

医用开放源辐射防护基础

D. 弗罗斯特 H. 贾米特 著

程冠生译 任培薛校

原子能出版社

内 容 简 介

本书原名应译为“医院和私人诊所的辐射防护手册，第二卷，开放源”。现改译为“医用开放源辐射防护基础”。

本书较全面、扼要地介绍了医院中使用开放型放射性核素的辐射防护的一般要求，包括用药、操作、运输、去污、废物处理、事故处理等方面的辐射防护问题和解决办法；书中也介绍了开放源操作室的设计和建造原则。此书适合于具有一般辐射物理学和生物学基础的核医学工作者、医学院校师生阅读；可供从事环境保护、建筑设计人员参考。

Manual on radiation protection
in hospitals and general practice
D. Frost H. Jammet
Jointly sponsored by ILO, IAEA and WHO
Geneva, 1975

医用开放源辐射防护基础

D. 弗罗斯特 H. 贾米特 著

程冠生译 任培薛校

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

原子能出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $787 \times 1092^{1/4}$ ·印张 $3^{11/16}$ ·字数80千字

1980年9月第一版·1980年9月第一次印刷

印数001—2500·统一书号:15175·248

定价:0.52元

前 言

放射性核素在医学中的应用愈来愈广泛。它们既用作诊断上的示踪剂（主要是 γ 发射体），也用作治疗剂（主要是 β 发射体）。

放射性核素在人体内的分布取决于它的物理、化学性质和药理动力学性质。各种生理系统都涉及到这种分布过程。在诊断中，利用药理动力学性质来研究特定的生理功能，或进行形态学检查。在治疗中，利用这种性质以获得在特定器官或组织中的选择性浓集。

几乎所有的生理系统都与这类研究有关。

（1）血液循环差不多都被涉及到，有时它本身就是研究的对象（如心电图）；有时它可以是一项研究的主要部分（如胎盘图）。

（2）呼吸系统可以是检查的对象，也可以利用示踪剂对肺进行形态学检查。

（3）已广泛地利用血液清除系统，如肝细胞对孟加拉玫瑰红（rose bengal）的清除，肾脏对邻碘马尿酸钠的清除，脾脏对有缺陷的红细胞的清除，肝、脾、淋巴系统和骨骼的网状内皮系统对胶体金颗粒的清除；以及肺对大型聚集蛋白质的清除。

（4）经常利用排泄功能，特别是肝和肾的排泄功能。

应用放射性物质的最重要的方向是利用放射性核素或标记分子的药理动力学性质。可以利用的药理动力学特征的例子是：在甲状腺素生成过程中碘的作用，铈和氟在骨骼中的选择性浓集作用，硫在软骨组织中的选择性浓集作用以及磷

和铁在造血组织中的选择性浓集作用。

由于生理系统的不同，放射源在体内的分布是复杂而多变的。因此，为了解此种分布，常常需要在不同的时间和不同的部位进行多次测量。可以直接在患者身上，也可以对生物样品进行这种测量。

在前一种情况下，从体外用各种方法作局部解剖学分布的测量，测量方法主要有定位测量法、 γ 谱仪全身计数法（轮廓法）或扫描法（闪烁图）。全身计数法不是一种常用的方法，但是在某些代谢研究中是有用的，在辐射防护研究中也经常用到。有时由于用药上的需要也用它。

对生物样品，原则上是对排泄的废物（如尿、粪或呼出的气体），血液样品或活体组织的放射性测量，有时采用放射化学分析和测定法，有时采用放射自显影的方法。显然，只有各科学领域（物理、化学、生物、数学、统计学和数据处理工作者及医学）工作人员的共同参与和紧密协作，才能使放射性核素的诊断和治疗更有成效。

本书的宗旨是为核医学的辐射防护工作提供指导，使研究、诊断和治疗工作对患者、医护人员、居民和环境来说都是安全的。

目 录

前言	V
一、开放源的特点	1
二、开放源的辐射危害	3
1. 外照射危害	3
2. 内照射危害	4
3. 污染的危险	6
三、放射性核素在诊断上的应用	7
1. 功能研究	8
2. 闪烁显象	10
四、放射性核素在治疗上的应用	12
1. 治疗应用的方法	12
2. 放射性药物的选择	13
3. 制备和给药	14
4. 吸收剂量的估算	15
5. 患者的隔离	15
五、人员编制和训练	15
1. 工作人员的训练	17
2. 放射性核素的采购和交货	17
六、开放源科室的设计	18
1. 实验室和诊室的位置	19
2. 土建要求	19
七、使用开放源科室的总体布置	22
1. 实验室和不许患者经常出入的房间	22
2. 患者经常进出的建筑物和房间	26
3. 办公室	34
4. 废物贮存	35

八、用开放源诊断及治疗的科室举例	35
1. 小型科室	35
2. 中型科室	37
3. 大型科室	39
九、用药前开放源的安全操作	41
1. 放射源的操作技术	43
2. 放射性的分离和溶液的浓缩	45
3. 放射性液体的容器	46
4. 可丢弃的小型器械的使用	46
5. 工作面的设计	47
6. 防护服	47
7. 活动屏蔽	48
8. 用药前就地消毒	49
9. 放射性气体	49
十、安全操作放射性物质的设备	50
1. 贮存设备	50
2. 运输设备	52
3. 安全操作设备	52
4. 对厂家发来的放射性药物进行制备和标定的设备	53
5. 低放射性用药和测量设备	53
6. 高放射性用药和测量设备	57
十一、废物处理和处置	59
1. 废物的类型和来源	60
2. 液体废物的处理	61
3. 固体废物的处理	62
4. 废物在处置前的存放	62
5. 放化实验室的废物	62
十二、监测	63
1. 防护衣具和卧具的监测	64

2. 工作 面·····	64
3. 空气监测 仪·····	65
4. 个人的外照射监 测·····	66
5. 体内污染的监 测·····	68
6. 病房监测 仪·····	69
十三、有关氚和碳-14的特殊 问题·····	69
十四、去污·····	71
1. 人 体·····	71
2. 衣服和卧 具·····	72
3. 设备和 器械·····	73
4. 工作面和 房间·····	75
十五、患者的防护·····	76
1. 诊断上的应 用·····	77
2. 治疗上的应 用·····	79
3. 新型的诊断和治疗的应 用·····	80
十六、污染放射性核素的尸体处理·····	81
1. 贮 存·····	81
2. 不经尸体解剖直接埋葬或火葬的准 备·····	82
3. 防腐处 理·····	83
4. 尸体解 剖·····	83
十七、工作人员和居民成员的防护·····	84
1. 来自患者的外照射防 护·····	84
2. 来自患者的污染危险的 防护·····	85
3. 辐射工作人员的医学常规检 查·····	86
4. 特殊建 议·····	86
5. 居民成员 的防护·····	86
十八、处理事故的措施·····	88
1. 急 救·····	89
2. 处理事故时需要的 设备·····	90

3. 组织与计划	91
4. 火灾时采取的 措施	91
附录 1 某些常用放射性核素的特性	93
附录 2 瑞典医院中用于诊断的放射性药物的 典型用法	98
附录 3 使用放射性核素作诊断检查时患者所受 的累积剂量	100
附录 4 闪烁图中所用的放射性核素及其辐射剂量	106
附录 5 在离开点源不同距离处照射率的计算值	108

一、开放源的特点

在以诊断和治疗为目的的临床医学中，开放源的特点是它的物理状态和放射性性质。当在一特定情况下使用时，医生还需注意源的化学及生物学性质。大多数源是液态的，但有的制成固体、气体或气溶胶。液态源包括真溶液、胶体溶液或悬浮液，一般用青霉素瓶或安瓿包装，并在真空、氮气或空气中封口；或者用可丢弃的塑料注射器包装。比放射性的范围从每毫升几微居里到大约每毫升100毫居里。

真溶液分为五类：

(1) 口服水溶液，可以拿来就用，或经稀释后使用。另一种是注射用水溶液，应该是等渗的、无热原和无菌。

(2) 乙醇水溶液，通常适合于注射用。

(3) 油性溶液，通常适合于注射用，例如标记的三油酸脂和油酸。

(4) 从锆、铝或树脂柱上淋洗下来的淋洗液（又称“牛奶”），其中含短寿命的子体核素，这种核素是由固定在柱子内的长寿命母体核素（“母牛”——发生器）*产生的。

(5) 含有可溶性气体（如氙-133）的液体，适合于注射用。

胶体溶液含有大小可以控制的颗粒，一般用有耐药力的物质（如琼脂）加以稳定。给药方式通常是腹膜注射，浆液

* 这是在实验室中用碲-132产生碘-132，用钼-99产生锝-99m，用锡-113产生铟-113m，用铯-137产生钡-137和用钇-87产生铽-87m的方法。这些发生器经消毒处理，然后提供“牛奶”。

腔注射或静脉注射。

悬浮液包括陶瓷小球、血球、大型聚集的白蛋白等等。利用它们来浸润组织、浆液及其它体腔，主要用于治疗。

固态开放源包括：

(1) 口服用可吸收的琼脂胶囊，内含元素形态(如盐)的放射性核素，或者是吸附在复杂分子上的放射性核素。

(2) 冷冻干燥的复杂生物学分子，以非肠胃道的方式给药，如用碘-125或碘-131标记的血清白蛋白，用碘-125或碘-131标记的纤维蛋白原，或用钴-57标记的维生素B₁₂。

放射性气体，如氧-15，常可用吸入方式直接给药。为此，用塑料袋装所用的核素，一般还混有氮或惰性氮。这类放射性气体通常是短寿命的，由诸如回旋加速器一类设备来生产；因此，用药地点必须接近产地。然而，这种方法只在很特殊的诊断中才应用。

含有放射性核素的气溶胶也能以吸入的方式给药。气溶胶系由真溶液、胶体溶液（如金-198或硫化锝-99m），或者各种悬浮液（如氧化铁颗粒等）所产生。

这些不同形态和不同制剂的放射性核素，放射性范围从零点几微居里直到几居里。

最常用的放射性核素，半衰期都相当短，不超过几个月。其中物理半衰期较长的核素，如碳和氚，一般都很快排泄掉，因而有效半衰期*仍比较短。

只使用β和γ发射体。原则上，纯β发射体如磷-32和

* 三种不同半衰期的区别如下：放射性物质本身的物理半衰期 T_p ，标记化合物在器官中的生物半衰期 T_b （考虑到这类物质的排泄速率），以及有效半衰期 T_e 。 T_e 由前两者组合而得，是器官中存在的实际放射性的度量。这三个量之间的关系是：
$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_b}.$$

硫-35常用于治疗；具有 β 和 γ 辐射的发射体，如放射性碘和放射性金，既用于诊断，也用于治疗（治疗效果主要取决于 β 辐射，而 γ 辐射用于诊断检查）；而纯 γ 发射体在诊断中具有特殊的价值。常用放射性核素的物理性质（半衰期、衰变类型和辐射能量）见附录1。

开放源的使用和操作，可能使临床工作人员、实验室人员、其它患者以及一般居民（程度轻得多）受到照射和污染。

二、开放源的辐射危害

1. 外照射危害

开放源中的大多数放射性核素是 γ 发射体，这就是说它们发射纯 γ 辐射（如亚稳态的放射性同位素），或者更普遍的是发射混合的 β 和 γ 射线。因此，和封闭源一样，它们对人体会产生深部照射，所产生的剂量可以用专门的照射率常数来计算，这些常数的数值见附录1。

诚然，有些放射性核素是纯 β 发射体，但是不应忘记， β 辐射在容器壁以及塑料、玻璃或金属屏蔽物中要产生韧致辐射。例如，磷-32虽然是一种纯 β 发射体，但能产生韧致辐射，假如放射性水平很高，则仍需要适当的屏蔽。与此相似，正电子发射体在屏蔽物及容器壁中产生0.51MeV的湮没 γ 射线，因此也需加以防护。

未屏蔽的 β 辐射所产生的表面剂量可能相当大。例如在一只小玻璃烧杯中装有10毫居里的磷-32，在上方10厘米处的吸收剂量率约为10拉德/小时，即使在容器的外表面处也

不能忽略。因此，要非常小心，防止对眼睛和皮肤的照射。

辐射危害不仅与源的操作有关，而且在接近体内载有放射性药物的患者时也有这种危害。例如一位刚经 100 毫居里金-198 腹腔注射的患者，在离开他 2 米的地方，吸收剂量率为 6 毫拉德/小时。一位护士对这位患者进行最起码的护理，也将受到约每周 175 毫雷姆的剂量。因此，采取适当措施减少临床工作人员和附近患者受到的照射是很重要的。

2. 内照射危害

应该对最危险的器官估算摄入剂量。这些器官不总是接受最高剂量的器官，因为不同组织对辐射的敏感性不一样。在某些情况下，应特别注意对其它部位，例如对青年人的性腺及孕妇的胎儿的照射。

在估算一个器官所受的平均剂量时，通常假设放射性核素在整个器官内是均匀分布的。但是如果分布很不均匀，就应该估算该器官内浓集核素的那个部位所受的剂量。例如给一位肾病患者使用新醇时，该药物在肾皮质的浓度比整个肾的平均浓度约高一倍。在一个器官的不同组织有不同放射敏感性的各种情况下（如骨骼），则应估算最敏感的组织所受的剂量。

在所使用的放射性强度一定时，不同器官所受的剂量取决于化合物的药理动力学特征和放射性核素的物理性质。

化合物的药理动力学特征

所用药物的化学状态可以是无机分子，也可以是复杂的有机分子。后者的应用愈来愈广泛，其中包括：

（1）参与正常代谢过程的分子，如蛋白质、激素和氨基酸。在一些化合物中，标记放射性核素是结合到分子上去

的，其方法之一是用放射性同位素取代其稳定原子；另一种是用不同元素的放射性核素去取代它们。前者的例子是用氖或碳-14标记的分子和用碘-125或碘-131标记的甲状腺激素；后者的例子是用硒-75标记的蛋氨酸，它是用硒-75取代硫原子。在其它化合物中，是把放射性核素结合到现成的分子上去（例如碘或钨标记的白蛋白），并可以改变后者的结构。

（2）人体中一般没有人造分子，但某些人造分子的药理动力学性质适合于作某种检查。例如，在肾图中用碘-131标记的邻碘马尿酸钠，以及在肾和脑扫描中使用的汞-197标记的新醇。

（3）胶体的形式，通过代谢固定在网状内皮系统内。

无机化合物的药理动力学特征（主要取决于放射性离子本身）一般是相当清楚的，但这种特征不一定总适用于复杂的化合物。在这种情况下，我们不仅要了解该分子本身的代谢，而且还要了解由它们在体内参与合成的更复杂的化合物（如氨基酸）的代谢过程，以及带标记的任何一种降解产物的代谢过程。

对于估算剂量所必要的代谢变量（注入放射性进入各器官的比例以及在这些器官中的滞留程度）并不总是了解得很精确。在估算摄入剂量时，对于这些变量，通常使用正常人的平均值，但在正常范围内个体的差异很大。其次，在受检者中，这些代谢变量可与平均值相差甚远，而且在某些情况下，检查的目的本身就是要精确地测定这种差异。因此，在使用一种放射性化合物以后，如果不具体测量该患者体内此种放射性核素的浓度和变化情况，要想精确地确定所产生的剂量是不可能的。

评价剂量时还必须记住，部分示踪剂有时可以从标记分

子上脱落。在用铬-51研究红细胞时标记物的脱落就是一个例子，对此必须加以适当的注意。

有时，施用一些制剂可以改变代谢过程，这些制剂能阻止放射性核素进入那些对该项检查无关的器官。在用碘标记的化合物检查与甲状腺无关的部位时（如作脑或肺扫描），稳定性碘可以显著减少对甲状腺的剂量。同样，在用汞标记的新醇作脑扫描时，使用带汞基的利尿剂将使肾脏的剂量减少到二分之一或三分之一。

放射性核素的物理性质

放射性物质的半衰期对于到达所研究的器官的放射性和给予放射性之比值有显著的影响。半衰期（加上生物排泄）也影响所研究的器官中放射性的有效蓄留量。因此，核素的选择归根结蒂将取决于所作检查的类型及所用化合物参与的代谢过程的动力学特点。

显然，必须选择具有足够长半衰期的核素，以保证有适合于测量的放射性强度。但如果半衰期太长，将会不适当地增加吸收剂量。

一般地说， β 辐射比 γ 辐射产生的剂量大（相等的能量时），因为 γ 射线的绝大部分能量消耗在该核素所在器官之外，甚至在身体之外。因此，必须区分用于诊断和用于治疗放射性核素。在诊断中，需要测量射出体外的能量，而尽量减少身体吸收的能量。为此，纯 γ 发射体显然是合适的。在治疗中，必须给予受治疗器官以能量，因此 β 发射体较为理想。

3. 污染的危险

尽管操作时十分注意，甚至包括采用青霉素瓶，但在操作过程中也不可能完全避免偶然使放射性液体洒落到工作面

和操作工具上，而造成即刻的或以后的表面污染。操作人员应立即将这些污染清除掉，但有时由于疏忽，通过操作者的手和工作服的接触而可能散布开来。

皮肤污染是外照射的一种来源，主要是 β 射线照射表皮组织。放射性核素也能引起体内污染，在放射性化合物的物理化学性质适合时（如某些有机化合物和脂肪），可以直接穿过皮肤，或者间接地，如通过手与嘴之间的接触进入体内。

其次，表面污染和工作服污染将引起大气污染（附着在微尘和小水滴上的放射性物质悬浮在空气中）。在场的人员通过呼吸致使体内受到污染。

体内污染的另一条途径是当用嘴将放射性溶液吸入移液管时不注意而吞入。无需说明，应禁止用这种方法。

坚持良好的工作习惯，经常监测表面污染，可以显著地减少上述各种危险。但事故终究还是会发生。例如，装有放射性核素的容器可能破裂，引起房间和在场人员的广泛污染。与此相类似，工作人员可能被污染的玻璃碎片或污染的操作工具所戳伤。

最后，在有关操作开放源的污染危险中，不能忽视放射性废物的危险。当废物存放在室内时，对医务人员和患者同样会产生危害。另一方面，由于不可避免的要将废物排放到环境中去，例如将惰性气体排入大气，或将低比放射性的液体排入阴沟等，这将使广大居民受到影响。

三、放射性核素在诊断上的应用

在诊断中使用放射性核素会对患者、医务人员和其它人

员产生照射。因此，这类应用要十分仔细，要考虑诸如怀孕等情况。如果不加区别地对怀孕妇女使用碘-131作甲状腺功能试验，就会影响胎儿的甲状腺，从而也就影响未出生婴儿的健康。

应该注意一个趋势，即虽然使用碘-131和金-198这些较老式的放射性核素的工作已经很好地建立起来，但近代诊断核医学倾向于使用半衰期更短的核素。

1. 功 能 研 究

用放射性化合物做的功能检查主要有：

摄取量的测定（如甲状腺摄取碘，红细胞摄取铁）；

清除率测定（如孟加拉玫瑰红的血液清除率和血浆铁的清除率）；

功能空间或间隔(functional spaces or compartments)的测定（如血浆容积和可交换的钠或钾）；

血流测定（如心血流或脑血流），化合物、示踪剂和放射性的选择取决于功能试验的特点和所用的测量方法。

测量时间的确定

使用化合物以后，应当确定测量时间（不管是对患者还是生物样品），以便取得尽量完善的资料。在某些情况下，作一次测量就够了，但在另一些情况下，为了揭示某过程的动力学特征，需要作反复的测量。

一次试验的总持续时间，即从使用化合物开始，到最后一次测量为止所经历的时间，可以从几分钟到几星期，根据检查的内容而定。这段时间一般不长（对于血流测量约有15分钟）。在设计一项试验去评价一个功能空间或间隔的大小时，其持续时间的长短将取决于示踪剂的稀释率，在测量血

浆容积时要15分钟，而测定可交换钠要一天。摄取试验或清除率试验的持续时间取决于该代谢过程的动力学特征。例如在血浆清除率试验中，常在前几个小时内获取数据，而在另一些试验中（如甲状腺摄碘研究），测量时间往往要延续到一天或一天以上。在某些情况下试验周期可能还要长（红细胞摄取铁要二周，测量红细胞寿命要二至三周）。

示踪剂的选择

放射性示踪剂的选择基于两点考虑，即发射光子的能量和放射性半衰期。

最佳光子能量取决于待测器官在体内的深度和厚度。理想的情况是只测到从所关心的器官中发出的辐射，而从其它组织中发射的辐射在体内被吸收，或者由有恰当尺寸和形状的准直器所屏蔽。

放射性半衰期应与试验时间的长短和所用化合物的代谢特点相适应，以便尽可能地降低患者所受的剂量（即在摄取的器官或全身中的累计放射性）。测量一结束，放射性应通过放射性衰变或者生物学排出而使其尽快消失。但是，放射性消失得越快，为了得到足够的精度，最初用的放射性也要越高，尤其是试验持续时间很长时。最佳的折衷办法是选择一种核素，它的有效半衰期等于从给药到试验结束所经历的时间。

功能试验中给予的放射性

在实际工作中放射性水平分为三级：

放射性低于1微居，用低水平全身计数器作的某些试验，如消化吸收和某些代谢试验。

从几微居里到几十微居里，如甲状腺、肾和肝的功能试验。