

Continuous Improvement of the Diagnostic Reference Levels for Medical X-Ray Radiography*

Peng Li, Weihai Zhuo[#], Bo Chen, Yanling Yi

Institute of Radiation Medicine, Fudan University, Shanghai

Email: [#]whzhuo@fudan.edu.cn

Received: Jan. 13th, 2013; revised: Feb. 5th, 2013; accepted: Feb. 16th, 2013

Abstract: To provide references for improving the diagnostic reference level (DRL) for medical X-ray diagnostic radiography, the recommended dose levels all over the world in different years were reviewed and analyzed. Grouped the examinees/patients into adults and children and taken the medical X-ray diagnostic photography as an example, the reference levels and their trends were compared and analyzed. The results showed that both the types and their values of DRLs varied from different countries, organizations or regions. Especially in some developed countries, the types of DRLs are increasing, and the dose reference levels are getting strict. The findings of this study are useful for improving the DRLs of medical exposure in our country.

Keywords: Medical Exposure; Radiation Protection; Reference Level; Entrance Surface Dose

不断完善的医用 X 射线摄影诊断指导水平*

李 鹏, 卓维海[#], 陈 波, 易艳玲

复旦大学放射医学研究所, 上海

Email: [#]whzhuo@fudan.edu.cn

收稿日期: 2013 年 1 月 13 日; 修回日期: 2013 年 2 月 5 日; 录用日期: 2013 年 2 月 16 日

摘 要: 为不断完善医用 X 射线诊断的医疗照射指导水平(以下简称“指导水平”)提供参考, 综述分析世界各地在不同年代建立的指导水平情况。按成年人和儿童分类, 以医用 X 射线诊断摄影为例, 比较分析指导水平的差异及其变化趋势。结果显示不同国家、组织或地区已制订的指导水平的种类及其相应量值不尽相同, 特别是在部分发达国家, 指导水平的种类日趋增多、剂量参考水平越来越严。这对完善或更新我国医疗照射指导水平具有很高的指导意义。

关键词: 医疗照射; 放射防护; 指导水平; 入射体表剂量

1. 引言

医疗照射是最大的人工电离辐射源, 而 X 射线诊断频率占比最高^[1]。随着国民经济和社会的发展, 一方面, 人们使用医用 X 射线诊断检查的应用频率不断增加^[2,3]; 另一方面人们又更加关注自身的放射防护问题。这些都要求各界更加关注公众的辐射照射剂量,

建立(或制订)更加严格的放射防护措施和质量控制方法, 让医疗照射更好地为人类造福^[4]。为加强医疗照射防护提供新举措, 自上世纪九十年代以来, 各国际组织、国家和地区都在试图建立并完善符合本地的放射诊断指导(或参考)水平(Diagnostic Reference Level, DRL, 以下简称“指导水平”)^[5-7]。本文从指导水平的定义和建立依据出发, 以医用 X 射线诊断摄影为例, 简要地对世界各国或地区的指导水平开展了综合分

*资助信息: 国家自然科学基金资助(10675036, 11075040)。

[#]通讯作者。

析与展望,旨在为我国完善或建立相应的指导水平提供参考。

2. 放射诊断指导水平

2.1. 指导水平的定义与表征量

国际放射防护委员会(ICRP)引入 DRL 是为了用来判断在通常的使用条件下某一类别的放射诊断所致受检者(或患者)的辐射剂量是否过高或低。ICRP 同时还指出,指导水平并不是剂量限值,而是一个易于测量、采用调查得到的水平,用来识别和判断本地水平^[8,9]。英国医学物理研究院(IPSM)在 1992 年建议将第 75 百分位数值(以下称为 75%值)定为 DRL,之后世界各地通行的确定方法^[5,7]一般也都将 75%值的修约值作为该地的 DRL。

对于医用 X 射线摄影的 DRL,一般都采用受检者或患者的入射体表剂量(ESD)来表征,单位用 mGy 或 μGy 。同一类别或体位的 X 射线单次摄影,成年人和儿童的 ESD 通常差异较大,因此在建立 DRL 时应区别对待。另外,儿童的体重和身高变化较大,单次摄影的 ESD 变化也不可忽视,所以在建立儿童的指导水平时,通常还需分年龄段。

2.2. 指导水平的确定方法

为确定指导水平,在调查对象的选取时,应考虑人口和经济因素,并根据本地医用 X 射线装置的使用频率和医疗水平,选择具有代表性的样本。成年人的 DRL 值通常是针对标准体重而建立的,如有些调查规定的受检者体重为 $70 \pm 5 \text{ kg}$ ^[5,10]。另一方面,由于接受医用 X 射线诊断的受检者或患者数量大且体位繁多,全面调查工作量巨大,因此有些国家或地区只调查成年人或常见摄影部位的入射体表剂量水平。

入射体表剂量通常是指照射野中心位置的剂量,其获取一般采用两大类方法:一种是在人体的或利用物理模体代替人体开展直接测量,测量常用的剂量计有热释光(TLD)等剂量元件或直读式各类剂量计^[11];另一种是基于摄影所用的相关参数利用经验公式或蒙特卡罗模拟计算方法来计算得到^[12]。

3. 不同国家或地区的指导水平

早在上世纪九十年代初,英国和欧共体委员会

(CEC)就通过调查研究提出了当地的医疗照射指导水平^[13,14]。1996 年,国际原子能机构(IAEA)、世界卫生组织(WHO)、国际劳工组织(ILO)等 6 个权威国际机构为响应 ICRP 建议,在联合制订的国际基本安全标准(IBSS)^[15]中首次向全世界推荐放射诊断和核医学诊断医疗照射指导水平,随后世界各国和地区都积极响应并开展各自的调查。随着时间的推进,很多国家、组织或地区建立了更加新的、全面的、严格的指导水平。我国在借鉴 IBSS 医疗照射指导水平的基础上,采用“医疗照射指导水平”这一术语,并根据我国实际照射水平情况于 2002 年也建立了诊断性医疗照射指导水平^[16]。下面从成年和儿童受检者指导水平两个方面,分析国际上 X 射线摄影检查所致受检者剂量的指导水平发展状况。

3.1. 成年受检者的指导水平

表 1 列出了不同国家、组织或地区在不同年代建立的成年人接受医用 X 射线诊断的指导水平或 75% 值情况。从表 1 可以看出,在一、二级保健水平的国家中,除少数国家如马来西亚^[15]外,多数国家或地区建立的 DRL 或 75%值小于或接近于 IAEA 或 CEC 等国际组织推荐的水平值;但不同国家或地区间、不同年份、不同保健水平间建立的指导水平值存在一定的差异,建立的类别或部位不同,并表现出一定的变化趋势,分别概述如下。

一是不同国家或地区 DRL 建立的年代和剂量水平不同。经济发达的国家较早就进行了调查并建立了 DRL,并且开展调查的次数多,以英国为例,该国每 5 年做一次全国调查^[19],向公众报告相关情况,并完善和修订 DRL 值;一些国家还才刚刚开始建立 DRL,瑞士 2006 年^[17]国家指导水平是在 2004 年调查^[21]的基础上修约建立的,韩国在 2007 年^[18]、伊朗在 2008 年^[24]才第一次开展国家调查并建议建立国家水平。另一方面,不同保健水平的地区建立的 DRL 有差异。参照联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)报告定义的不同保健水平^[27],比较发现一级保健水平国家或地区建立的 DRL 值小于二级保健水平国家或地区,以胸部后前为例,以表中数据比较不同保健水平的国家或地区的最新指导水平值,并与国际组织值相比较,发现一级保健水平的 DRL 值(均值为 0.3 mGy)明

Table 1. DRLs (mGy) of adults undergoing X-ray radiography in different countries, organizations or regions
表 1. 不同国家、组织或地区成年受检者接受 X 射线摄影的指导水平(mGy)

分类	国家、组织或地区	年份	腰椎 AP	腰椎 LAT	腰椎 LSJ	胸部 PA	胸部 LAT	胸椎 AP	胸椎 LAT	腹部 AP	骨盆 AP	髋关节 AP	头颅 PA	头颅 LAT
一级保健水平	西班牙	1999 年 ^[17]	10	30	40	0.3	1.5	-	-	10	10	-	5	3
	^a 爱尔兰	2000 年 ^[14]	8	24	46	0.3	-	-	6	-	7	-	-	-
	德国	2003 年 ^[17]	10	30	-	0.3	1.5	7	12	10	10	-	5	3
	法国	2004 年 ^[17]	10	30	-	0.3	1.5	-	-	10	10	-	5	3
	美国	2005 年 ^[17]	5	-	-	0.25	-	-	-	4.5	-	-	-	-
	^a 韩国	2007 年 ^[18]	3.56	11.45	-	0.28	1.61	2.85	8.85	3.06	2.87	2.90	2.76	1.78
		1992 年 ^[14,15]	10	30	-	0.3	1.5	7	20	10	10	-	5	3
	英国	2002 年 ^[14]	6	14	-	0.2	1	3.5	10	6	4	-	3	1.5
		2007 年 ^[19]	5	11	26	0.15	0.6	4	7	4	4	-	2	1.3
	意大利	2000 年 ^[17,20]	10	30	40	0.4	1.5	-	-	10	10	-	5	3
		^c 2005 年 ^[20]	3.8	10.8	-	0.3	0.8	-	-	3.7	3.7	-	2	1.3
	^b 瑞士	2004 年 ^[21]	8.7	26	-	0.2	0.4	7	21	7	7.8	4.7	5.4	3.5
		2006 年 ^[17]	10	30	40	0.3	1.5	-	-	-	10	-	5	3
	立陶宛	2005 年 ^[22]	12	35	-	0.6	-	9	20	10	-	10	5	3
		2010 年 ^[23]	10	20	-	0.3	1.7	6	10	-	5	5	4	3
二级保健水平	马来西亚	1998 年 ^[15]	14.71	25.12	-	0.35	2	-	-	13.82	11.08	-	6.85	4.81
	中国	2002 年 ^[16]	10	30	40	0.4	1.5	-	20	10	10	10	5	3
	^a 伊朗	2008 年 ^[24]	3.43	8.41	-	0.41	2.07	2.72	5.29	4.06	3.18	-	2.83	1.93
		1998 年 ^[25]	10	30	-	0.40	1.50	7.0	20	-	-	-	-	3.0
	巴西	^d 2004 年 ^[25]	6.6	16.2	-	0.35	0.96	2.9	6.2	-	-	-	-	2.1
		^e 2008 年 ^[26]	2.6	4.75	-	0.24	0.62	-	-	2.26	-	-	1.55	-
国际组织	IAEA	1996 年 ^[15,25]	10	30	40	0.4	-	7	20	10	10	-	5	3
	CEC	1991 年 ^[14]	10	30	40	0.3	-	-	-	10	10	-	-	-
		1999 年 ^[22]	10	30	40	0.3	1.5	-	-	10	10	-	5	3

注: PA 为后前位, AP 为前后位, LAT 为侧位, LSJ 为腰骶关节位, CEC 为欧洲共同体委员会, IAEA 为国际原子能机构, “-” 为无数据; ^a: 第一次调查建立 DRL 值, ^b: 瑞士 2006 年的国家指导水平是在 2004 年调查的基础上修约建立的, ^c: 博洛尼亚市, ^d: 圣保罗市, ^e: 里约热内卢市。

显小于二级保健水平的 DRL(均值为 0.41 mGy), 秩和检验显示, 两者差异有统计学意义($Z = -2.35$, $P = 0.02$)。另外, 同一保健水平下的国家 DRL 值也有差别, 以腹部前后(AP)位为例, 同是一级保健水平的美国和立陶宛, 美国在 2005 年建立的 DRL 值为 4.5 mGy^[17], 立陶宛在 2005 年建立的 DRL 值为 10 mGy^[22]。

二是不同组织或地区建立和完善的 DRL 类别有差异。从表 1 中可以看到, 不同地区建立的 DRL 值的常见部位和体位有腰椎、胸部、头颅、腹部、盆骨位等; 除了常见部位, 近年来发达国家建立的 DRL

值的部位和体位范围扩大, 如韩国在 2007 年第一次建立的 DRL 中比其他发达国家的调查部位多出胸椎、髋关节等^[18], 英国也在 2007 年调查中增加了腰椎腰骶关节(LSJ)体位^[19]。

三是 DRL 的变化表现出一定的趋势。首先, 随着时间的推移, 各国或地区的指导水平值(参考剂量)都呈下降趋势, 一般后一次建立的指导水平值小于以往的指导水平值。如英国的部分指导水平值呈下降趋势^[14,15,19], 立陶宛在 2010 年^[23]与 2005 年的值^[22]相比降低; 其次, 制订 DRL 的部位和类别逐渐增多; 另外, 很多地区根据本地情况, 在国家水平的基础上还

Table 2. DRL (μGy) of children patients for X-ray radiography in different countries, organizations or regions
表 2. 不同国家、组织或地区儿童受检者接受 X 射线摄影的指导水平(μGy)

分类	国家或组织	年份	胸部正位	腹部正位	骨盆正位	头颅正位	头颅侧位
一级保健水平	英国	2000 年 ^[12,28]	0~1 m: 50	1 m~1 y: 400	1 y~5 y: 600	1 m~1 y: 800	0.5~2 y: 500
			1 m~1 y: 70	1~5 y: 500	5~10 y: 700	1~5 y: 1100	3~7 y: 800
			5 y:120	5~10 y: 800	10~15 y: 2000	5~18 y: 1100	8~18 y: 800
二级保健水平	印度	2010 年 ^[29]	5~9 y: 200	5~9 y: 500	5~9 y: 700	5~9 y: 600	5~9 y: 500
国际组织	欧共体	1996 年 ^[30]	0~1 m: 80	1 m~1 y: 200	1 m~1 y: 200	5 y: 1500	5 y: 1000
			5 y:100	5 y: 1000	5 y: 900		5 y: 1000

建立了本地指导水平,如意大利博洛尼亚市^[20],巴西圣保罗市^[25]和里约热内卢^[26],而且均小于国家指导水平。

3.2. 儿童受检者的指导水平

在建立儿童指导水平时,大多考虑了儿童年龄的变化,并根据年龄进行了分组,大致如 0~1 m, 1 m~1 y, 1~5 y, 5~10 y, 10~15 y, 15~18 y 等;调研发现,世界各国、组织或地区开展相关调查并建立儿童剂量指导水平的研究极少,且相关研究的时间相对较晚。表 2 罗列了英国、印度和 CEC 等的 DRL 值。印度在 2010 年才第一次在文献中提出儿童指导水平^[29];调研显示,各国或地区近年来研究和关注儿童剂量及 DRL 有增多的趋势;文献中建立了儿童 X 射线摄影指导水平的部位和体位都较少,且数据不够完整;儿童指导水平普遍小于成年人的值。我国至今未建立儿童受检者的医疗照射指导水平。

4. 结论和展望

放射诊断医疗照射指导水平的建立或制订是一个不断完善的过程,同一时间不同国家、组织或地区的指导水平不同,同一国家、组织或地区在不同时间里的指导水平也不同。指导水平只有结合本地实际才能显示其指导辐射防护实践的作用,各国或地区可以根据本地的实际,并与时俱进,建立或完善本地指导水平,包括更多的部位、体位和更多的指导水平项目。

儿童辐射照射问题是研究中关注的重点,临床上开展儿童 X 射线检查的剂量水平情况值得关切,目前国际上各国或地区建立或制订的有关儿童的指导水平相对较少或缺乏,需要用更多的调查数据来补充和加强对儿童剂量指导水平的建立工作。

研究发现,不同保健水平的国家或地区间建立的指导水平差异较大,较低保健水平的国家或地区受照剂量增长迅猛,剂量水平随着医疗卫生水平、地区因素、人口因素、经济水平和健康需求等发生着变化,需要建立新的适合本地的指导水平。发展中国家占据着世界的大部分人口,在借鉴已有经验的基础上,应该加强对建立发展中国家或经济落后国家或地区指导水平的重视度。

5. 致谢

感谢给予本研究支持的两项国家自然科学基金(编号: No.10675036, No.11075040)。

参考文献 (References)

[1] UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation, Vol. I: Sources. New York, 2000.

[2] D. Hart, B. F. Wall. Radiation exposure of the UK population from medical and dental X-ray examinations: NRPB-W4. Chilton: National Radiological Protection Board, 2002.

[3] 高林峰, 姚杰, 郑钧正等. 上海市 2007 年 X 射线诊断的医疗照射应用频率及其分布[J]. 环境与职业医学, 2009, 26(6): 532-536.

[4] 郑钧正, 郭常义, 吴凡. 让医疗照射更好地造福于民[J]. 环境与职业医学, 2009, 6: 525-527.

[5] K. Matthews, P. C. Brennan. The application of diagnostic reference levels: General principles and an Irish perspective. Radiography, 2009, 15: 171-178.

[6] 郑钧正, 卓维海. 不断完善与推广应用医疗照射的指导水平[J]. 医学研究杂志, 2007, 36(12): 4-6.

[7] 朱志贤, 郑钧正, 陈峰等. 放射诊断医疗照射指导水平的确定方法[J]. 中国辐射卫生, 2004, 13(2): 83-87.

[8] 刘长安. 关于医疗照射指导水平[J]. 中国医疗器械信息, 2009, 15(5): 81-84.

[9] ICRP. The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. Oxford: Elsevier, 2007.

[10] B. F. Wall. Implementation of DRLs in the UK. Radiation Protection Dosimetry, 2005, 114(1-3): 183-187.

[11] D. A. Johnston, P. C. Brennan. Reference dose levels for patients undergoing common diagnostic X-ray examinations in Irish hospitals. British Journal of Radiology, 2000, 73(868): 396-402.

[12] I. I. Suliman, E. H. Elshiekh. Radiation doses from some com-

- mon paediatric X-ray examinations in Sudan. *Radiation Protection Dosimetry*, 2008, 132(1): 64-72.
- [13] D. Hart, M. C. Hillier and B. F. Wall. Doses to patients from medical X-ray examinations in the UK-2000 review: NRPB-W14. Chilton: NRPB, 2002.
- [14] K. H. Ng, P. Rassiah, H. B. Wang, et al. Doses to patients in routine X-ray examination in Malaysia. *The British Journal of Radiology*, 1998, 71: 654-660.
- [15] AEA 安全丛书 N0.115. 国际电离辐射防护和辐射源安全的基本安全标准[M]. 维也纳: 国际原子能机构, 1997.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 18871-2002, 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2006.
- [17] D. Hart, M. C. Hillier and B. F. Wall. National reference doses for common radiographic, fluoroscopic and dental X-ray examinations in the UK. *British Journal of Radiology*, 2009, 82: 1-12.
- [18] Y. Kim, J. Choi, C. Kim, et al. Patient dose measurements in diagnostic radiology procedures in Korea. *Radiation Protection Dosimetry*, 2007, 123(4): 540-545.
- [19] D. Hart, M. C. Hillier and B. F. Wall. Doses to patients from radiographic and fluoroscopic X-ray imaging procedures in the UK-2005 review. Chilton: Health Protection Agency, 2007.
- [20] G. Compagnone, L. Pagan and C. Bergamini. Local diagnostic reference levels in standard X-ray examinations. *Radiation Protection Dosimetry*, 2005, 113(1): 54-63.
- [21] A. Aroua, A. Besancon, I. Buchillier-Decka, et al. Adult reference levels in diagnostic and interventional radiology for temporary use in Switzerland. *Radiation Protection Dosimetry*, 2004, 111(3): 289-295.
- [22] J. Ziliukas, G. Morkunas. Results of a patient dose survey on diagnostic radiology in Lithuania. *Radiation Protection Dosimetry*, 2005, 114(1-3): 172-175.
- [23] J. Ziliukas, L. Krynce and A. Urboniene. Management of patient doses and diagnostic reference levels in X-ray radiography in Lithuania. *Radiation Protection Dosimetry*, 2010, 139(1-3): 313-316.
- [24] M. Asadinezhad, M. T. B. Toosi. Doses to patients in some routine diagnostic X-ray examinations in Iran: Proposed the first Iranian diagnostic reference levels. *Radiation Protection Dosimetry*, 2008, 132(4): 409-414.
- [25] M. B. Freitas, E. M. Yoshimura. Diagnostic reference levels for the most frequent radiological examinations carried out in Brazil. *Revista Panamericana de Salud Pública/Pan American Journal of Public Health*, 2009, 25(2): 95-104.
- [26] O. A. Osibote, A. C. P. de Azevedo. Estimation of adult patient doses for common diagnostic X-ray examinations in Rio de Janeiro Brazil. *Physica Medica*, 2008, 24(1): 21-28.
- [27] UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation, Vol. I: UNSEAR 2008 report to the general assembly with scientific annexes. New York, 2010.
- [28] K. A. Gogos, E. N. Yakoumakis, I. A. Tsalaftoutas, et al. Radiation dose considerations in common paediatric X-ray examinations. *Pediatric Radiology*, 2003, 33(4): 236-240.
- [29] A. U. Sonawane, K. J. Sunil, M. Singh, et al. Suggested diagnostic reference levels for paediatric X-ray examinations in India. *Radiation Protection Dosimetry*, 2011, 147(3): 423-428.
- [30] European Commission. Radiation protection 109: Guidance on diagnostic reference levels (DRLs) for medical exposures. European Commission, 1999.