检测第一术者在有铅眼镜(0.5 mm铅当量)和无铅眼镜防护状态下,其眼晶状体所受到的辐射剂量水平。

根据对上海市某二级甲等医院介入工作条件的调查,肝动脉栓塞化疗术常用照射方向为后前位,照射条件为管电压75.4 kV,管电流261.2 mA,累积照射时间为1.5~15.4 min,照射野为35~45 cm,采用NCRP122号报告中有效剂量的估算方法^[3],得到该院介入放射工作者每例手术的眼晶状体当量剂量范围。

1.3 统计学分析

统计学分析采用SPSS 15.0软件完成,所有数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,两种测量方法所检测的眼晶状体累积受照剂量的差异性分析采用 t 检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 内测法和外测法测量结果的比较

由表1可见,无铅眼镜防护状态下,内测法测量结果显示,左眼晶状体累积受照剂量当量为 $(54.1 \pm 2.3)\mu\text{Sv}$,右眼晶状体为 $(18.9 \pm 0.8)\mu\text{Sv}$,右眼晶状体累积受照剂量低于左眼晶状体($P<0.05$);而外测法测量结果则显示,左眼晶状体累积受照剂量当量为 $(67.1 \pm 1.2)\mu\text{Sv}$,右眼晶状体为 $(62.3 \pm 1.4)\mu\text{Sv}$,右眼晶状体累积受照剂量略低于左眼晶状体($P<0.05$)。对于第一术者,左眼晶状体受照剂量的估算中两种方法测量结果相近,右眼晶状体受照剂量的估算中外测法明显高于内测法。另外,通过实验测试,佩戴铅眼镜后其防护效果可使左眼晶状体累积受照剂量减少约30%~70%,佩戴铅眼镜前后差异有统计学意义($t=9.83$, $t=5.14$, $P<0.05$);但铅眼镜对右眼晶状体的防护效果不明显,差异无统计学意义($t=0.11$, $t=0.03$, $P>0.05$)。

2.2 眼晶状体年当量剂量和年有效剂量

以500例手术为年工作量来计算^[4],得到该医院介入放射工作者的眼晶状体年当量剂量。表2显示,无论是否佩戴有铅眼镜,仿真人体模型估算的每例手术眼晶状体剂量当量和眼晶状体年当量剂量均接近

实际眼晶状体剂量计水平。

表1 肝动脉栓塞化疗术第一术者眼晶状体剂量水平(μSv , $\bar{x} \pm s$)

晶状体部位	例数	无铅眼镜时		有铅眼镜时	
		内测法	外测法	内测法	外测法
左眼	30	54.1 $\pm$ 2.3 ^a	67.1 $\pm$ 1.2	36.4 $\pm$ 1.3 ^a	38.1 $\pm$ 1.7
右眼	30	18.9 $\pm$ 0.8 ^a	62.3 $\pm$ 1.4	13.5 $\pm$ 1.0 ^a	26.5 $\pm$ 1.4
<i>t</i>		-63.31	-11.71	-64.30	-23.35
<i>P</i>		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

[注] a: 与外测法比较, $P < 0.05$ 。

表2 肝动脉栓塞化疗术第一术者眼晶状体年当量剂量

晶状体部位	检测类型	无铅眼镜时		有铅眼镜时	
		每例手术眼晶状体剂量当量(μSv)	眼晶状体年当量剂量(mSv)	每例手术眼晶状体剂量当量(μSv)	眼晶状体年当量剂量(mSv)
左眼	仿真人体模型	16.2~166.6	8.1~83.3	10.9~112.1	5.5~56.1
	眼晶状体剂量计	20.1~206.7	10.1~103.3	11.4~117.3	5.7~58.7
右眼	仿真人体模型	5.7~58.2	2.8~29.1	4.1~41.6	2.0~20.8
	眼晶状体剂量计	18.7~191.9	9.3~95.9	8.0~81.6	4.0~40.8

3 讨论

本研究以肝动脉栓塞化疗术从业人员的受照为研究内容,以仿真人体模型模拟第一术者,并考虑到实际工作中个人防护用品的使用状况;实验中照射方向、第一术者和患者模体的位置及曝光条件的选择均在有多年临床经验的医师指导下进行,与实际情况接近。本次模拟测试选择临床常用的后前位照射方向,根据 Koukorava 等^[5]报道, X 射线机倾斜度的不同也会引起眼晶状体剂量值的不同,因此眼晶状体剂量估算中,应注意 X 射线机的投照方向对剂量的影响。

随着介入放射学程序的应用在我国越来越普及,介入放射工作者眼晶状体的防护也引起广泛的关注,ICRP 在 2011 年的一项声明中指出:职业人员眼晶状体剂量确定性效应阈值降为 0.5 Gy,眼晶状体当量剂量限值规定为:连续 5 年的平均当量剂量不得超过 20 mSv,5 年中任何 1 年的当量剂量不得超过 50 mSv。同年,IAEA 安全标准丛书(GSR part 3)也使用了 ICRP 2011 年声明中的眼晶状体当量剂量规定,可见国际上对眼晶状体防护的重视。由于眼晶状体的个人防护用品主要是铅眼镜,故本实验针对铅眼镜的防护效果进行了测试。佩戴 0.5 mm 铅当量的铅眼镜可使眼晶状体累积受照剂量减少约 30%~70%。Sandblom^[6]的实验中佩戴 0.75 mm 铅当量的铅眼镜可使眼晶状体累积受照剂量减少约 30%~88%,两者实验结果较为相似。有研究报道,天花板悬挂铅屏风可减少操作者眼晶状体

剂量的因子数为 3~20,它应该放在散射源和操作者之间,并且尽量靠近散射源^[7]。因此,介入放射学程序应用中,介入放射工作者可佩戴铅眼镜及悬挂铅屏风,以加强对其眼晶状体的防护。

数字减影血管造影 X 射线机所发射的 X 射线为低能射线,其与被照射介质(组织)相遇时以光电效应吸收为主,被照射组织的吸收与原子序数及放射线能量关系密切,即骨吸收明显比软组织吸收多^[8]。本次实验结果表明,在利用专门测量 $H_p(3)$ 的眼晶状体剂量计和仿真人体模型作为眼晶状体受照剂量的估算方法对比中,第一术者左眼晶状体受照剂量估算,两种方法测量结果相近;右眼晶状体受照剂量估算,外测法明显高于内测法。上述剂量的差异可能与射线穿过人面部时的骨和软组织的吸收有关,即专门测量 $H_p(3)$ 的眼晶状体剂量计布放于模体眼睑外,两眼受照剂量均未经过人面部骨和软组织的吸收,而利用仿真人体模型进行眼晶状体受照剂量测量时,热释光探测器布放于模体内部眼晶状体位置,右眼晶状体受照剂量经过人面部骨和软组织的路径较左眼距离长,剂量衰减较多。

因此,根据本实验测试结果,在介入放射工作者眼晶状体累积受照剂量的估算中,利用专门测量 $H_p(3)$ 的眼晶状体剂量计进行眼晶状体剂量估算时,可能会高估右眼晶状体受照剂量,最大误差为 65%。另外,此剂量的差异及其对眼晶状体带来的损伤程度也会有所不同。因此,其在放射性白内障的诊断及鉴别诊断中的应用价值有待进一步研究。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献

- [1] Vaňo E, González L, Beneytez F, et al. Lens injuries induced by occupational exposure in non-optimized interventional radiology laboratories[J]. Br J Radiol, 1998, 71(847): 728-733.
- [2] 王玉珍,王秀娥.全国职业性放射性疾病诊断现状及存在问题[J].中华放射医学与防护杂志,2002,22(4): 301-302.
- [3] NCRP. Use of personal monitors to estimate effective dose equivalent and effective dose to workers for external exposure to low-LET radiation[R]. Report No. 122. Bethesda: NCRP, 1995.
- [4] 王晓峰,白玫,孙雪梅,等. CA 与 PTCA 中医务人员的剂(下转第 1190 页)

3 讨论

五氯酚被列为优先控制的持久性有机污染物之一,准确简便的测定方法是研究五氯酚在环境中外剂量水平及人体内暴露剂量的基础。目前,国内外检测五氯苯酚常用的分析方法有分光光度法、高效液相色谱法、离子选择电极法和气相色谱法等。由于尿样基体复杂、干扰大,本研究利用顶空固相微萃取技术,对尿样中五氯酚进行萃取,简化了样品的前处理过程。通过选择萃取涂层,优化萃取温度、平衡时间和盐析条件,建立了顶空固相微萃取-气相色谱法测定尿中五氯酚的方法。该方法简便实用,精密度和加标回收率均符合要求,是测定尿中五氯酚的可行方法,可用于职业接触人群尿中五氯酚的测定。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献

- [1] 李梦耀, 杨婧晖, 钱会. 五氯苯酚测定方法研究进展[J]. 分析测试技术与仪器, 2007, 13(4): 285-290.
- [2] 杨淑贞, 韩晓冬, 陈伟. 五氯酚对生物体的毒性研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2005, 22(5): 396-398.
- [3] 许文青, 樊柏林, 陈明, 等. 五氯苯酚和五氯苯酚钠毒性作用研究进展[J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2011, 25(6): 596-600.
- [4] Castleman BI, Ziem GE. American conference of governmental industrial hygienists: low threshold of credibility[J]. Am J Ind Med, 1994, 26(1): 133-143.
- [5] 胡庆兰. 自制离子液体固相微萃取涂层分析人体尿液中的五氯酚[J]. 应用化学, 2013, 30(3): 323-328.
- [6] 徐溢, 付钰洁. 固相微萃取萃取头制备技术及试验方法的进展[J]. 色谱, 2004, 22(5): 528-534.
- [7] Ouyang GF, Pawliszyn J. SPME in environmental analysis[J]. Anal Bioanal Chem, 2006, 386(4): 1059-1073.
- [8] Polo M, Gómez-Noya G, Quintana JB, et al. Development of a solid-phase microextraction gas chromatography/tandem mass spectrometry method for polybrominated diphenyl ethers and polybrominated biphenyls in water samples[J]. Anal Chem, 2004, 76(4): 1054-1062.
- [9] 王玉飞, 金米聪, 李继革. 顶空固相微萃取-气相色谱法测定尿中苯酚[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(10): 2401-2402.
- [10] Campillo N, Peñalver R, Hernández-Córdoba M. A sensitive solid-phase microextraction/gas chromatography-based procedure for determining pentachlorophenol in food[J]. Food Addit Contam, 2007, 24(7): 777-783.
- [11] Eisert R, Levsen K. Determination of organophosphorus, triazine and 2, 6-dinitroaniline pesticides in aqueous samples via solid-phase microextraction (SPME) and gas chromatography with nitrogen-phosphorus detection[J]. Fresenius' J Anal Chem, 1995, 351(6): 555-562.
- [12] Limam I, Guenne A, Driss MR, et al. Simultaneous determination of phenol, methylphenols, chlorophenols and bisphenol-A by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry in water samples and industrial effluents[J]. Int J Environ Anal Chem, 2010, 90(3-6): 230-244.

(收稿日期: 2016-04-27)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 洪琪; 校对: 葛宏妍)

(上接第 1186 页)

量学研究[J]. 中国辐射卫生, 2006, 15(1): 13-16.

- [5] Koukorava C, Carinou E, Simantirakis G, et al. Doses to operators during interventional radiology procedures: focus on eye lens and extremity dosimetry[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2011, 144(1-4): 482-486.
- [6] Sandblom V. Evaluation of eye lens doses received by medical staff working in interventional radiology at Sahlgrenska university hospital[R]. Sweden: The Sahlgrenska Academy, 2012.

- [7] Kim KP, Miller DL. Minimising radiation exposure to physicians performing fluoroscopically guided cardiac catheterisation procedures: a review[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2009, 133(4): 227-233.
- [8] 许昌韶. 高等教育教材: 肿瘤放射治疗学[M]. 2版. 苏州: 苏州大学出版社, 2005.

(收稿日期: 2016-06-15)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 洪琪; 校对: 汪源)