

《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》GBZ/T 201.2—2011 标准评价结果分析——放射卫生技术服务机构相关人员

徐小三¹, 冯泽臣², 翟自坡³, 杜翔¹, 杨春勇¹, 王进¹

1. 江苏省疾病预防控制中心 江苏省预防医学科学院, 江苏 南京 210009; 2. 北京市疾病预防控制中心, 北京 100013; 3. 湖南省职业病防治研究院, 湖南 长沙 410021

摘要: **目的** 跟踪评价放射卫生技术服务机构相关人员对《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》GBZ/T 201.2—2011 的实施过程中的科学性、适用性及可操作性等方面情况, 为进一步完善该标准提供科学依据。**方法** 采用 WS/T 536—2017《卫生标准跟踪评价工作指南》和项目实施方案, 从 24 个省份的放射卫生技术服务机构中随机选取了 140 名从事电子直线加速器机房防护检测与评价人员作为调查对象, 通过预调查、现场调研、邮寄、电子邮件等方式开展调查, 并收集数据进行分析。**结果** 140 名受访者完成了问卷调查(分布在 98 个放射卫生服务机构, 其中包括 63 个公共机构和 77 个民营机构)。86.68% 的受访者声称对该标准有很好或非常好的理解, 而只有 64.3% 的人参加过与该标准相关的培训。调查结果表明, 工作人员对标准内容的掌握程度较低, 在培训和传播方面的努力不足。尽管只有 3.57% 的受访者认为现有标准不适用于新的放射治疗设备和技术进步, 但 95.71%、93.57% 和 96.43% 的受访者分别认为有必要增加断层治疗设备、CyberKnife 系统和具有自屏蔽体的环形加速器的屏蔽计算示例。此外, 65% 的受访者认为 10 MV X 射线加速器室应考虑中子屏蔽。**结论** 虽然该标准广泛用于放射治疗防护, 但需要及时更新。同时标准文本涉及的技术性较强, 不易掌握, 应针对不同群体量身定制宣传目标, 并加强对关键人员的培训, 在全国范围内建立沟通合作机制, 确保其实施效果达到统一。

关键词: 电子直线加速器; 跟踪评价; 标准评估; 问卷调查

中图分类号: R141 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2024)04-0390-08

Analysis of the evaluation of Radiation Shielding Requirements for Radiotherapy Room—Part 2: Radiotherapy Room of Electron Linear Accelerators (GBZ/T 201.2—2011): personnel in medical radiation technology service institutions

XU Xiaosan¹, FENG Zechen², ZHAI Zipo³, DU Xiang¹, YANG Chunyong¹, WANG Jin¹

1. Jiangsu Provincial Center for Disease Control and Prevention Jiangsu Provincial Academy of Preventive Medicine, Nanjing 210009 China; 2. Beijing Center for Disease Prevention and Control, Beijing 100013 China; 3. Hunan Prevention and Treatment Institute for Occupational Diseases, Changsha 410021 China

Abstract: **Objective** To track and evaluate the scientificity, applicability, and operability of the current implementation of the *Radiation Shielding Specifications for Radiotherapy Treatment Rooms—Part 2: Radiotherapy Room of Electron Linear Accelerators* (GBZ/T 201.2—2011) among personnel in medical radiation technology service institutions, and to provide scientific evidence for further improvement of the standard. **Methods** Following the *Guidelines for Health Standards Tracking Evaluation Work* (WS/T 536—2017) and the project implementation plan, a survey was conducted among 140 personnel engaged in shielding testing and evaluation of electron linear accelerator rooms in medical radiation technology service institutions from 24 provinces in China. The methods of pre-investigation, on-site research, mailing, and email were used to collect data for analysis. **Results** Questionnaires were completed by 140 respondents from 98 medical radiation service institutions, including 63 public institutions and 77 private institutions. Of the surveyed individuals, 86.68% claimed

基金项目: 江苏省医学重点学科 (ZDXK202249)

作者简介: 徐小三 (1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事放射防护方面的研究工作, E-mail: xuxs07@163.com

通信作者: 冯泽臣, E-mail: fzcjlu@163.com

to have a good or very good understanding of the standard, while only 64.3% had participated in training related to the standard. The survey indicated a low level of mastery of the standard content among the personnel and insufficient efforts in training and dissemination. Although only 3.57% of the respondents considered the existing standard to be inapplicable in the context of new radiotherapy equipment and technological advancements, 95.71%, 93.57%, and 96.43% believed that shielding calculation examples should be added for tomotherapy devices, CyberKnife systems, and ring accelerators with self-shielding bodies. Furthermore, 65% of the respondents felt that neutron shielding should be considered for 10 MV X-ray accelerator rooms. **Conclusion** The GBZ/T 201.2—2011 has been widely used for radiation protection in radiotherapy. However, it is imperative to update this standard. Additionally, due to the technical complexity of the standard, it can be challenging for professionals to fully understand and implement it. Therefore, publicity goals should be tailored to different groups and the training of key personnel should be strengthened. A nationwide communication and cooperation mechanism should be established to ensure uniform implementation of the standard.

Keywords: Electron linear accelerator; Tracking and evaluation; Standard assessment; Questionnaire survey

Corresponding author: FENG Zechen, E-mail: fzcjlu@163.com

电子直线加速器(简称为直线加速器),是一种用于加速带有负电荷的电子(通常是高能电子)的设备,以产生高能粒子束或用于放射治疗、科学研究和工业应用的设备。作为能够提供高能 X 线、电子线的装置,在其使用和维护过程中可能存在一定的安全隐患,对操作或维护人员身体健康构成潜在危害^[1-3]。为了引导放射治疗技术在中国健康发展,有效预防和控制放射治疗意外事故,作为国家卫生健康委前身的卫生部在 2011 年发布了《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分:电子直线加速器放射治疗机房》GBZ/T 201.2—2011^[4] 卫生行业标准。该标准提出了电子直线加速器机房屏蔽体外的剂量控制要求,明确了屏蔽计算方法,并列举了示例。放射卫生技术服务机构是指为医疗机构提供放射诊疗建设项目职业病危害放射防护评价、放射卫生防护检测,提供放射防护器材和含放射性产品检测、个人剂量监测等技术服务的机构^[5]。该机构内从业人员作为电子直线加速器机房屏蔽效果评价和防护检测的直接群体,该标准在实施过程中的实用性、可操作性和适用性对他们来说至关重要。

标准跟踪评价工作是标准管理的重要组成部分。按照中国疾病预防控制中心统一部署,依据《卫生标准跟踪评价工作指南》WS/T 536—2017^[6],北京市疾病预防控制中心、江苏省疾病预防控制中心和湖南省职业病防治院联合成立项目组,建立了《跟踪评价项目实施方案》,采用问卷调查方式跟踪评价 GBZ/T 201.2—2011 在技术服务机构的应用情况,以了解该标准在技术服务机构的实施情况及其在使用过程中遇到的问题,并对技术服务机构实施该标准的科学性、适用性及可操作性等方面进行客观的评价,为进一步完善该标准提供依据。

1 材料与方法

1.1 调查对象 按照项目组制定的《跟踪评价项目实施方案》中的有关方法和原则,选择北京市、上海市、天津市、浙江省、重庆市、广东省、江苏省、福建省、湖北省、山东省、陕西省、湖南省、安徽省、江西省、宁夏回族自治区、四川省、河南省等省(自治区、直辖市)的技术服务机构相关人员共计 140 名。其中来自各级疾病预防控制中心的占 22.9%,来自职业病防治院的占 22.1%,来自第三方技术服务机构的占 55.0%。

1.2 调查方法 项目组依据 GBZ/T 201.2—2011,设计了题目为“GBZ/T 201.2—2011 实施情况调查:放射卫生技术服务机构相关人员”问卷。首先选择湖南省和江苏省作为预调查点,预调查后,对预调查结果进行分析,完善跟踪方案和调查表。最终的调查问卷确定后,建立网络调查问卷,向各调查目标发送调查问卷链接并同时发送调查函文本。

1.3 调查内容 调查问卷经过前期设计、专家论证及信度和效度评价。主要包括以下内容:①被调查技术服务机构相关人员基本情况,包括从业年限、职称、学历及所在机构的性质和资质等级;②标准实施相关内容,包括知晓、培训、熟悉和使用频次;③开放性调查:新技术更新发展,标准适用度调查,及标准执行过程中遇到的问题、反馈和建议。

1.4 质量控制 遵循客观公正原则,在真实资料的基础上进行实事求是的评价,客观的反映卫生标准实施、执行的实际状况和效果;遵循工作程序和方法的科学系统性原则,所有评估分析和结论都建立在可靠的文件及明确的数据基础上;评估的指标选择、资料收集、分析等工作做到系统全面,在综合分析的基础

上得出评估结论。所有参与调查人员均进行统一培训,确保调查过程一致和结果客观。调查结束后对调查问卷进行复核,检查调查表完整性、逻辑性,发现问题及时和调查对象沟通核实。

2 结果

2.1 基本情况 本调查收集到技术服务机构相关人员的问卷 140 份(分布在 98 家机构,公立机构 63 份,

民营机构 77 份),其中来自甲级放射卫生技术服务机构的人员为 77 人,乙级放射卫生技术服务机构的人员为 63 人。调查对象以专业人员为主,其中学历以本科和硕士为主,分别占 68.6% 和 26.4%;职称以初级职称和中级职称为主,分别占 30% 和 49.3%;从事放射卫生技术服务工作年限主要以 1~5 年和 5~10 年为主,分别占 30.7% 和 28.6%,被调查人员基本情况见表 1。

表 1 被调查技术服务机构相关人员基本情况

Table 1 Basic information of personnel in the surveyed technology service institutions

人员特征	学历				职称				从事相关工作年限				合计
	大专及以下	本科	硕士	博士	初级	中级	副高	正高	1年及以下	1~5年	5~10年	10年及以上	
人数	5	96	37	2	42	69	23	6	29	43	40	28	140
构成比(%)	3.6	68.6	26.4	1.4	30	49.3	16.4	4.3	20.7	30.7	28.6	20	100

2.2 标准评价

2.2.1 标准的知晓性情况 调查对象对该标准的了解程度,回答“非常了解”或“了解”占 86.93%(其中来自职业病防治院的调查对象选择此选项比例最高,为 90.4%),回答“听说过但不太了解”占 12.31%，“从未听说”占 0.77%。据你了解该标准对于加速器 10 MV X 射线是否需要考虑中子屏蔽的调查,选择“要求”和“未要求”占比相当,分别为 47.14% 和 45.71%(其中来自疾病预防控制中心的调查对象中选择“要求”比选择“未要求”比例明显高,而来自民营机构的调查对象关于该项调查结果正好相反)。68.57% 的被调查者认为标准对于居留因子较小的机房防护门外的剂量限制值为 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ (对于该项调查结果,来自于疾病预防控制中心、职业病防治院和民营机构的调查对象的选择趋于一致,表现为选择 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 比例远高于选择 10 $\mu\text{Sv/h}$),有 91.43% 的被调查者认为标准对于居留因子较大的控制室的剂量限制值为 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

66.46% 的被调查者认为该标准在屏蔽计算中采用的参数主要出自国际出版物- NCRP-151-2005,其中 70% 多的来自职业病防治院和民营机构的调查选择此结果,而只有 46.88% 的来自疾病预防控制中心的调查对象选择 NCRP-151-2005 国际出版物;55% 的调查对象知晓该标准采用了示例法、屏蔽防护理论计算方法和屏蔽表 3 种方法进行放射治疗机房屏蔽计算,有关放射治疗机房屏蔽 3 种计算方法中,选择屏蔽防护理论计算的占比最大,约为 98%,关于知晓性调查问题结果见表 2。

2.2.2 培训情况 该研究中有 90 名调查对象接受过单位外机构对该标准的培训,培训机构包括卫生行政部门(30%)、监督管理部门(5.6%)、学会组织(37.8%)、中介机构或咨询公司(4.4%)、专业标准委员会(16.7%)等。培训情况调查结果见表 3。

2.2.3 标准的应用情况 对于该标准的应用认知,80.7% 调查对象由于工作原因接触并熟悉该标准,69.29% 的调查对象应用此标准进行过放射治疗机房屏蔽计算,并且每季度使用该标准 1 次以上的调查对象占 50% 以上。在日常工作中,采用屏蔽防护理论进行放射治疗机房屏蔽计算的调查对象占比较大,为 77.86%。

调查对象认为该标准可应用于放射治疗建设项目职业病危害预评价(96.43%)、放射治疗建设项目职业病危害控制效果评价(84.29%)、放射治疗建设项目辐射环境影响评价(71.43%)、放射治疗场所放射防护检测(75.71%)、放射治疗设备性能的质量控制检测(25.71%)、放射治疗场所的防护设计(87.14%)、放射治疗设备的生产(19.29%)。调查对象认为该标准中涉及的电子直线加速器治疗机房为常规电子直线加速器机房(99.29%)、术中放射治疗机房(39.29%)、螺旋断层放射治疗装置机房^[7](58.57%)、核磁加速器治疗机房(24.29%)、赛博刀机房^[8](49.29%)、带自屏蔽装置机房(25%)、其他机房(5%)。调查对象认为该标准规定的周围剂量当量率参考控制水平^[9-11]与 GBZ 121—2020^[12]有部分不一致占 46.43%,与 HJ 1198—2021^[13]有部分不一致占

表 2 对标准的知晓程度调查结果

Table 2 Survey results on awareness of the standard

问题	选项	选择			合计
		疾控	职防院	民营	
对标准的了解程度	非常了解	4(12.5%)	14(45.2%)	13(16.9%)	31(23.85%)
	了解	16(50%)	14(45.2%)	52(67.5%)	82(63.08%)
	听说过但不太了解	12(37.5%)	3(9.6%)	11(14.3%)	16(12.31%)
	从未听说	0(0%)	0(0%)	1(1.3%)	1(0.77%)
据你了解该标准对于加速器10 MV X射线是否要要考虑中子屏蔽?	要求	23(71.9%)	16(51.6%)	27(35.1%)	66(47.14%)
	未要求	4(12.5%)	15(48.4%)	45(58.4%)	64(45.71%)
	不清楚	5(15.6%)	0(%)	5(6.5%)	10(7.14%)
据你了解该标准对于机房门外的剂量率限值是多少?	2.5 μSv/h	24(75%)	24(77.4%)	48(62.3%)	96(68.57%)
	10 μSv/h	7(21.9%)	6(19.4%)	25(32.5%)	38(27.14%)
	不清楚	1(3.1%)	1(3.2%)	4(5.2%)	6(4.29%)
据你了解该标准对于控制室的剂量率限值是多少?	2.5 μSv/h	30(93.75%)	29(93.54%)	69(89.6%)	128(91.43%)
	10μSv/h	1(3.125%)	1(3.23%)	5(6.5%)	7(5%)
	不清楚	1(3.125%)	1(3.23%)	3(3.9%)	5(3.57%)
据你了解该标准在屏蔽计算中采用的参数主要出自哪个国际出版物?	IAEA-SRS47-2006	13(40.62%)	7(22.6%)	17(22.1%)	37(26.4%)
	ISO-16645-2016	4(12.5%)	1(3.2%)	2(2.6%)	7(5.0%)
	IPEM-75-2017	0(0%)	1(3.2%)	2(2.6%)	3(2.14%)
	NCRP-151-2005	15(46.88%)	22(71.0%)	56(72.7%)	93(66.46%)
	示例法、屏蔽防护理论计算方法、屏蔽表	17(53.12%)	19(61.4%)	41(53.2%)	77(55.0%)
据您了解标准中有哪些方法可以进行放射治疗机房屏蔽计算?	示例法、屏蔽防护理论计算方法	4(12.5%)	5(16.1%)	12(15.6%)	21(15.0%)
	屏蔽防护理论计算方法、屏蔽表	6(18.75%)	5(16.1%)	13(16.9%)	24(17.143%)
	示例法、屏蔽表	1(3.12%)	0(0%)	0(0%)	1(0.714%)
	屏蔽防护理论计算方法	3(9.38%)	1(3.2%)	11(14.3%)	15(10.714%)
	示例法	1(3.12%)	1(3.2%)	0(0%)	2(1.429%)

表 3 对标准的培训情况调查结果			
Table 3 Survey results on training regarding the standard			
问题	选项	选择	百分比(%)
您是否接受过该标准的培训	是	90	64.3
	否	50	35.7
若接受过培训, 培训机构为	卫生行政部门	27	30
	监督管理部门	5	5.6
	学会组织	34	37.8
	中介机构或咨询公司	4	4.4
	专业标准委员会	15	16.7
	其他机构	5	5.6

18.57%, 与现行其他标准一致占 35%。关于标准的应用情况调查结果见表 4。

2.2.4 修订建议 随着放射治疗设备及技术的更新发展, 15% 的调查对象认为该标准适用范围为“非常适用”或“一般适用”的为 81.43%。65% 的调查对象认为在新的标准中对于 10MV X 射线加速器机房需要考虑中子屏蔽, 29.29% 的调查对象认为示例法对于放射治疗机房防护检测和评价非常适用, 而 66.43% 的调查对象认为示例法对于放射治疗机房防护检测和评价一般适用。其它标准中已提出剂量控制要求, 在本次调查中仍有 70.71% 的调查对象认为即将修订的新标准中需保留剂量控制要求。

在屏蔽计算方面, 有 84.29% 的调查对象认为对于有用线束和泄漏辐射的什值层需要增加铅的什值层, 86.43% 的调查对象认为需要保留患者散射辐射的平均能量。87.86% 的调查对象认为未来修订的新

表 4 该标准的应用情况调查结果

Table 4 Survey results on the application status of the standard

问题	选项	选择	百分比(%)
了解或熟悉该标准的途径	工作中用到	113	80.7
	听别人谈及过	35	25
	参加标准宣贯学习过	47	33.6
	在其他培训中学习过	80	57.1
	从未听说过	1	0.7
您是否应用过此标准开展放射治疗机房屏蔽计算?	是	97	69.29
	否	43	30.71
您在工作中使用该标准的频次为	月使用1次以上	36	25.71
	季度使用1次以上	35	25
	每年使用1次以上	27	19.29
	很少使用	27	19.29
	没使用过	15	10.71
您在开展放射治疗机房屏蔽计算最常用的方法是哪种?	示例法	15	10.71
	屏蔽防护理论计算方法	109	77.86
	屏蔽表	16	11.43
	放射治疗建设项目预评价	135	96.43
	放射治疗建设项目控制效果评价	118	84.29
您认为该标准可应用于哪些方面?	放射治疗建设项目辐射危害环境影响评价	100	71.43
	放射治疗场所放射防护检测	106	75.71
	放射治疗设备性能的质量控制检测	36	25.71
	放射治疗场所的防护设计	122	87.14
	放射治疗设备的生产	27	19.29
您认为该标准中涉及的下列电子直线加速器治疗机房中,常见的机房有哪些?	常规电子直线加速器机房	139	99.29
	术中放射治疗机房	55	39.29
	螺旋断层放射治疗装置机房	82	58.57
	核磁加速器治疗机房	34	24.29
	赛博刀机房	69	49.29
据你了解,该标准规定的周围剂量当量率的参考控制水平与现行其他标准是否一致?	带自屏蔽装置机房	35	25
	其他机房	7	5
	与GBZ121-2020有部分不一致	65	46.43
	与HJ1198-2021有部分不一致	26	18.57
	与现行其他标准一致	49	35

标准中需要保留典型机房屏蔽表的应用, 分别有 95.71%、93.57% 和 96.43% 的调查对象认为需要增加螺旋断层设备、赛博刀和环形加速器带自屏蔽体的屏蔽计算实例。对该标准修订建议的调查结果见表 5。

3 讨 论

研究表明, 放射治疗是辐射防护相关研究的一个

重要领域, 具有高剂量、高风险的特点^[14-15]。实施标准追踪不仅可以有效的对现行标准进行优化和改进, 也能促进相关标准更好的实施和应用^[16-20]。从数据填报的分析来看, 本研究的调查对象主要是来自从事医用电子直线加速器机房屏蔽效果评价和防护检测工作的放射卫生技术服务机构从业人员。

本次调查主要发现如下: 首先, 尽管大多数受访

表 5 标准修订建议调查结果

Table 5 Survey results on suggestions for revising the standard

问题	选项	选择	百分比(%)
随着放射治疗设备及技术的更新发展, 您认为该标准适用范围的适用程度	非常适用	21	15
	基本适用	114	81.43
	不适用	5	3.57
您认为对于10MV X射线加速器机房是否需要考虑中子屏蔽?	需要	91	65
	不需要	49	35
	非常适用	41	29.29
您认为该标准中示例法对于放射治疗机房防护检测和评价的适用程度	一般适用	93	66.43
	不适用	6	4.29
	是	99	70.71
其它标准已提出剂量控制要求, 该标准是否仍需要保留剂量控制要求?	否	41	29.29
	是	90	64.29
其它标准中已提出辐射屏蔽防护剂量的检测与评价方法, 该标准是否仍需要保留辐射屏蔽防护剂量的检测与评价方法?	否	50	35.71
	是	118	84.29
有用线束和泄漏辐射的什值层是否需要增加铅的什值层?	否	22	15.71
	是	121	86.43
是否需要保留患者散射辐射的平均能量?	否	19	13.57
	是	123	87.86
是否需要保留典型机房屏蔽表的应用?	否	17	12.14
	是	134	95.71
是否需要增加螺旋断层放射治疗的屏蔽计算实例?	否	6	4.29
	是	131	93.57
是否需要增加赛博刀的屏蔽计算实例?	否	9	6.43
	是	135	96.43
是否需要增加环形加速器带自屏蔽体的屏蔽计算实例?	否	5	3.57

者声称熟悉该标准, 但他们对具体内容的详细理解相对较低。其次, 自该标准首次引入以来, 新设备已经出现, 如术中放疗加速器和自屏蔽 O 型加速器。这些新技术可能需要不同的或额外的屏蔽计算和考虑, 而现有标准目前没有涵盖这些方面的考虑。

原因可能包括: GBZ/T 021.2—2011 标准的技术性较强, 使一些专业人员很难全面掌握, 对标准的认知和实际应用之间存在差距; 新型放疗技术和新设备出现, 未能及时更新标准中屏蔽计算方法。

为了解决上述问题, 建议: ①加强培训和宣传, 以提高对标准的理解和熟练程度。可以通过组织专门的培训课程和针对不同群体, 特别是关键人员开展提高认知活动来实现; ②随着放疗技术的发展, 也涌现了一些新型放疗设备, 应该及时修订标准, 保持标准

文本的技术连贯性和时效性。这包括为特定的放射治疗设备添加新的屏蔽计算和示例; ③开发行业沟通平台, 加强卫生行政部门、技术服务机构和学术研究机构之间的交流与合作, 通过分享最新放疗技术、放疗机房屏蔽实践中遇到的新问题和应对之策, 缩短对标准的认知和实际应用之间差距。

通过有针对性的宣传和培训工作, 解决该标准的技术复杂性, 同时建立一个行业内沟通与合作机制, 确保该标准有效性和在全国范围内统一实施。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展, 排名无争议。文章不涉及任何利益冲突

作者贡献声明 徐小三负责设计研究方案、确定研究对象和范围、收集数据、数据分析和撰写论文; 翟自坡负责确定研

究对象和范围、收集数据;王进负责设计研究思路、修订论文;杜翔、杨春勇参与确定研究对象和范围、收集数据;冯泽臣负责提出研究方向、设计研究思路、收集数据、修订论文

参考文献

- [1] Diwanji TP, Mohindra P, Vyfhuis M, et al. Advances in radiotherapy techniques and delivery for non-small cell lung cancer: benefits of intensity-modulated radiation therapy, proton therapy, and stereotactic body radiation therapy[J]. *Transl Lung Cancer Res*, 2017, 6(2): 131-147. DOI: [10.21037/tlcr.2017.04.04](#).
- [2] Gomez-Millan J, Fernández JR, Carmona JAM. Current status of IMRT in head and neck cancer[J]. *Rep Pract Oncol Radiother*, 2013, 18(6): 371-375. DOI: [10.1016/j.rpor.2013.09.008](#).
- [3] Teoh M, Clark CH, Wood K, et al. Volumetric modulated arc therapy: a review of current literature and clinical use in practice[J]. *Br J Radiol*, 2011, 84(1007): 967-996. DOI: [10.1259/bjr/22373346](#).
- [4] 中华人民共和国卫生部. GBZ/T 201.2—2011 放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
Ministry of Health of the People's Republic of China. GBZ/T 201.2—2011 Radiation shielding requirements for radiotherapy room. Part 2: Radiotherapy room of electron linear accelerators[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011. (in Chinese)
- [5] 中华人民共和国卫生部. 放射卫生技术服务机构管理办法[Z]. 北京: 中华人民共和国卫生部办公厅, 2021.
Ministry of Health of the People's Republic of China. Measures for the management of radiological health technical service institutions[Z]. Beijing: General Office of the Ministry of Health of the People's Republic of China, 2012. (in Chinese)
- [6] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. WS/T 536—2017 卫生标准跟踪评价工作指南[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the PRC. WS/T 536—2017 Guideline for health standards tracking evaluation[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. (in Chinese)
- [7] Shen ZM, Chou YH, Lu CC, et al. Evaluating environmental radiations of the tomotherapy facility by optimizing full factorial design of the TLD technique[J]. *Technol Health Care*, 2022, 30(S1): 481-491. DOI: [10.3233/THC-THC228044](#).
- [8] Biltekin F, Yeginer M, Ozyigit G. Evaluation of photoneutron dose measured by bubble detectors in conventional linacs and cyberknife unit: Effective dose and secondary malignancy risk estimation[J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2016, 15(4): 560-565. DOI: [10.1177/1533034615592106](#).
- [9] IAEA. Radiation protection in the design of radiotherapy facilities[R]. Vienna: IAEA, 2006.
- [10] NCRP. Structural shielding design and evaluation for megavoltage X-and Gamma-Ray radiotherapy facilities[R]. Bethesda: NCRP, 2005.
- [11] Institute of Physics and Engineering in Medicine. Design and shielding of radiotherapy treatment facilities[R]. 2nd Ed. Bristol: IPPEM, 2017.
- [12] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GBZ 121-2020 放射治疗放射防护要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
National Health Commission of the PRC. GBZ 121—2020 Requirements for radiological protection in radiotherapy[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020. (in Chinese)
- [13] 中华人民共和国生态环境部. HJ 1198—2021 放射治疗辐射安全与防护要求[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2021.
Ministry of Ecology and Environment of the PRC. HJ 1198—2021 Requirements of radiation safety and protection for radiotherapy[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2021. (in Chinese)
- [14] Rosen EM, Day R, Singh VK. New approaches to radiation protection[J]. *Front Oncol*, 2014, 4: 381. DOI: [10.3389/fonc.2014.00381](#).
- [15] Fisher DR, Fahey FH. Appropriate use of effective dose in radiation protection and risk assessment[J]. *Health Phys*, 2017, 113(2): 102-109. DOI: [10.1097/HP.0000000000000674](#).
- [16] 程晓龙, 刘吉平, 杨双燕, 等. WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》的实施及评价[J]. *中国医学物理学杂志*, 2018, 35(9): 1012-1016. DOI: [10.3969/j.issn.1005-202X.2018.09.004](#).
Cheng XL, Liu JP, Yang SY, et al. Implementation and evaluation of WS 531—2017 "specification for testing of quality control in helical tomotherapy unit"[J]. *Chin J Med Phys*, 2018, 35(9): 1012-1016. DOI: [10.3969/j.issn.1005-202X.2018.09.004](#). (in Chinese)
- [17] 卞华慧, 刘玉龙, 何玲, 等. 国家职业卫生标准 (GBZ 112—2017) 在核工业系统的评价分析[J]. *中国辐射卫生*, 2020, 29(2): 107-110. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2020.02.003](#).
Bian HH, Liu YL, He L, et al. Evaluation and analysis of national occupational health standard used in nuclear industry enterprises[J]. *Chin J Radiol Health*, 2020, 29(2): 107-110. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2020.02.003](#). (in Chinese)
- [18] 朱俊, 宋宇, 何玲, 等. 《职业性放射性疾病诊断总则》(GBZ 112—2017) 在四川省的追踪调查报告[J]. *中国辐射卫生*, 2020, 29(2): 111-114. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2020.02.004](#).
Zhu J, Song Y, He L, et al. Follow up investigation report of "General guideline for diagnosis of occupational radiation disease"

- (GBZ 112-2017) in Sichuan Province[J]. *Chin J Radiol Health*, 2020, 29(2): 111-114. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2020.02.004](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2020.02.004). (in Chinese)
- [19] 杜翔, 胡传朋, 王进, 等.《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3—2014) 跟踪评估结果分析——医疗机构相关人员[J]. *中国辐射卫生*, 2023, 32(5): 489-494. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2023.05.003](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2023.05.003).
Du X, Hu CP, Wang J, et al. Analysis of tracking evaluation results of Radiation shielding specification for radiotherapy room, Part 3: Radiotherapy room of γ -ray sources (GBZ/T 201.3 —2014): relevant personnel in medical institutions[J]. *Chin J Radiol Health*, 2023, 32(5): 489-494. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2023.05.003](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2023.05.003). (in Chinese)
- [20] 翟贺争, 武权, 杨云福, 等.《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T 201.1—2007) 标准评估结果分析——技术服务机构相关人员[J]. *中国辐射卫生*, 2023, 32(5): 479-483. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2023.05.001](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2023.05.001).
Zhai HZ, Wu Q, Yang YF, et al. Assessment of radiation shielding requirements in room of radiotherapy installations —Part 1: general principle (GBZ/T 201.1 —2007): a survey of relevant personnel in technical service institutions[J]. *Chin J Radiol Health*, 2023, 32(5): 479-483. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2023.05.001](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2023.05.001). (in Chinese)
- (收稿日期: 2024-01-20)
-
- (上接第 375 页)
- [9] Hua Q, Levchenko VA, Kosnik MA. Direct AMS ^{14}C analysis of carbonate[J]. *Radiocarbon*, 2019, 61(5): 1431-1440. DOI: [10.1017/RDC.2019.24](https://doi.org/10.1017/RDC.2019.24).
- [10] 谷韶中. 生物样品中的 ^{14}C 的制样方法研究[J]. *辐射防护通讯*, 2008, 28(1): 37-40. DOI: [10.3969/j.issn.1004-6356.2008.01.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-6356.2008.01.008).
Gu SZ. C-14 Sample preparation for biological samples[J]. *Radiat Prot Bull*, 2008, 28(1): 37-40. DOI: [10.3969/j.issn.1004-6356.2008.01.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-6356.2008.01.008). (in Chinese)
- [11] 熊强, 闫琳琳, 陈飞, 等. 尿样中 ^{14}C 的分析方法[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2021, 41(11): 843-846. DOI: [10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.11.008](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.11.008).
Xiong Q, Yan LL, Chen F, et al. Analytical method for ^{14}C in urine[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2021, 41(11): 843-846. DOI: [10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.11.008](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.11.008). (in Chinese)
- [12] Cao YY, Qian YY, Ren H, et al. Determination of carbon-14 in marine biota using oxidation combustion and gel suspension liquid scintillation counting[J]. *Food Chem*, 2024, 437(Pt 2): 137914. DOI: [10.1016/j.foodchem.2023.137914](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137914).
- [13] 董美莲, 谷韶中. 秦山核电基地环境生物样品中 ^{14}C 监测方法探讨[J]. *辐射防护*, 2016, 36(2): 117-121, 128. DOI: [10.1360/CSB1983-28-3-170](https://doi.org/10.1360/CSB1983-28-3-170).
Dong ML, Gu SZ. Study on monitoring method of ^{14}C in biological samples from Qinshan nuclear power base[J]. *Radiat Prot*, 2016, 36(2): 117-121, 128. (in Chinese)
- [14] 仇士华. 碳-14 测定年代用“中国糖碳标准”的建立[J]. *科学通报*, 1983, 28(3): 170-174. DOI: [10.1360/CSB1983-28-3-170](https://doi.org/10.1360/CSB1983-28-3-170).
Qiu SH. The establishment of the "Chinese Sugar and Carbon Standard" for carbon-14 dating[J]. *Chin Sci Bull*, 1983, 28(3): 170-174. DOI: [10.1360/CSB1983-28-3-170](https://doi.org/10.1360/CSB1983-28-3-170). (in Chinese)
- [15] 廖纯, 谭传明, 吴简, 等. 典型海鲜废弃物热解特性及动力学研究[J]. *燃料化学学报*, 2023, 51(3): 330-339. DOI: [10.19906/j.cnki.jfct.2022059](https://doi.org/10.19906/j.cnki.jfct.2022059).
Liao C, Tan CM, Wu J, et al. Pyrolysis characteristics and kinetics of typical seafood wastes[J]. *J Fuel Chem Technol*, 2023, 51(3): 330-339. DOI: [10.19906/j.cnki.jfct.2022059](https://doi.org/10.19906/j.cnki.jfct.2022059). (in Chinese)
- [16] 石敏. 氧化燃烧法测量生物介质中有机 ^3H 和 ^{14}C 的活度[J]. *核化学与放射化学*, 2016, 38(4): 207-212. DOI: [10.7538/hhx.2016.38.04.0207](https://doi.org/10.7538/hhx.2016.38.04.0207).
Shi M. Measurement for activity of organic tritium and ^{14}C in biological medium by oxidation combustion method[J]. *J Nucl Radiochem*, 2016, 38(4): 207-212. DOI: [10.7538/hhx.2016.38.04.0207](https://doi.org/10.7538/hhx.2016.38.04.0207). (in Chinese)
- (收稿日期: 2024-03-04)