

临床核医学的放射防护与 评价

广东省职业病防治院
王新永

一、概述

临床核医学使用的放射性核素，通称放射性药物，一般来说半衰期较短，能放射 γ 或 β 射线，物理状态多为液态，少数为气态。

放射性药物是用于人体内开展诊断和治疗的放射性核素的化合物或生物制剂。可分为诊断用药物和治疗用药物两部分。前者约占全部放射性药物的95%。

用于诊断的放射性药物，其核素要保证具有最大的探测效率以及对人体最低限度的辐射损伤。为此，对诊断用的放射性核素必须有适宜的射线种类、能量和半衰期，其毒性小，比活度与放射性纯度高。

治疗用放射性核素着眼于射线的辐射生物效应，即对人体有害细胞专一杀伤作用。因此，治疗用核素要求发射电离密度大，传能线密度（LET）高，相对生物效应（RBE）强的射线，如 α 射线、 β 射线和中子等。而不发射或少发射 γ 射线。

一般要求放射性核素在短时间内即可达到预定的辐射剂量，半衰期应短。然而为了取得治疗效果，放射性核素在病灶部位需有一定的滞留时间，因而半衰期不可过短，常选择1-5d较好。

二、核医学的放射防护

(一) 核医学工作场所的防护

1. 核医学工作场所的分级和分区 工作场所的分级

根据所操作的放射性核素的权重活度大小将工作场所分为三级。见下表

临床核医学工作场所分级

分级	权重活度, MBq
I	>5000
II	50-5000
III	>50

权重活度等于计划的日最大操作活度乘以核素毒性权重系数所得的积除以操作性修正系数所得的商。

即权重活度＝计划的日最大操作活度
×核素毒性权重系数/操作性修正系数。

核医学常用放射性核素的毒性权重系数

类别	放射性核素	权重系数
A	$^{75}\text{Se}, ^{89}\text{Sr}, ^{125}\text{I}, ^{131}\text{I}$	100
B	$^{11}\text{C}, ^{13}\text{N}, ^{15}\text{O}, ^{18}\text{F}, ^{51}\text{Cr},$ ^{87}Ge $^{99\text{m}}\text{Te}, ^{111}\text{In}, ^{131\text{m}}\text{In}, ^{123}\text{I}$ $, ^{201}\text{Tl}$	1
C	H, Kr, Xe, Xe	0.01

不同操作性质的修正系数

操作方式和地区	修正系数
贮存	100
清洗操作	
闪烁法计数和显像	10
诊断病人床位区	
配药、分装	
给药	
简单放射药物制备	1
治疗剂量病人床位区	
复杂放射性药物制备	0.1

工作场所的分区

依据管理的需要将核医学工作场所分为三区，即控制区、监督区和非限制区。

①控制区

在其中连续工作的人员一年内受到照射剂量可能超过年限制**3/10**的区域，如制备、分装放射性药物的操作室、给药室、治疗病人的床位区等。

②监督区

在其中连续工作的人员一年内受到照射剂量一般不超过年限制**3/10**的区域，如使用放射性核素的标记实验室、显像室、诊断病人的床位区、放射性核素或药物的贮存区和放射性废物贮存区等。

③非限制区

在其中连续工作的人员一年内受到照射剂量一般不超过年限制**1/10**的区域，如工作人员办公室、电梯、走廊等。

2.核医学工作场所的防护要求按照工作场所分级，对活性实验室、病房、洗涤室、显像室等场所室内表面及装备结构的防护要求见下表

按不同级别工作场所室内表面和装备的要求

工作场所分级	地面	表面	通风橱	室内通风	管道	清洗及去污设备
I	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	应设抽风机	特殊要求	需要
II	易清洗且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般要求	需要
III	易清洗	易清洗		一般自然通风	一般要求	只需清洗设备

生产和操作放射性核素或药物的通风橱，在半开的条件下风速不应小于**1m/s**。排气口应高于附近**50m**范围内建筑物屋脊**3m**，并设有活性炭过滤装置或其他专用过滤装置，排出空气浓度不应超过有关限值。

（二）核医学工作人员的防护

核医学工作人员在受到外照射辐射危害的同时，由于放射性核素的表面污染或挥发及其他原因，有可能把放射性核素摄入体内，造成内辐射危害。因此，核医学工作人员受到的照射既有外照射，可能也有内照射。对外照射的防护依然根据时间、距离和屏蔽防护的三种基本方法减少受照剂量。对内照射的防护一方面要按操作制度认真操作，防止或减少放射性污染，另一方面要加强个人防护，养成良好的卫生习惯，尽量避免或减少放射性核素摄入体内。

1. 内外照射危害的来源

(1) 外照射危害来源

核医学工作人员在操作放射性核素时会受到 γ 射线的外照射或由放射性污染引起的外照射。

放射性药物准备时受照包括开瓶、分装、装柱、洗涤、测量等过程。

给患者药物时受照 包括分药、注射等过程。

来自用药后患者的照射包括对患者的测量和护理等过程。

(2) 内照射危害来源

内照射来源于直接摄入和由于污染引起的间接摄入的放射性核素。

核医学工作人员进行放射性核素操作时，尽管十分小心，也不可能完全避免使放射性液体洒落、气体泄漏造成工作台面、地面、设备表面的污染和室内空气污染。一般发生在放射性核素的开瓶、分装、给药、注射和制作敷贴器等过程。特别是对于具有挥发性的 ^{131}I ，在隔离不完备的情况下操作，容易污染空气，继而被吸附于固体表面上，造成表面污染。

病人排泄物处理不当，也会给病房及其他场所造成污染。尤其在刚口服过放射性药物的患者，如果管理不善，唾液对地面的污染相当严重。

工作人员不良的工作习惯也可能造成工作环境污染，甚至直接摄入。

2.工作人员的防护措施

(1) 屏蔽防护

各种放射性药品的操作应在有屏蔽的情况下进行。并根据放射性核素发射的射线的种类、能量选择合适的屏蔽材料。如 γ 射线用铅或铅玻璃防护， β 射线用有机玻璃防护。在选择具体屏蔽防护用品时还要考虑经济方面的因素，同时要考虑方便操作。否则，给操作带来麻烦，延长操作时间，可使工作人员的受照剂量增加。

(2) 距离防护

距离增加1倍，可使受照剂量减至 $1/4$ 。所以操作时尽可能增大与放射源的距离。比如，开瓶时使用长桶开瓶器；分装时采用远距离移液管；注射时采用长的注射筒等。

(3) 时间防护

受照剂量与受照时间成正比。所以，迅速准确地操作和检查，缩短接触放射性核素和患者的时间，将会减少受照剂量。这就要求操作者要技术熟练、情绪镇定、物品准备齐全、操作迅速准确、并尽量采用较先进、快速的检查方法。

(4) 控制污染

① 污染的限制

操作放射性物质难免发生污染，因此要把它们限制在一定的区域，与办公室、休息室、资料室、仓库等非放射性房间分开。即采取三区制原则（分为控制区、监督区和非限制区），各区内的使用物品不能互相换用。

放射性核素的分装和制备应在通风橱内进行。室内应有良好的通风，尤其是使用气态放射性核素 ^{133}Xe ， ^{85}Kr 和具有挥发性的 ^{131}I 时。

已被污染或疑被污染的用具要专门收集，单独保存在指定的地方。

②隔离

操作时要穿隔离衣或在普通白大衣外面加袖套和围裙，带橡皮手套、口罩、帽子，穿专用鞋，防止污染日常衣物和头发以及吸收放射性气体；严禁用口吸移液管转移放射源；严禁在工作场所吸烟、美容化妆、进食和存放食物。

③去除污染

发生意外污染时要及时正确处理，避免污染扩散。并对污染成分不同的物品分开处理，避免交叉污染。去污时要先用合适的去污剂和去污方法，并要适可而止。必要时采用放置、撤换和覆盖的方式。

④污染监测

定期监测各处污染情况，把污染控制在国家标准规定的导出限值水平以下。

各类表面污染的导出限值Bqcm⁻²

表面类别	核素的毒性权重系数分类		
	A	B	C
控制区表面和装置表面	30	300	3000
监督区和非限制区表面个人被服、 医院床单等	3	30	300
身体表面	3	30	300

(三) 核医学中患者的防护

1. 核医学诊断中患者的防护

(1) 临床医生和核医学医生的职责

(2) 放射性药物的选择及检查程序监督

选择放射性药物时要考虑药物的物理、化学和生物特性，选择能使患者受到的吸收剂量和其他危险性最小，而又能给出所需的诊断信息的放射性药物。

(3) 减少患者的吸收剂量

可以通过一些简单的措施就能明显减少放射性药物所致的吸收剂量。

(4) 对育龄妇女、孕妇、哺乳妇和家属的防护

①育龄妇女

对育龄妇女，需考虑其怀孕的可能性，必须仔细询问患者，以估计其怀孕的可能性。若育龄妇女在提请核医学检查时月经已经过期或停止，那么为审慎起见应当假定其已经怀孕，或做妊娠试验确定。

②孕妇

对孕妇来说，胎儿受到的照射或许是由于放射性药物通过胎盘传输进入人脑儿体内构成内照射危害；或许是由于母亲的器官和组织内的放射性药物对胎儿构成外照射危害。因此，在给孕妇施行核医学检查之前，应当非常小心地确定这种检查是否确实需要；在膀胱已有了部分充盈时给药而不是在排尿之后即刻给药；在给药之后应当鼓励她频繁地排尿。

③哺乳妇女

对哺乳妇女当给予放射性药物时，放射性核素可能分泌到乳汁中，导致人乳哺育婴儿受照。因此应当在婴儿受照射危险和母亲的疾病得到诊治所受利益之间作出权衡考虑是否确实需要做核医学检查或把这种检查推迟。

④患者家属

由于大多数诊断用放射性药物的有效半衰期都比较短，所以他们受到的辐射照射剂量通常是比较小的。患者家属只要在用药后的最初几个小时内减少与患者的密切接触，可以避免这种照射。

(5) 杜绝给药的失误

主要是由于缺少分类管理，或管理不够严格；或鉴别患者的标记及放射性药物的标记不正确导致给错放射性药物或把放射性药物给错病人；发生给药失误，造成严重的后果。核医学科内要建立一套组织上和制度上的防范措施，以便避免此类失误。

2.核医学治疗时患者的防护

(1) 权衡利弊，优选治疗方案

在给予患者放射性核素治疗之前，应根据所有诊断信息，运用最优化原则分析，只有患者应用放射性核素所获得的利益大于因应用放射性核素所引起的辐射危险时，且又没有其他更好的治疗方法，才能给予放射性核素治疗。在权衡儿童应用放射性核素治疗时，更应特别仔细地估价这种利益与危险，这是因为儿童的组织或器官对射线较敏感，以防组织损伤可在较长的预期寿命中表现出来。

(2) 对育龄妇女、妊娠妇女和家属的防护

育龄妇女

在给予治疗量的放射性核素之后，在妇女体内留存的放射性活度致使胚胎和胎儿所受的吸收剂量超过大约1mGy之前，似乎不宜怀孕。如在用 ^{131}I 治疗甲状腺功能亢进后，需隔大约6个月才可以怀孕。

妊娠妇女

对妊娠妇女不使用放射性药物治疗。除非需要这种治疗以挽救其生命，在此种情况下应考虑终止妊娠。

患者家属

给予患者治疗量的放射性药物后，患者就变成了一个放射源。接近身体的家属在几天内受到的照射剂量就可能超过对公众成员规定的限值，可达数**10mGy**。因此，住院患者在预期将会使家属成员受到的吸收剂量大致超过**5mGy**之前，不得出院。应当劝告进行核素治疗的患者在出院后的相当时间内不要抱儿童，避免同其家属成员密切接触。

(3) 避免患者间的相互照射

接受 γ 放射性药物的患者最好住在加以适当屏蔽的单独的房间内。如果条件许可盥洗室和类似的设施也应单独使用，而且要经常从病房内清除放射性废物。

（4）给药失误的应急处理原则

给药失误的应急处理原则包括：①利用催吐、洗胃、泻剂或灌肠来迅速排除口服的放射性药物；②通过饮水、利尿、螯合疗法（随情况而定）来加速排泄静脉注入的放射性药物；③对于不能自动排尿的患者利用导尿管插入使之排尿；④使用诸如KI或 KClO_4 等阻吸收剂来减少对甲状腺、唾液腺和胃的吸收剂量；⑤收集和监测排泄物，以及对全身或选定区域的体外计数测量以帮助确定滞留的程度；⑥同有资格的专家共同商议，提出估算计量的方法、有效的治疗措施和追踪观察的方案等；⑦立即告知患者及其家属，以确保患者家属成员或探望患者的人员不致受到过度照射；⑧还应当通知建议检查的医生、医院领导。

（四）核医学诊治的质量控制

- 1.核医学仪器的质量控制
- 2.放射性药物的质量控制
- 3.核医学科质量保证的一般原则

三、临床核医学评价要点

(一) 选址及布局

1.位置选择与房间配置 根据医院的规模，核医学科可设在独立的建筑物内或设在影像中心大楼的一层或一端。其房间配置应按以下顺序：

清洁区	卫生通过间	低放射性区	中放射性区	高放射性区
(非限制区)		(监督区)	(控制区)	(控制区)

同时要注意与临近科室的布局是否合理。

为了便于控制污染，确保操作者的安全，按操作放射性核素总浓度的多少及污染危险程度的大小，需要对开放型工作场所实行分区布置和管理。

分区原则

- 1.将放射工作区与非放射工作区严格区分开，在两区之间设置卫生通过区，工作人员进出放射工作区必须经过卫生通过间进行更衣、换鞋、洗消、监测。
- 2.在放射工作区内，应根据操作放射性水平的高低，按顺序排列，高活性区一般设在平面的末端，而且是当地主导风向的下风侧。
- 3.废水排放的流向以及室内人工通风系统的气流方向，均应由低放射性区流向高放射性区。

分区方法

开放型放射工作场所一般都设置放射性工作区（操作放射性物质的房间）和非放射性工作区（并不直接操作放射性物质，如办公室、非放射性实验室、休息室等），从这个整体考虑，应分为三个区域，即放射性工作区、非放射性工作区，以及设置于二者之间的卫生通过区。而在放射性工作区，又根据操作放射性活度的多少，及污染危险程度的大小，分为三区，即高放射性区（或称高活性区）、中放射性区和低放射性区。若将高活性实验室放在楼房的底层，有利于安装沉重设备及放射性废水由低活性实验室流向高活性实验室，但高活性实验室的废气排放需要有单独的排气管道，不可与中低活性实验室共用一个排气管道。

（二）核医学实验室设计

核医学实验室，在设计上要考虑外照射和内照射的防护等因素，它与一般化学实验室在设计上的不同之处列于下表

放射性同位素实验室的设计与一般化学实验室的区别

区别点	一般实验室	放射性同位素实验室
1外照射防护	不需要	需要考虑：①墙壁、门、窗屏蔽防护 ②对工作人员的屏蔽防护
2卫生通过室	不设置	必须设置
3房间面积	不受限值	不宜太大，以30m ² ，放置1-3个半岛式或岛式试验台为宜
4房间层高	层高3m左右	应高出一般实验室600-1000mm，因通风柜上需安装过滤器，暗装灯具及管道，需设置天棚（吊顶装饰）
5通风系统	可采用送风、排风、回风三种系统，以节约资金	采用送风和排风的直流系统，不能循环使用，排风从通风柜排除

6实验室台面 结构、材料	无特殊要求	结构要求坚固，因要放置铅砖、防护屏等重物；材料要光滑，易去污染
7上、下水	无特殊要求	净水水龙头开关要用肘开关、脚踏开关或自动感应开关； 污水要有专用下水管道，流入废水处理池经处理后排放
8墙面、地面	无特殊要求	墙面表面要光滑（涂耐酸油漆或贴瓷砖），墙角要抹成弧形，地面设地漏，地面材料要能去污染，一般常用塑料地面，以便被污染后，将局部割弃换补。

（三）评价必备的防护设施 污染控制设备

直接观察操作开放型放射性物质，通常都在有适当通风的通风柜或手套箱内进行。

1.通风柜

通风柜是放射性同位素实验室最常用的污染控制设备，可根据操作放射性核素的种类、活度、操作性质等进行设计。通风柜的内表面应采用易去污材料，如不锈钢板或PVC板，柜的底部可采用耐酸瓷砖或不锈钢板；柜内设置煤气、冷热水、污水排出口；用暗装日光灯作为通风柜内部照明，其照明标准为150~300Lx（勒克斯），电源插座设置在通风柜外部。

2.手套工作箱

手套工作箱由一个主箱和一个副箱组成。

3.防护屏蔽

(1) 组合式防护屏

最常用者为铅砖，通常制成具有能够互相咬合的各种形状，以便组合时防止漏射线。铅砖通常用在通风柜操作口处，与铅玻璃共同组成分源、淋洗等操作屏障，或组合成一定形状的辐射源围屏，包围住辐射源；由于铅砖组合比较方便，故有时用作其他台面上防护屏的辅助屏蔽。

(2) 直接操作防护屏

操作活性水平不高，而且操作较简单，持续时间较短的 γ 或 β 液体辐射源，不需要利用长柄操作工具伸向通风柜或手套箱内进行操作，可采用直接操作防护屏，将操作者的身体主要部位与辐射源隔离。这种防护屏的形式多样，其防护材料与防护厚度要根据辐射类型、能量、活度和操作距离等屏蔽防护计算结果进行设计。

(3) 贮源防护屏蔽

对 γ 或硬 β 辐射源，在应用前贮存或应用过程中的短暂转移贮存以及应用后有污染的废物的暂时贮存等，均需要屏蔽防护。最常用的是各种不同规格的铅罐、铅防护箱、铅防护盒、铅防护套等。其规格要根据用途而设计。

3.操作工具

操作开放型放射性物质，为避免手的污染，通常采用各种短柄或长柄操作工具，如大小镊子，长柄卵圆钳、弯嘴钳及扳手等。

4.贮存设备

对开放型放射性物质的贮存，要具备防泄漏、防外照射、防盗、防火、防水、防爆等功能，而且存、取方便。

(1) 贮存容器

对不同辐射源应设置与其相应的贮存容器。

贮存 γ 辐射源的容器必须有足够的防护厚度，使容器外表面100cm处任意一点的辐射空气比释动能率不能超过国家标准规定值，活度大于和小于 $4 \times 10^{10} \text{Bq}$ 的 γ 源，分别不能超过 0.2mGyh^{-1} 和 0.05mGyh^{-1} 。

(2) 贮源室

使用开放型放射性物质的单位必须设置专用贮源室，用于贮存放射性物质和待处理的放射性废物。

5.运输设备

运输开放型放射性物质，必须先将其盛放于带盖密封的容器内，再放入供贮存、运输的防护容器内，并应加锁，要专车运输，专人押运，中途停车或在应用场所停放时，需有专人看管，严防差错和丢失。

对 γ 辐射及硬 β 辐射，要有足够的屏蔽厚度，使外层容器表面5cm及100cm处的空气比释动能率分别不超过 $200\mu\text{Gyh}^{-1}$ 和 $20\mu\text{Gyh}^{-1}$ 。

6.个人防护

个人防护用品

基本要求

- (1) 防护性能好，表面光滑，不易被污染，易于去污；
- (2) 结构简单，使用方便，符合生理卫生要求，穿着舒适；
- (3) 耐磨，耐腐蚀，化学稳定性高；
- (4) 来源广泛，价格低廉。

种类

- (1) 工作服 最好选用耐磨、耐酸碱腐蚀，对放射性物质吸着性差，易于去污的合成纤维布料（如涤纶、氯纶织品等）制作。其样式宜做成后开口白大衣式，前身不留口袋、接缝、纽扣、腰带等。工作服的袖口带有松紧带。
- (2) 工作帽 选用与工作服相同的布料，做成医院男医师工作帽式，圆顶，帽墙宽度以到耳廓根部为准。
- (3) 工作鞋 在污染房间工作时，以选用全塑料或橡塑的雨鞋为宜。必要时，再套上一次性塑料薄膜鞋套。在丙级工作场所工作，污染的可能性很小时，可穿用塑料或橡塑拖鞋，亦可再套上一次性塑料鞋套。

(4) 手套 从事开放型放射性工作，为防止手的污染，必须戴手套。需要细致操作的工作，可选用外科手术用乳胶手套；从事洗涮等对精度要求较低的工作宜选用耐酸的较厚的氯丁乳胶、橡胶手套；若操作有 γ 辐射或韧致辐射的放射性物质应当选用不同厚度的含铅橡胶手套。

手套应标明正、反面，反面与皮肤接触应保持清洁，脱戴时注意防止反面受到污染。手套用后要及时清洗干净，晾干涂上滑石粉后妥善保存。

(5) 口罩 为防止放射性气溶胶由呼吸道进入体内，需佩戴过滤口罩。

3.附加个人防护用品

指在特殊情况下需补充着用的防护用品，常用者有以下几种：

(1) 薄膜工作服 系用薄膜塑料或橡皮制成的围裙、套袖和半联合工作服等，将其穿在工作服之外，从事可能通过飞溅、撒落污染工作服的工作，如洗涮盛放过放射性物质的器皿、移吸、蒸发放射性溶液等。因这种附加工作服表面光滑、耐酸碱，易于清洗去污。

(2) 薄膜鞋套 目前医院大型医疗设备室的工作人员或病人均穿用一次性鞋套，亦可用于从事开放型放射性工作的人员。如果鞋套被放射性污染，即应作为放射性废物处理，以免扩大再污染。

(3) 气衣 属于隔离式防护用具，用在空气被放射性物质严重污染的环境下进行应急事故处理和去污等工作时。

(4) 气盔 气盔为送气式头盔的简称。主要用于短时间进入修理区或观看污染房间内的设备，而工作服污染的可能性很小而又必须防护呼吸道时。

（四）评价应提供的规章制度等

从事开放型放射性工作，除应具备符合标准的工作场所，完善的防护措施与齐全的个人防护用品外，还必须有严格的卫生规章加以约束，否则，仍会导致污染的扩散，危及工作人员及周围居民的健康和安全。

个人卫生规章是指一切从事开放型放射性工作的人员，个人必须遵守的规章制度，其目的有二：一是防止放射性物质通过各种途径进入体内；二是防止放射性污染扩散。

（五）核医学工作防护的基本原则

1. 优选核素与活度

要选择毒性最低的放射性核素，并将使用量（放射性活度）控制在需要量的最小值。这样即可将该核素造成内照射的危害降至可以合理达到的最低程度。

2. 内外照射防护兼顾

有些核医学工作场所，使用的放射性核素是混合辐射体，既放出高LET（传能线密度的）的 α 或 β 粒子，又放出低 γ 射线，因此，既要防止内照射，又要防护外照射。

3.防护设施为主，个人防护为辅

对开放型放射性物质的操作、贮存、运输和废物处理等各个环节，必须有符合国家标准的固定防护设施，包括工作场所地址的选择、分区、分级建造标准，操作设备，储存运输容器，以及废水废物的处理设施等，这是防止放射性物质对环境污染的主要措施；操作者穿戴个人防护用品（防护帽、眼镜、口罩、防护服、手套等）以及严格执行操作规程是防止个人污染必不可少的防护措施。

（六）评价分类

《建设项目职业病分类管理办法》规定，根据建设项目放射性职业病危害的严重程度不同，将其分为一般放射性危害和严重职业病危害2种。用于在评价工作中采用编制评价报告书或评价报告表的形式进行评价。日等效最大操作量大于 $4 \times 10^9 \text{Bq}$ 的建设项目须编制《评价报告书》；日等效最大操作量为 $2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 的核医学诊疗场所须编制B类《评价报告表》；日等效最大操作量小于 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ 的建设项目须编制C类《评价报告书》。