

辐射风险分级下核医学科功能平面规划与医患流线分离设计

焦婷婷

中核第七研究设计院有限公司 山西省太原市 030032

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21165

[摘要] 随着核医学诊疗技术在临床的广泛应用,核医学科的辐射安全管理已成为现代医院建设与院感防控的核心议题。本文以《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》《医用放射性核素安全管理规范》等法规为依据,基于辐射风险分级理念将核医学科空间划分为控制区、监督区与非限制区三个层级,探讨风险梯度下功能平面的规划原则与模块排布方法,重点分析医护人员、就诊患者与放射性物品三类流线的分离设计路径,并从通风监测、应急防护、废物处理三个维度阐述配套体系的平面协同策略。研究表明,以风险分级为基础的平面规划与流线分离设计,能够从空间源头构建辐射安全屏障,实现诊疗效率与辐射安全的双重保障,为医院核医学科的合规建设与安全运行提供实践参考。

[关键词] 核医学科; 辐射风险分级; 功能平面规划; 流线分离; 辐射防护

引言:

近年来,核医学在肿瘤早期诊断、心血管疾病评估、内分泌疾病诊疗等领域的应用持续拓展,PET-CT、SPECT等大型核医学设备的临床配置率逐年提升,核医学科已成为现代医院诊疗体系中不可或缺的组成部分。与此同时,放射性核素的储存、分装、注射及诊疗过程中产生的电离辐射,对医护人员、患者及周边环境构成潜在风险,辐射安全管控的压力随之增大。核医学科的平面布局是辐射安全防控的第一道防线,合理的功能分区与流线设计能够从空间维度隔离风险、减少辐射暴露,是落实辐射防护法规的核心载体。

一、风险分级导向下的功能平面规划方法

(一) 功能模块的梯度式平面排布

核医学科的功能平面规划需以风险分级为核心依据,同时贴合临床诊疗流程,实现安全管控与诊疗效率的平衡。在整体平面格局上,遵循“高风险在内、低风险在外”的梯度排布原则,将控制区的核心功能模块集中布置在科室内部的独立区域,监督区的配套功能模块沿控制区外围排布,非限制区的公共服务模块设置在靠近医院公共空间的一侧,形成清晰的风险层级边界。

具体到控制区内部,功能模块的排布需遵循核素流转的逻辑顺序,减少放射性核素在科室内部的运输距离,降低运输过程中的辐射暴露风险。核素储存室需靠近专用卸货口设置,便于核素运输车辆直接卸运,减少在公共区域的通行路

径;分装室紧邻储存室布置,缩短核素从储存到分装的转运距离,同时配置独立的操作空间,避免分装过程对其他操作的干扰;注射室衔接分装室与患者候诊区域,既方便医护人员完成注射操作,也便于患者注射后快速进入专用候诊区。诊疗机房则与注射后的专用候诊区相邻,缩短患者注射后的移动距离,减少辐射扩散范围。放射性废物暂存间设置在控制区的边角位置,靠近专用转运出口,便于后续资质单位的回收转运,同时远离人员密集的活动区域^[1]。

监督区的功能模块围绕诊疗服务与医护管理需求排布,医护工作室设置在靠近控制区专用通道的位置,方便医护人员进出控制区开展工作;剂量监测室设置在控制区出口处,确保所有离开控制区的人员都能完成剂量监测与去污检查;患者候诊区分普通候诊区与注射后专用候诊区,分别对应不同诊疗阶段的患者,避免注射后带辐射的患者与普通患者混杂,降低不必要的辐射暴露。

(二) 核心功能空间的防护参数适配设计

功能平面规划不仅是空间的划分,更要将辐射防护的参数要求融入建筑空间设计中,根据不同功能空间的风险等级与核素类型,匹配对应的防护标准,实现精准防护,避免过度防护造成的成本浪费,也防止防护不足带来的安全隐患。

核素储存室是控制区内防护要求最高的空间,墙体需采用不小于5mm铅当量的防护材料,通常采用铅板复合墙体结构,防护门的铅当量不小于3mm,同时实行双锁管理制度,

配置固定式剂量监测仪,实时监测室内辐射水平,核素按照种类与活度分类存放,避免不同核素之间的相互影响。分装室作为核素操作的核心空间,墙面与地面均采用无缝、易清洁的防污染材料,便于发生泄漏时及时去污处理;室内配置专用通风橱,通风橱的工作面风速不低于0.5m/s,保障操作过程中产生的放射性气溶胶能够及时排出,避免操作人员受到内照射。

诊疗机房的防护标准需根据设备类型精准适配,PET-CT机房由于所用核素活度较高,墙体铅当量需不小于4mm,观察窗的铅当量不小于2.5mm,机房出入口设置电动防护门,配备联锁装置与紧急停机按钮,防止人员误闯入造成辐射照射。SPECT机房的辐射负荷相对较低,墙体铅当量可设置为不小于3mm,在满足防护要求的前提下优化建设成本。所有控制区的防护结构都需保证连续性,墙体与地面、天花板的交接处,管线穿墙的孔洞处,都需做好防护封堵,避免出现辐射泄漏的薄弱点^[2]。

二、多流线分离的平面布局策略

核医学科的辐射风险不仅来源于空间本身的辐射水平,也来源于人员与物品流动过程中的辐射扩散。流线分离设计的核心是将不同风险属性的流动路径在平面上完全分隔,避免交叉接触,从动态层面管控辐射风险,是分区管理的延伸与补充。科室内部主要包含医护人员、就诊患者、放射性物品三类流线,三类流线各自独立、互不交叉,分别设置专属的出入口与通行通道。

(一) 医护工作流线的独立闭环设计

医护人员是长期在辐射环境中工作的群体,其流线设计的核心是保障职业防护安全,形成“进入-更衣-工作-去污-监测-离开”的完整闭环,避免将放射性污染带出风险区域。

医护人员设有独立的专用通道,从科室非限制区直接进入医护更衣区,无需经过患者公共区域。更衣区内设置防护储物柜与淋浴设施,医护人员进入监督区前需更换工作服与防护用品,佩戴个人剂量计;进入控制区时,需通过监督区与控制区之间的专用通道,通道处设置门禁,仅授权人员可通行。完成工作离开控制区时,需先经过去污处理区,对体表与衣物进行污染检测与去污清洁,再通过剂量监测室检测个人受照剂量与体表污染情况,确认符合标准后方可返回监督区,更换衣物后离开科室^[3]。

在平面布局中,医护专用通道与患者通道完全分隔,医

护更衣区、去污区与剂量监测室沿医护通道依次排布,形成单向的流动路径,避免往返交叉。同时,医护通道设置应急出口,保障紧急情况下的人员疏散,通道内配备应急照明与辐射警示装置,提升流线的安全性。

(二) 患者诊疗流线的单向无交叉布局

患者流线设计需遵循单向流动原则,减少患者之间的交叉接触,同时避免患者误入高风险区域,降低不必要的辐射照射。患者流线分为门诊患者流线与住院患者流线,两类流线也需相互分隔,避免交叉。

门诊患者从科室专用的患者入口进入,首先到达非限制区的预约登记处,完成身份核验与诊疗登记后,进入监督区的普通候诊区等待叫号。叫号后患者进入控制区边缘的注射室,完成放射性核素注射,随后进入注射后专用候诊区等待药物代谢,该候诊区与普通候诊区分隔设置,避免注射后患者与未注射患者混杂。达到检查时间后,患者从专用候诊区直接进入控制区的诊疗机房完成检查,检查结束后通过专用出口离开科室,无需返回候诊区域,形成完整的单向流动路径,全程无折返、无交叉。

住院患者则设置专用的电梯与通道,直接从住院病区接入核医学科的诊疗区域,无需经过门诊公共区域,减少对公共空间的辐射影响。候诊区与诊疗室之间设置缓冲带,进一步阻隔机房辐射向外扩散,也为患者进出机房提供过渡空间。对于行动不便的患者,流线设计需考虑无障碍通行要求,通道宽度与门体尺寸满足推床通行需求,保障诊疗过程的顺畅。

(三) 放射性物品流线的专属通道管控

放射性物品流线包括核素运入流线与放射性废物运出流线,实行闭环管理,全程不与医患流线交叉,避免运输过程中对人员造成辐射照射。

核素运入流线采用专属卸货口,核素运输车辆直接停靠在专用卸货口,通过专用通道将封装在铅罐内的核素运送至储存室,运输通道全程位于控制区或专用设备通道内,不经过人员活动区域。整个运输过程由专人负责,严格按照规范操作,确保核素运输的安全^[4]。

放射性废物运出流线则按照分类收集、暂存、转运的流程设计。控制区内产生的放射性固体废物,分类装入专用防护桶内,桶表面辐射水平控制在2mSv/h以内,通过专用通道转运至放射性废物暂存间存放;放射性液体废物通过专用管道排入有效容积不小于5立方米的衰变池,经过不少于10

个半衰期的衰变处理,再经过过滤消毒,达到总 α 不超过0.1Bq/L、总 β 不超过1Bq/L的排放标准后,方可排入医院污水系统。固体废物暂存时间不超过3个月,定期由具备资质的单位通过专用出口转运处置,转运过程不经过科室的医患公共区域,避免对就诊秩序与人员安全造成影响。

三、配套体系的平面协同设计与合规保障

功能分区与流线分离构成了核医学科平面布局的主体框架,而通风系统、辐射监测、应急防护与废物处理等配套体系,则是保障辐射安全落地的重要支撑,需与主体平面布局协同设计,嵌入到整体空间规划中。

(一) 通风与监测系统的空间适配

通风系统是防控内照射风险的核心设施,控制区设置独立的负压通风系统,确保空气从低风险区域向高风险区域流动,避免放射性气溶胶向外扩散。在平面设计中,需为通风管道预留专用的管井与安装空间,不同区域的通风系统相互独立,空气不交叉流通。储存室与分装室的换气次数不低于每小时10次,保障室内空气的及时更新;排出的空气需经过效率不低于99.97%的高效过滤器处理,去除空气中的放射性微粒后,再通过专用排风口排放至室外安全高度,避免对周边环境造成影响^[5]。

辐射监测系统分为固定式与便携式两类,固定式剂量监测仪布设在控制区的关键位置,包括储存室、分装室、机房出入口以及废物暂存间,测量范围覆盖0.1 μ Sv/h至10mSv/h,报警阈值设置为不高于2.5 μ Sv/h,实时监测区域辐射水平,一旦超标立即触发报警。剂量监测室设置在控制区出口处,配备便携式监测设备与个人剂量计存放装置,医护人员的个人剂量计定期送检,确保剂量数据准确可靠。诊疗设备也需定期校准检测,保障设备运行的稳定性与辐射水平的可控性。

(二) 应急防护与环保管理的空间支撑

辐射安全管理需坚守底线思维,在平面规划中提前嵌入应急防护设施,制定完善的应急预案,应对可能发生的辐射泄漏、人员污染等突发情况。控制区内的核心操作房间设置洗眼器与紧急冲淋装置,位置靠近操作区域,便于发生放射性物质沾染时及时进行冲洗去污;各房间配备应急处理箱,存放应急防护用品、去污材料与监测设备,保障突发情况时能够快速处置。关键区域设置视频监控系统,覆盖储存室、

分装室、废物暂存间等核心风险点,监控信号接入医院辐射安全管理部门,必要时与属地环保部门联动,实现风险的实时监控与快速响应。

环保管理方面,需建立完整的污染监测档案,定期对废水、废气、固体废物进行检测,确保各项指标符合环保标准。放射性废物暂存间具备防火、防渗、防盗性能,室内设置分类存放架,不同类型的放射性废物标识清晰、分开存放,暂存期间定期进行辐射水平监测。科室需定期组织辐射安全培训与应急演练,提升医护人员的安全意识与应急处置能力,确保各项管理制度落到实处。

四、结语

核医学科的平面规划是辐射安全管控的源头性工作,直接决定了科室运行过程中的安全水平与合规性。以辐射风险分级为基础构建三级防护分区,能够从静态空间层面建立梯度式的防护体系,明确不同区域的管控标准与防护要求;而医患与放射性物品的流线分离设计,则从动态流动层面切断了辐射扩散的路径,减少了人员的不必要辐射暴露。两者相互结合,再配套完善的通风监测、应急防护与废物处理体系,能够构建起“静态分区+动态管控+兜底保障”的全维度辐射安全防线,既符合现行法规标准的要求,也能够满足临床诊疗的功能需求。在实际建设过程中,还需结合医院的建筑条件、诊疗规模与设备配置情况,灵活调整布局方案,始终将辐射安全底线放在首位,兼顾诊疗效率与使用体验,让核医学科在安全合规的前提下,更好地服务于临床诊疗与患者健康。

[参考文献]

- [1]武昌权,何花,崔亚娇,等.外科病房护士核医学辐射防护认知与职业暴露风险分析[J].循证护理,2026,12(12):2665-2671.
- [2]田莉萍,张永县.胸部X线摄影中辐射剂量估算与风险分析[J].放射学实践,2026,41(3):301-306.
- [3]王文辉.CT辐射:风险可控,科学使用是关键[J].健康向导,2025,31(10):65-66.
- [4]张田宝.放射影像的安全性:如何降低辐射风险[J].人人健康,2025,(19):101-102.

作者简介:焦婷婷,女(1991.2—),汉族,籍贯:山西太原,硕士研究生,研究方向:建筑设计。