

医学影像学的时代重任

郑钧正

〔作者简介〕 郑钧正,研究员,教授,博士生导师。1965~1993 年任职于中国医学科学院/中国协和医科大学放射医学研究所,曾任副所长 6 年;后调入中国疾病预防控制中心的辐射防护与核安全医学所。现受聘客座于清华大学、复旦大学、首都医科大学等多家单位。1992 年获国务院政府特殊津贴。1978~2013 年荣获省部级以上的科技成果奖 21 项(其中负责的国家级奖 3 项);迄今在国内外正式发表中、英文学术论文 220 多篇;出版专著 17 本;负责研制起草并报批发布国家标准和国家职业卫生标准 18 项。近 15 年先后申请获批准承担国家自然科学基金的面上项目与重点项目 8 项研究课题。研究方向为电离辐射剂量学、放射医学与防护、医学物理、核安全防护、辐射监测等。

中图分类号 R144

文献标识码 A

DOI 10.11969/j.issn.1673-548X.2015.05.001

随着科技进步和社会发展,全民医疗卫生保健需求日益剧增。其中一个突出的标志是医学影像技术不断开拓创新。其在为公众保健体检和疾病诊治方面发挥作用的同时,显著增加了公众接受各类放射诊疗所产生医疗照射(medical exposure)的机会。因此,现代医学影像学的迅猛发展,必须同时注重积极推动医疗照射的放射防护最优化,尽可能合理减少受检者所致的医疗照射剂量以追求实现趋利避害。

一、医学影像技术已经成为现代医学不可或缺的重要手段

2015 年 11 月 8 日是伦琴发现 X 射线 120 周年^[1]。这项荣膺诺贝尔奖的杰出成就“宣布了现代物理学时代的到来,使医学发生了革命”^[2];并很快催生了 X 射线诊断学(放射学),随后迅速发展了核医学、放射肿瘤学以及介入放射学等各类放射诊疗分支^[3]。之后又一荣获诺贝尔奖的发明——1972 年问世的 X 射线计算机断层扫描成像(X-CT)引发了医学诊断的第二次革命,从此开辟了数字化医学影像的新时代^[4]。近几十年来,传统的与数字化的 X 射线诊断技术、利用放射性核素标记示踪的核医学显像,又同超声波成像和磁共振成像等彼此互补形成大影像医学(imaging medicine)。这有利于比较选取可靠方法为公众保健体检和疾病诊治提供依据^[3]。无论是已被公认誉为检查心脑血管疾病的“金标准”,还是从代谢和分子水平揭示疾病(含肿瘤)发生、发展规律与评估判断预后的“活体生化显像”,以及影像导引介入器材以实现准确摘取活检

或者施行人体各系统的介入放射学治疗手术等,全都必须依靠各种恰当的医学影像学方法。如今的医学影像技术,已经成为现代医学不可或缺的重要组成部分。

一个多世纪以来医学影像技术方兴未艾。近几十年来,基础与临床医学同计算机技术、医学物理、生物医学工程、分子生物学等诸多学科密切交叉融合不断结出硕果,各类放射诊疗的新设备、新技术、新方法层出不穷。例如,不断广泛普及的各种多排(层)螺旋 CT、双 X 射线源 CT、能谱 CT、锥形束 CT(cone beam computed tomography, CBCT);计算机摄影(CR)、数字摄影(DR)、数字减影血管造影(DSA)、数字胃肠机(DSI);单光子发射型计算机断层显像(SPECT)、正电子发射型计算机断层显像(PET)、彩色多普勒超声成像(CDI)、磁共振及功能磁共振成像(MRI、fMRI)竞相更新涌现。20 世纪末又陆续诞生了有效融合人体形态与功能成像的 PET/CT、SPECT/CT、PET/MRI、SPECT/MRI 等各种高科技一体机,从而朝多模态分子影像学(multimodality molecular imaging)迅速发展^[5]。

现代医学已经越来越离不开各种医学影像学手段,只要从放射学设备的迅速增加和日益广泛普及就可得到印证。表 1 取自官方的联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)权威报告书的调查统计资料以及推算结果,全世界人口 1996 年为 58 亿,而 2007 年升为 64.46 亿,期间人口净增 11.1%^[6,7]。在这跨世纪的 11 年间,全世界放射学设备的不断增加远高于人口增长速度,并且不断更新的数字化高端放射学设备的比例剧增,从而适应了现代医学和现代化社会的发展需要^[7]。

作者单位:100088 北京,中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所

表 1 全世界主要放射学设备数量不断增加趋势

年份(年)	全世界人口数(亿)	一般 X 射线机台数(万台)	牙科 X 射线机台数(万台)	乳腺 X 射线机台数(万台)	X 射线 CT 台数(万台)
1996	58	70	90	4.0	3.4
2007	64.46	83	110	5.6	6.3
净增(%)	11.1	18.6	22.2	40.0	85.3

得益于改革开放以来所取得的国民经济持续高速增长,我国医疗卫生保健事业有很大进步,放射诊疗的发展速度跃居世界前列。兹以笔者负责的“九五”(1996~2000 年)期间全国医疗照射水平的调查研究结果为例,1998 年我国大陆 31 省份已有遍布各地城乡的 4.4 万家开展各类放射诊疗的医疗机构,拥有 7 万多台各类放射诊疗设备^[8]。至 2009 年从事放射诊疗的医疗机构又增至 4.7 万多家,拥有各类放射诊疗设备近 8 万台^[9]。我国 20 世纪 80 年代初装备的 X 射线 CT 不过几十台,1998 年迅速增加到 3712 台,绝对数跃居当时世界各国的第 3 位^[8];3 年后的 2001 年剧增至 4760 台^[10],2010 年达 11242 台^[11]。我国近 20 多年来 X-CT 的增长速度令全世界侧目。1998 年我国每百万人口的 X-CT 拥有量仅 3 台,2010 年我国每百万人口 X-CT 拥有量增至 8.4 台。经济发达国家在 1996 年平均为 17 台,2007 年上升到 32 台,日本竟达到每百万人口拥有 92.6 台^[6,7]。这预示着我国放射诊疗事业还有很大发展空间。国家卫生和计划生育委员会(原卫生部)“十二五”(2011~2015 年)全国乙类大型医用设备配置规划中,X-CT 拟添置 5035 台,要达到年均增加 1 千余台的目标^[12]。

二、蓬勃发展的放射诊疗显著增加了广大公众的医疗照射应用频率

表 2 依据 UNSCEAR 报告书,汇集整理出全世界

近 20 多年来,施行 X 射线诊断的年应用频率及其所致全世界公众剂量水平的增长趋势^[7,9]。全世界每年的 X 射线诊断检查已增加到 30 多亿人次。一般经济越发达和医疗条件越好的国家及地区,施行 X 射线诊断检查所产生医疗照射的年频率增长幅度越为突出。据 UNSCEAR 新报告书揭示,X 射线诊断年应用频率大于 1000 人次/千人口的有日本(2432.5),奥地利(1887.2),德国(1641.2),瑞士(1429.1),比利时(1395.6),俄罗斯(1208.9),卢森堡(1193.8),拉脱维亚(1164.0),法国(1055.9),芬兰(1053.5)等 10 个国家;西班牙(958.0)和韩国(928.6)也接近这个水平^[7]。这些国家的国民已经达到平均每年做 1 次以上 X 射线诊断检查,足见社会现代化进程中施行医疗照射的年应用频率高速增长已经发展到多么可观的态势。如表 3 所示,我国大陆 31 省份从“六五”到“九五”期间 X 射线诊断的平均年应用频率,虽不及发达国家高,但增长速度可观;而且因人口基数大,年受检人次数以亿计,影响面非常广^[8,9]。表 4 摘选 2013 年新获中华预防医学会科技成果奖的上海市“十一五”医疗照射水平的调查研究部分结果,反映上海市近期的 X 射线诊断、介入放射学和核医学诊断的年频率发展概貌^[9]。经济发达的上海市放射诊疗发展态势远高于全国平均水平,已经达到 UNSCEAR 划分的 I 级医疗保健水平^[6,9]。

表 2 全世界的医用 X 射线诊断所致医疗照射年应用频率与剂量水平增长趋势

序号	UNSCEAR 报告书年份(年)	X 射线诊断年频率 (人次/千人口)	年诊断检查总人次 (10 ⁶)	所致集体年有效剂量 (10 ³ 人·Sv)	所致人均年有效剂量 (mSv,毫希沃特)
①	1988	280	1380	1800	0.35
②	1993	300	1600	1600	0.3
③	2000	330	1910	2300	0.4
④	2008	488	3143	4000	0.62
	④/① 净增(%)	74	128	122	77

表 3 我国 31 省份平均“六五”到“九五”期间 X 射线诊断应用的年频率(人次/千人口)

年份(年)	X 射线诊断 总年频率	其中胸部 透视频率	X-CT 检 查频率	年检查总 人次
1985	155.2	98.3	-	1.64 亿
1996	186.4	-	12.6	2.28 亿
1998	196.2	22.1	15.6	2.45 亿
1998/1985 净增	+26.4%	-22.5%	-	+49.4%

仅从专门选取列于表 1~表 4 所展示的数据,就充分反映了全世界和我国近 20 多年来,放射诊疗不断蓬勃发展导致公众医疗照射迅速增加的发展趋势。除了发生放射事故而造成大剂量照射可引发人体放射损伤的确定性效应(严重组织反应)外,一般每次放射学检查所致受检者的诊断性医疗照射剂量不算大;但对群体而言,一定剂量照射有可能在群体中增

表 4 上海市“九五”到“十一五”期间的放射
诊断年应用频率(人次/千人口)

年份(年)	X 射线诊断	X-CT 检查	介入放射学	核医学诊断
	总年频率	年频率	年频率	年频率
1996	493.01	33.05	0.74	2.769
1998	519.99	38.54	0.82	3.457
2005	689.32	75.95	-	-
2007	754.44	110.94	-	-
2008	-	-	-	6.630
2009	780.44	137.84	8.50	-
净增(%)	58.3	317.1	1048.6	139.4

表中“净增”是指该列项目应用年频率的 2009 年或者 2008 年相
对于 1996 年绝对增加的百分数

加没有剂量阈值的随机性效应(stochastic effects of radiation),例如诱发癌症及遗传效应的发生概率,这是备受关注的放射风险问题^[13]。因此,日益增加的医疗照射,不仅需要严格防范放射事故,有效保护受检者(或患者)个体;更重要的旨在合理控制医疗照射所致公众群体的集体剂量,以尽可能减少各类医用射线诱发癌症等随机性效应的发生概率^[3]。实际上任何公众成员的一生中至少因体检就要多次去接受各种诊断性医疗照射,这使得医疗照射防护已经成为现代化社会必须切实加强的突出公共卫生课题^[14]。

三、在获取最佳医学影像质量的同时,强化医疗
照射防护以趋利避害是时代赋予的重要历史使命

综上所述,现代医学影像学方法首先要解决获得最佳医学影像质量以尽量提供准确可靠的诊断依据,与此同时又必须注重医疗照射防护最优化以追求实现趋利避害。这是高科技时代赋予医学影像学的双重重任。以医学影像学发展最快的 X-CT 为例,新技术使得 CT 的密度分辨力、空间分辨力、时间分辨力和纵向分辨力不断提高,可显著克服器官组织蠕动等造成的伪影;再加上能谱栅成像和融合成像,则能够实现人体三维各向同性成像的极薄断层上发现细微病变,并从形态学到功能学以及动态成像诊断上充分显示无比优越性,从而日益在体检筛查、疾病诊断、手术计划、疗效评价等各方面发挥越来越突出的重要作用。然而正如 ICRP 强调指出的:“X 射线 CT 如此迅速地成为全世界一种最重要的 X 射线诊断检查类型”,而“CT 检查可能致使患者受到相对高的剂量”^[15]。鉴于其独特优势很受临床医学青睐而不断增多的多排(层)螺旋 CT 扫描的应用频率剧增,不能不高度关注其所致较大的医疗照射剂量以控制诱发癌症等随机性效应的发生概率^[16]。以英国为例,21 世纪初,英国的 X-CT 年应用频率虽然仅占全部 X 射线诊断年应用频率的 7%,但其所致该国国民的医

疗照射集体剂量竟占到约 47%^[17]。美国 1980 年,X-CT 诊断检查为 300 万人次;而 2006 年增长到 6700 万人次(增加 22.3 倍),占全部 X 射线诊断年应用频率的 18%,但其所致国民集体剂量达到一半多份额^[18]。所以越来越大量应用的各类数字化医学影像设备已成为医疗照射防护的重点和热点。

又例如新研发的采用锥形束替代扇形束扫描的 CBCT,不仅在肿瘤放射治疗的定位中很有优势,而且为不断发展的口腔医学(包括种植牙等)注入新活力,被誉为口腔医学放射成像的数字化革命,使得对各类口腔疾病的诊断治疗更加精准和个性化,并拓宽了牙科与口腔疾患的诊治范围和可靠性^[19]。据我国第 3 次口腔健康流行病学调查报告(2008 年),仅以患龋齿率为例,5 岁儿童、中年人(35~44 岁)和老年人(65~74 岁)各分别高达 66%、88% 和 98%^[20]。如表 1 所示,全世界牙科 X 射线机总数及其增长速率远远大于各类放射学设备(含 X-CT)。所致受检者剂量高于传统牙科 X 射线机的 CBCT,已迅速加入到日益广泛普及应用的行列。无怪乎美国著名的《纽约时报》于 2010 年 11 月 23 日在头版上刊登文章“随三维牙科成像增加的辐射忧虑(radiation worries rise with 3-D dental images)”,尤其强烈呼吁充分关注对儿童辐射敏感群体施行 CBCT 牙科 X 射线检查可能带来的放射风险。

毫无疑问,现代社会在放射诊疗中不仅必须重视确保放射安全以严防发生医疗照射事故;更要十分强调正确与合理应用各种医疗照射,尽量减少不断发展的医学成像技术带来的医疗照射集体剂量负担,从而有效控制其可能引发的放射风险以追求实现趋利避害^[3]。因此在施行医学影像技术实践中,必须努力在成像质量与所致医疗照射剂量这对矛盾之间寻求最优化匹配,力求以最佳的低剂量去获取最好的成像质量来提高医学诊疗水平,又有效保护受检者个体和合理控制公众群体的潜在放射风险^[21,22]。

放射防护最优化的精髓与核心就是尽量避免一切不必要照射,并努力做到可合理达到的尽可能低原则(as low as reasonably achievable, ALARA)^[13]。显然,这是一个涵盖设备、操作、技术、观念、管理等诸多方面因素,并且需要诸多部门、诸多学科与专业人员大力协同的综合性系统工程^[3,10]。

1. 从医学影像设备源头开拓创新不断改善性能以奠定坚实基础:所有医学影像设备的各项性能与质量,是决定获取诊断所需优质医学影像并优化低剂量成像的基础条件。当 X-CT 发明 20 年后的 1992 年开始出现双排螺旋 CT 以来,原先竞相追逐增加探测

器的排数与扫描层数,迅速发展出 64 排、256 排、320 排螺旋 CT,后来研发机构与生产厂商明确转向竞争追求实现 CT 低剂量技术,这是日益重视医疗照射防护和科技进步的必然。每年一届已达 6 万多注册参加人员的北美放射学会(RSNA)大会,曾把 CT 低剂量技术作为年会重点发挥导向作用^[23]。随着不断改进硬件和革新软件,从源头 X 射线管电流/管电压开拓自动控制调节技术,改进探测器与准直系统及过滤屏蔽技术,完善扫描信息采集与传输的降噪技术,重点突出更新图像迭代重建算法等,已经使设备朝着低剂量方向大大迈进。未来诸如基于探测器的多能量成像可望研发出密度分辨、空间分辨、能量分辨等多参数成像的新系统。

2. 在临床医学实践中强化正当性判断和切实落实放射防护最优化原则:再好的医学影像设备也需要临床医学应用中加强验收检测、状态检测、稳定性检测等质量控制措施,以保持设备总处于最佳工作状态运行^[3]。尤其需要认真贯彻执行有关放射防护与安全的法规和标准,加强临床中的正当性判断和放射防护最优化原则的具体落实兑现,此乃杜绝滥用和纠正浪费资源的“过度医疗”,确保在获得优质医学影像的同时实现 ALARA 的关键^[3,13]。美国放射学会(ACR)2011 年实行剂量指数注册表来规范化该国 CT 检查剂量;心血管 CT 学会(SCCT)特制定了“心血管 CT 辐射剂量与剂量优化指南”^[21]。我国中华医学会医学影像技术学会提出导向性的“接受适度噪声”,就是强调不能片面追求医学影像所谓完美而增加所致受检者剂量,必须针对不同实际需要容许不同噪声水平的影像以保证施以受检者尽可能低的剂量。各种医学影像诊断检查同样必须努力追求实现个性化医疗。临床医学实践已经证明 CT 低剂量技术可取得良好效果。这些都非常可喜地体现国内外临床医学界已经重视不断提高医疗照射防护意识,并在实际工作中具体践行放射防护最优化原则。

3. 深入培植安全文化和不断增强全社会的医疗照射防护意识:众所周知,各种各样 X 射线检查、临床核医学影像诊断以及人体各系统介入放射学导引手术等,必须依赖医学影像学手段。而在施行所有医学影像学检查中,努力获取受检者高清优质医学诊断影像的同时,不懈追求最优化匹配的受检者低剂量,不仅仅是专业性很强的技术课题,还需要诸多各界人员经历很重要的观念转变^[22]。如同早期认识不够,X 射线诊断检查以经济上便宜但所致受检者剂量较大的透视居多,近代才逐步改变为首选摄影检查(表 3)。又如前述多排螺旋 CT 经历了 10 多年演进才转

向追求低剂量技术。显然,实现以最佳的所致受检者低剂量去获取受检者诊断必需的优质医学影像,这个最高境界必须依靠深入培植安全文化以不断增强全社会的医疗照射防护意识^[3,13]。即这个问题不仅涉及医学影像学界和放射诊疗各科医务人员的经常性专业培训,各级医院所有临床医师和全体管理干部的继续教育,医学院校的医学生及生物学工程等专业本科教育,以及医疗器械、医学工程、医学物理、放射防护与安全监督管理人员的放射防护知识培训,还包括广大公众的科学普及教育等。全社会都需要增强医疗照射防护意识,才能更好解决这个综合性系统工程。

4. 各系统相关部门和有关学科专业人员通力协作承托起医学影像学的双重时代重任:总之,医学影像学的双重时代重任,既与设备性能密切关联,又与操作方法紧密相关;不仅取决于技术,还取决于观念,更加离不开相应的监督管理和制度建设。医学影像学的双重时代重任,交织着这些诸多方面的复杂因素,绝对不只是医学影像学界和医学界的事情。这个系统工程涉及到卫生、环保、医疗器械、质量及安全监督检查、计量等各个系统的诸多部门;并且与医学影像学、临床医学、医学物理、医学工程、医疗器械、计算机科学技术、放射防护等诸多学科专业密切相关^[3,10,14]。毋庸赘言,现代医学影像学的不断蓬勃发展是多学科交叉融合和科技进步的丰硕成果;是伴随经济发展和公众医疗保健需求剧增的社会现代化进程中,着力推动医疗卫生保健事业发展,并尽力促使其实现趋利避害而造福于民的时代要求。只有各系统相关部门和诸多有关学科专业人员的通力协作,才能共同承托起医学影像学的双重时代重任。

参考文献

- 1 Webster EW. X - rays in diagnostic radiology [J]. Health Physics, 1995, 69: 610 - 635
- 2 《简明不列颠百科全书》中美联合编审委员会. 简明不列颠百科全书[M]. 5 卷. 北京:中国大百科全书出版社, 1986: 459
- 3 郑钧正. 电离辐射医学应用的防护与安全[M]. 北京:原子能出版社, 2009
- 4 傅征,梁铭会. 数字医学概论[M]. 北京:人民卫生出版社, 2009
- 5 Boss A, Bisdas S, Kolb A, et al. Hybrid PET/MRI of intracranial masses: initial experiences and comparison to PET/CT [J]. J Nucl Med, 2010, 51: 1198 - 1205
- 6 UNSCEAR. UNSCEAR 2000 report, sources and effects of ionizing radiation Vol. I Sources [M]. New York: UN, 2000
- 7 UNSCEAR. UNSCEAR 2008 report, sources and effects of ionizing radiation Vol. I [M]. New York: UN, 2010
- 8 郑钧正,贺青华,李述唐,等. 我国电离辐射医学应用的基本现状[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2000, 20(增刊): 7 - 14

(下转第 110 页)

无差异,并且维族组母亲和汉族组母亲对比、维族组父亲和汉族组父亲对比,维族组父母与汉族组父母对比,母亲组与父亲组对比,发生率差异均无统计学意义。这种矛盾结论可能是因为本研究的样本量有限,地域限制,种族差异,纳入及排除、失访等混杂因素干扰。所以后续的研究应扩大样本量,增加与正常孕妇一级亲属间的对比,严格随访患者父母及其子女的情况,进行基因分子生物学水平的研究工作。

通过开展遗传学研究可识别并阐明子痫前期的表观遗传标志物,故对该病的预测具有重要意义,而调控表观遗传标志物的表达则是潜在的疾病治疗手段。其中表观遗传机制主要包括 DNA 甲基化、基因印迹和非编码 RNA 的调控。目前普遍认为,子痫前期是一种胎盘源性疾病或是母源性疾病,也可两者兼有之,例如 Cooper 等通过对妊娠期高血压疾病患者及其各级亲属的家系研究,认为子痫前期-子痫的发病符合常染色体隐性遗传规律。也有研究认为只有胎母共同表达隐性致病基因才发生妊娠期高血压疾病,但多基因遗传不能除外。同时 Fraser 等^[7]研究显示,有子痫前期病史的妇女在日后患心血管疾病的风险性增加。

总之,本研究通过维族及汉族重度子痫前期患者的相关高危因素进行初步对比分析,旨在增强识别该疾病的能力,减少或避免此疾病所导致的治疗性早产的发生,改善其预后情况及生存质量,达到优生优育的目标。同时通过加大继续教育的力度,加强专业知

识的培训,统一对社会及学术热点问题的认识,全面提高医务人员诊治水平,增强基层医院的知识、技术力量,提高产科质量,使广大新疆地区妇女得到较好的医疗服务,降低新疆地区孕产妇病死率及新生儿(早产儿)发生率。此外,本研究初步对单纯性重度子痫前期进行遗传学研究,我国拥有丰富的临床资源,具有开展大规模遗传学研究的独特优势,今后可通过整合相关资源,更新研究理念和拓展研究手段,推进我国子痫前期的遗传学研究。

参考文献

- 1 谢幸. 妇产科学[M]. 8 版. 北京:人民卫生出版社,2013:64-71
- 2 沈洁,杨孜,王伽略,等. 母体基础疾病状况等子痫前期发病的影响[J]. 中华妇产科杂志,2012,47(6):405-411
- 3 North RA, McCowan LM, Dekker GA, *et al.* Clinical risk prediction for pre-eclampsia in nulliparous women: development of model in international prospective cohort[J]. BMJ, 2011, 342(2):1874-1875
- 4 赵群,孔祥. 子痫前期的病因学研究进展[J]. 医学研究杂志,2012,41(3):17-19
- 5 Marsh KA, Steinbeck KS, Atkinson FS, *et al.* Effect of a low glycemic index compared with a conventional healthy diet on polycystic ovary syndrome[J]. Am J Clin Nutr, 2010, 92(1):83-92
- 6 杨艳华,黄惠娟. 孕产史与早发型重度子痫前期的相关性分析[J]. 中国生育健康杂志, 2014, 25(2):159-161
- 7 Fraser A, Nelson SM, Macdonald - Wallis C, *et al.* Associations of pregnancy complications with calculated cardiovascular disease risk and cardiovascular risk factors in middle age: the Avon Longitudinal Study of Parents and Children[J]. Circulation, 2012, 125(1):1367-1380

(收稿日期:2014-09-27)

(修回日期:2014-11-03)

(上接第4页)

- 9 郑钧正,高林峰,卓维海,等. 上海市放射诊疗发展趋势与医疗照射防护研究[J]. 辐射防护,2014,34(5):265-273,280
- 10 郑钧正,李君利. 关注现代医学物理进展,加强医用辐射防护[J]. 辐射防护,2008,28(6):377-384
- 11 中国医学装备协会. 中国 CT 市场发展分析报告[J]. 中国医院院长,2011,22:21
- 12 中国卫生年鉴编委会. 2012 中国卫生年鉴[M]. 北京:人民卫生出版社,2013
- 13 ICRP. ICRP publication 103, the 2007 recommendations of the international commission on radiological protection [M]. Oxford: Pergamon Press, 2007
- 14 郑钧正. 医疗照射防护是现代社会必须充分重视与强化的热点课题[J]. 环境与职业医学, 2014, 31(10):755-757,763
- 15 ICRP. ICRP publication 87, managing patient dose in computed tomography[M]. Oxford: Pergamon Press, 2001
- 16 ICRP. ICRP publication 102, managing patient dose in multi-detector

computed tomography[M]. Oxford: Pergamon Press, 2007

- 17 Hart D, Wall BF. UK population dose from medical X-ray examinations[J]. Eur J Radiol, 2004, 50(3):285-291
- 18 NCRP. NCRP publication 160, ionizing radiation exposure of the population of the United States [M]. Bethesda MD: NCRP, 2009
- 19 郑钧正. 口腔医学青睐别树一帜的锥形束 CT [J]. 世界医疗器械, 2013, 19(2):42-45
- 20 齐小秋. 第三次全国口腔健康流行病学调查报告[M]. 北京:人民卫生出版社, 2008
- 21 Halliburton SS, Abbata S, Chen MY, *et al.* SCCT guidelines on radiation dose and dose-optimization strategies in cardiovascular CT[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2011, 5(4):198-224
- 22 郑钧正. 不断追求医学影像质量与患者辐射剂量的优化匹配[J]. 中国医疗设备, 2010, 25(9):6-9,26
- 23 张挽时. 从 RSNA 2012 看 CT 低剂量技术的发展[J]. 中国医疗设备, 2013, 28(3):7-9

(收稿日期:2014-11-20)

(修回日期:2014-11-25)