某医院放射性同位素应用场所的辐射防护效果分析与评价

张厚军，王文斌

（核工业北京化工冶金研究院，北京 101149）

摘要：同位素在核医学科的成像、诊断和治疗方面的应用越来越普遍，同位素的应用给辐射工作者和公众带来了潜在辐射危害。通过探究某医院核医学科的放射防护措施，在监测、分析及现场调查的基础上，评估了该医院放射性同位素应用场所的辐射防护效果。结果表明，该核医学科放射工作场所周围的辐射水平低于标准中规定的剂量限值，估算的年有效剂量小于管理目标值，符合辐射防护相关标准。该医院各场所屏蔽体的屏蔽效果良好，核医学科场所的屏蔽是可行的。

关键词：辐射防护；核医学；放射性同位素；有效剂量；辐射水平

中图分类号：X591；R144 **文献标志码**：A **文章编号**：1000-8063(2023)04-0076-06

DOI：10.13426/j.cnki.yky.2023.05.01

近年来，核医学在疾病诊治中的应用十分广泛，并发挥着极为重要的作用。在临床医学诊疗服务过程中，放射性同位素可能给工作人员和公众带来辐射危害[1]。核医学科已成为当代医学中不可缺少的一门学科[2]，完善核医学科的放射防护管理措施，加强放射医疗工作者和公众的放射防护管理，能够有效减少个人受照剂量[3]。

目前科研工作者对核医学科放射防护管理方面已经进行了大量的研究，为进一步加强预防性放射防护[4]，提高核医学科的辐射防护水平，笔者实地调查了多所医院核医学科，并选取了 1 所典型医院，对其核医学科辐射环境现状进行了监测。在对监测结果分析的基础上，评估各项辐射防护设施和措施的有效性，明确对放射医疗工作者和公众的辐射危害的可接受程度，并提出改进措施或建议。

1 放射性同位素应用流程

1.1 同位素^{131}I

^{131}I 一般用于治疗甲亢，可减少甲状腺激素的合成和分泌，从而起到治疗作用[5]。^{131}I 能量低（最大能量 0.606 5 MeV）、射程短（约 2～3 mm），可基本上被甲状腺组织所吸收，其在甲状腺内的有效半衰期一般为 4～6 d。

在自动分装仪中远程操控^{131}I 放射性药品，实现自动给药，根据需要配制不同浓度的药剂。

1.2 同位素^{99m}Tc

^{99m}Tc 是用于临床单光子显像的主要药物[6]，其发射的 γ 射线平均能量为 141 keV，半衰期为 6.02 h。使用前在通风柜内制备放射性核素标记化合物，然后根据检查项目在注射室完成注射给药，用 SPECT 对病人进行局部或全身显像。

1.3 同位素^{89}Sr

^{89}Sr 常用来治疗骨转移瘤和诊断患者病变状况显像等，具有较高生物杀伤力，将核素与载体结合后可使其选择性地浓集在转移瘤处，达到治疗的目的。^{89}Sr 发射纯 β 射线，其能量为 1.46 MeV，半衰期约 50.6 d[7]。

1.4 同位素^{32}P

^{32}P 的物理半衰期为 14.3 d，平均能量为 0.695 MeV，发射的 β 射线具有射程短、穿透力弱的特点。穿透力只有 2～3 mm 的 β 射线会对局部皮肤产生辐射生物效应，加快皮肤的新陈代谢，

收稿日期：2023-05-05

第一作者简介：张厚军（1985—），男，黑龙江鹤岗人，学士，工程师，主要从事辐射防护研究。

使皮肤的细胞发生改变，促进皮肤组织向正常的皮肤转化。

^{32}P 应用于皮肤敷贴时，在通风橱中将磷酸氢钠口服液涂在吸附滤纸上并烘干后，剪裁合适形状，并用塑料薄膜包裹后贴在病变部位。

2　应用场所辐射防护措施

2.1　辐射屏蔽

应用场所的防护措施包括墙体、顶棚、地板、防护门等。该同位素应用场的防护措施见表 1。

表 1　核医学同位素相关场所防护措施

Table 1　Protective measures for isotope related sites in nuclear medicine

相关场所	墙体	顶棚、地板	防护门
^{99m}Tc 分装室（分装储存室）	200 mm 厚加气砼砖块，3 mmPb 铅板防护	现浇 250 mm 厚砼，3 mmPb 铅涂料地面处理	铅板厚度：6 mm
^{131}I 分装室（分装给药室）	200 mm 厚加气砼砖块，3 mmPb 铅板防护	现浇 120 mm 厚砼，3 mmPb 铅涂料地面处理	铅板厚度：6 mm
注射室	200 mm 厚加气砼砖块，3 mmPb 铅板防护	现浇 250 mm 厚砼，3 mmPb 铅涂料地面处理	铅板厚度：4 mm
给药病人候诊室	200 mm 厚加气砼砖块，3 mmPb 铅板防护	现浇 250 mm 厚砼，3 mmPb 铅涂料地面处理	铅板厚度：4 mm
SPECT 机房	240 mm 厚实心砖，3 mmPb 铅板防护	现浇 250 mm 厚砼，3 mmPb 铅涂料地面处理	铅板厚度：4 mm，观察窗铅玻璃厚度：20 mm
吸碘室（甲功、肾功测定室）	240 mm 厚加气砼砖块，3 mmPb 铅板防护	现浇 120 mm 厚砼，3 mmPb 铅涂料地面处理	铅板厚度：4 mm
放免室	北面墙为 100 mm 厚加气砼砖块，其他墙为 200 mm 厚加气砼砖块	现浇 120 mm 厚砼	
敷贴治疗室	200 mm 厚加气砼砖块，3 mmPb 铅板防护	现浇 120 mm 厚砼，3 mmPb 铅涂料地面处理	有机玻璃门
^{131}I 治疗病房	200 mm 厚加气砼砖块，3 mmPb 铅板防护	现浇 120 mm 厚砼，楼上地面 3 mmPb 铅板处理，楼下地面 4 mmPb 铅板处理	铅板厚度：6 mm
固体废物暂存间	200 mm 厚加气砼砖块，3 mmPb 铅板防护	现浇 120 mm 厚砼，3 mmPb 铅涂料地面处理	铅板厚度：4 mm
^{99m}Tc 通风橱	通风橱前壁、侧壁及后壁：20 mmPb，观察窗铅玻璃厚：50 mm（相当于 20 mmPb）		

2.2　放射性工作场所分区

核医学科由医生办公室、治疗室、固废暂存间、服药室、病房、ECT 检查室、病人卫生间等组成，其工作场所分为控制区和监督区，控制区包括 ECT 检查室、治疗室、服药室、病房、固废储存室、给药室、注射室、注射后患者候诊区、病人卫生间等，其他区域为监督区；各区之间均设有隔离门，以保证各区之间具有实体边界。该核医学科分区明确，通道合理[8]。

2.3　非密封放射性工作场所三废处理

2.3.1　放射性废液处理

患者的排泄物中含有大量的放射性 ^{131}I，核医学科设置 3 个衰变池，衰变池设在核医学科北侧约 30 m，位于地下，人员较少到达该区域。

衰变池池底和池壁坚固，采取了相应的防渗处理措施，耐酸碱腐蚀。3 个衰变池总容积为 120 m^3，可以收集 2.7 年的废水，3 个衰变池交替使用能达到排泄物经过 10 个以上半衰期衰变后排放的要求。衰变池的废水经过衰变后，经有资质的单位检测，达到排放水平后排入医院污水处理站，进一步处理达标后排入城市污水管网[9]。

由于服药后的患者是一个移动的放射源[10]，因此，在住院期间患者在特定区域内活动，为服药患者和住院患者设置专用卫生间[11]，专用卫生间

下水道直接接至衰变池。

2.3.2 放射性废气处理

核医学科在通风橱分装、稀释液态放射性药品，操作时间较短；通风橱的顶部连接排风管道，其通风量在通风橱半开条件下风速不小于 1 m/s，能有效防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染；在正常情况下，通风橱排出气体的放射性活度很小。通风橱的废气由排放系统直通屋顶，高出屋脊 3 m 排放，且设置了活性炭过滤装置。

2.3.3 放射性固废处理

固态废弃物主要为一次性塑胶手套、小塑料口杯和注射器，固体废弃物产生量约为 26 kg/a。产生的放射性固体废物用塑料袋统一收集，包扎好并编好日期，按不同核素分类储存在衰变箱内，衰变箱上设电离辐射标志。经过 10 个半衰期以上衰变后，经有资质的单位检测达到排放水平后，作为普通医疗垃圾处理。废药盒及废旧^{99}Mo-^{99m}Tc 发生器置于铅罐中，储存在固废暂存间内，最终由厂家回收。

2.4 其他防护措施

^{131}I 自动分装仪，采用北京恒昌高科 RM-905adP 型^{131}I 自动分装仪，采用 50 mmPb 防护；同位素应用场所配备铅防护眼镜、铅帽、铅衣、铅围脖、铅手套等，以及送药盒、淋洗罐、放射废物储存桶、铅屏、铅移动注射车和个人剂量报警仪；病人出入口、各功能用房设置电离辐射警告标志，监督区和控制区设置电离辐射警告标志和隔离措施，SPECT 机房门口设置电离辐射警告标志及工作指示灯；配备 RM-905a 型活度计，JB4040 型表面沾污仪，RM-905adP 型全自动给药机；操作人员佩带个人剂量计，禁止工作人员在控制区和监督区进食、饮水、吸烟，工作人员操作后在离开工作室前需洗手。

2.5 防护措施符合性分析

该放射性同位素应用场所辐射防护措施满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188—2021)第 6 章“工作场所的辐射安全与防护”中的要求，满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120—2020)第 5 章“工作场所的放射防护要求”中的要求。

3 放射工作场所检测与分析

核医学的主要检测因子为周围剂量当量率、β 表面污染及衰变池排水口总 α、总 β。使用的检测仪器主要有 AT1123 型 γ 辐射剂量率仪和 CoMo170 型表面污染监测仪，AT1123 型 γ 辐射剂量率仪的能量响应为 0.015～10 MeV，测量范围为 50 nSv/h～10 Sv/h，脉冲辐射的最小持续时间为 10 ns；CoMo170 型表面污染监测仪的探头面积为 170 cm^2。

选取附近敏感点为检测关注点(图 1)，检测时段为医院正常诊疗时间，相关检测方法及方法来源见表 2，检测结果见表 3～表 4。

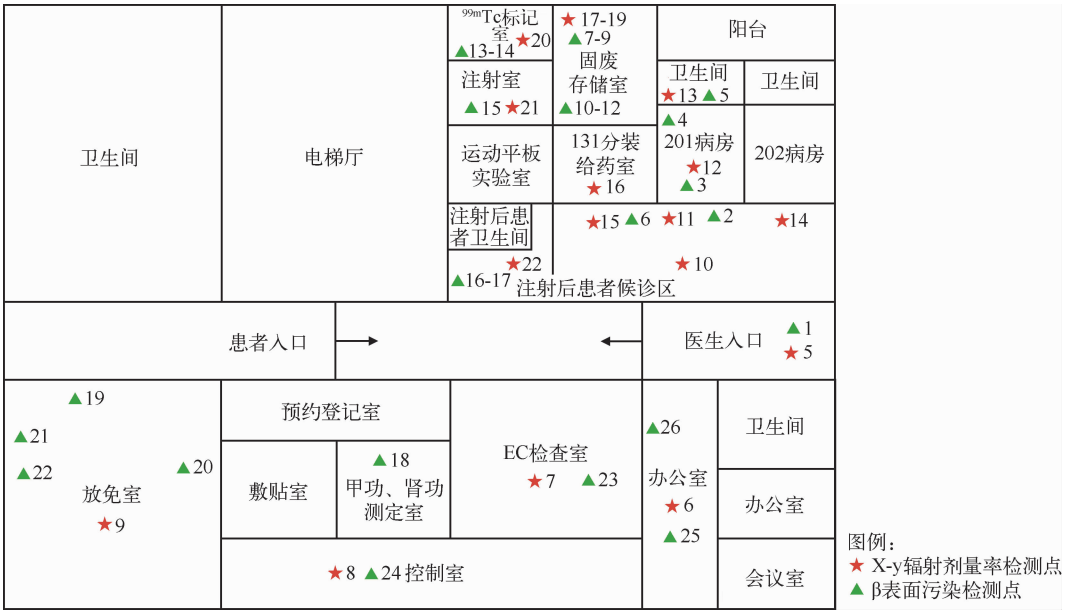


图 1 检测布点示意图

Fig. 1 Detection layout diagram

表 2　检测方法及方法来源

Table 2　Test method and method source

检测项目	检测方法	方法来源
周围剂量当量率	《核医学放射防护要求》	GBZ 120—2020
	《辐射环境监测技术规范》	HJ 61—2021
β表面污染	《表面污染测定 第一部分 β发射体(最大β能量大于0.15 MeV)和α发射体》	GB/T 14056.1—2008
总α	《水中总α放射性浓度的测定 厚源法》	HJ 898—2017
总β	《水中总β放射性测定 蒸发法》	HJ 899—2017

表 3　周围剂量当量率检测结果

Table 3　Test results of ambient dose equivalent rate

监测点	检测位置	周围剂量当量率/(nSv/h)	备注
1	医院大门	128	外环境
2	医技楼东侧	120	
3	医技楼南侧	125	
4	康复三号楼南侧	121	
5	医生入口外	125	核医学科工作场所及周围
6	医生办公室	128	
7	ECT检查室内	107	
8	铅衣存放处	138	
9	放免室	131	
10	注射后候诊区	150	
11	病房201门口外(202有患者)	161	
12	病房201室内(202有患者)	193	
13	病房201卫生间(202有患者)	220	
14	病房202门口外(内有患者)	288	
15	^{131}I分装给药室备用窗口外	159	
16	^{131}I分装给药室内	541	
17	固废储存室内	134	
18	固废包装袋表面	133	
19	固废储存室储存车表面	134	
20	^{99m}Tc标记室内	132	
21	^{99m}Tc注射室内	130	
22	注射后患者卫生间门口	122	

注:表中检测数据含仪器对宇宙射线响应值。

表 4 β表面污染检测结果

Table 4 Test results of β surface contamination

监测点	检测位置	β表面污染/(Bq/cm²)
1	核医学科医生入口外	<LLD_β
2	病房 201 门把手	1.65
3	病房 201 地面	<LLD_β
4	病房 201 墙壁	<LLD_β
5	病房 201 马桶	3.66
6	^{131}I 分装给药室备用窗	0.76
7	固废储存室储存车 1	<LLD_β
8	固废储存室储存车 2	<LLD_β
9	固废储存室储存车 3	<LLD_β
10	固废储存室地面	<LLD_β
11	固废储存室墙面	<LLD_β
12	固废包装袋	<LLD_β
13	^{99m}Tc 标记室通风橱	<LLD_β
14	^{99m}Tc 标记室工作台	<LLD_β
15	^{99m}Tc 注射室工作台	3.14
16	注射后患者候诊区地面	<LLD_β
17	注射后患者候诊区墙壁	<LLD_β
18	核多功能测定仪	<LLD_β
19	放免室试剂柜	<LLD_β
20	放免室工作台	<LLD_β
21	放免室温养箱	<LLD_β
22	放免室低速冷冻离心机	<LLD_β
23	ECT 检查室地面	<LLD_β
24	铅衣	<LLD_β
25	医生办公室地面	<LLD_β
26	医生办公室墙壁	<LLD_β

注：LLD_β(最小可探测下限)为 0.13 Bq/cm²。

由表 3 可看出，核医学科工作场所及周围剂量当量率为 107～541 nSv/h，满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120—2020)中规定的“在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μSv/h”的要求。检测最高值出现在^{131}I 分装给药室内，且^{131}I 自动分装仪出药口处周围剂量当量率远高于本底值，经分析认为自动分装仪出药口在给药结束后有滴漏现象。

由表 4 可看出，核医学科工作场所及周围 β 表面污染为<LLD_β～3.66 Bq/cm²，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)和《核医学放射防护要求》(GBZ 120—2020)中规定的“工作场所的放射性表面污染最高限值 4 Bq/cm²”控制水平。

根据衰变池出水口的检测结果，核医学科衰变池出水口总 α 为 0.22 Bq/L、总 β 为 0.13 Bq/L，满足《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466—2005)中的规定的“放射性最高允许排放浓度总 α 为 1 Bq/L，总 β 为 10 Bq/L”控制水平。

4 剂量估算

核医学科的放射工作人员所受的职业照射主要来源为 γ 射线和 β 射线，由于使用的放射性药物为液态，且在常温、容器包容下操作，在正常使用情况下，内照射可忽略。β 射线能量较低，在空气中的射程较短，由 β 射线导致的外照射也可忽略，故本研究只估算 γ 外照射剂量。

外照射人均年有效剂量为关注点剂量率、年照射时间和居留因子之积，估算得到的放射工作人员外照射剂量见表 5。可以看出，放射工作人员接触的剂量水平低于基本标准中的剂量限值。本研究取基本标准中规定的年剂量限值的四分之一为管理目标值(即 5 mSv)，估算的年有效剂量远小于管理目标值。

表 5 工作人员所受外照射附加年有效剂量估算结果

Table 5 Estimation results of additional annual effective dose of external exposure to staff

年最大人次×每次曝光时间	年工作时间/h	居留因子	核医学科关注点最大剂量率/(μSv/h)	工作人员年有效剂量/mSv
1 500 次×1 min(^{131}I 甲亢)	25	1	0.54	1.35×10^{-2}
48 次×1 min(^{131}I 甲癌)	0.8	1	0.54	4.32×10^{-4}
2 500 次×1 min(^{99m}Tc)	42	1	0.15	6.30×10^{-3}
24 次×1 min(^{89}Sr)	0.4	1	0.15	6.00×10^{-5}
180 次×1 min(^{32}P)	3	1	0.15	4.50×10^{-4}

注：1 年治疗人次为运行以来的最大数据；关注点最大剂量率为所列辐射工作场所中的最高值。

5　结论与建议

5.1　结论

该医院核医学科屏蔽体的屏蔽效果良好，各场所的屏蔽措施有效。在现有辐射防护设施和措施条件下，辐射水平较低，能够有效保障医护人员的职业安全以及患者和公众的身心健康。

5.2　建议

建议工作人员定期对^{131}I 自动分装仪出药口处进行擦拭去污，每次操作后使用便携式辐射监测仪监测 γ 辐射剂量率水平。

参考文献：

[1] 赵博兰，赵永军. 邯郸市某医院核医学科改建建设项目放射防护屏蔽效果评价[J]. 医学研究与教育，2018，35(4)：46-51.

[2] 王艳秋. 核医学科的放射防护与护理管理[J]. 中国辐射卫生，2013，22(2)：176-177.

[3] 伊莎莎，胡斌. 核医学科放射防护的管理措施研究[J]. 首都食品与医药，2019，26(11)：98-99.

[4] 寇庆河，鄢立刚，董玉，等. 沈阳军区加强预防性放射防护监督工作的体会[J]. 中国辐射卫生，2011，20(3)：286.

[5] 刘宝华，孔令丰，王美霞. ^{131}I 在核医学应用中的辐射防护及评价[J]. 中国辐射卫生，2008(2)：182-183.

[6] 田佳乐，贾红梅. ^{99m}Tc-放射性药物的现状和展望[J]. 同位素，2018，31(3)：143-156.

[7] 褚洪涛，王亚南. $^{89}SrCl_2$ 治疗转移性骨肿瘤的应用研究[J]. 核技术，2004(11)：853-857.

[8] 范向勇. 依据 GBZ 120—2020《核医学放射防护要求》对核医学科诊断工作场所布局的分析与评价[J]. 中国卫生监督杂志，2021，28(4)：368-371.

[9] 刘军. 浅谈核医学科的放射防护与护理管理[J]. 影像研究与医应用，2019，3(4)：251-252.

[10] 陈宇导，张峰，吴春兴，等. 核医学科核素治疗病房的辐射防护及管理[J]. 中华护理杂志，2014，49(5)：574-576.

[11] 吴运涛. 某医院核医学科放射性废水环境影响评价[J]. 海峡科学，2015(7)：12-15.

Analysis and Evaluation of Radiation Protection Effectiveness in Radioisotope Application Sites in a Hospital

ZHANG Houjun, WANG Wenbin

(Beijing Research Institute of Chemical Engineering and Metallurgy, CNNC, Beijing 101149, China)

Abstract: The use of isotopes are becoming more and more common in imaging, diagnosis and treatment, which bring potential radiation hazards to radiation workers and the public. By exploring the radiation protection measures of the nuclear medicine discipline, based on the monitoring and analysis of the current situation of the nuclear medicine discipline in a hospital and the field investigation, the radiation protection effect of the radioisotope application site in the hospital was analyzed and evaluated. The results show that the radiation level around the radiation workplace of the nuclear medicine department is lower than the dose limit specified in the standard, and the estimated annual effective dose is less than the management target value, which meet the relevant standards of radiation protection. The shielding effect of the shielding body in various places of the hospital is good, and the shielding of the nuclear medicine institute is feasible.

Key words: radiation protection; nuclear medicine; radioisotope; effective dose; radiation level