

核医学工作中的 辐射防护

第一节 辐射量及其单位

一、照射量

定义：X射线或 γ 射线在质量为 dm 的空气中释放出的全部正、负电子，完全被空气所阻止时形成的同种符号离子的总电荷绝对值 dQ 与空气质量 dm 之比，称为照射量(exposure)。

$$X = dQ / dm$$



X或 γ 射线——单位质量的空气——产生的电荷值

国际制单位： $\text{C}\cdot\text{kg}^{-1}$ （库仑·千克⁻¹）

旧的专用单位：R（伦）、mR或 μR

$$1 \text{ C}\cdot\text{kg}^{-1} = 3.876\times 10^3 \text{ R}$$

照射量率

定义：单位时间内的照射量称为照射量率 (exposure rate)。

$$\dot{X} = dX / dt$$

国际制单位： $\text{C}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ （库仑·千克⁻¹·秒⁻¹）

旧的专用单位： $\text{R}\cdot\text{s}^{-1}$ （伦·秒⁻¹）、 $\text{mR}\cdot\text{s}^{-1}$ 或 $\mu\text{R}\cdot\text{s}^{-1}$

二、吸收剂量

定义：单位质量被照射物质吸收任何电离辐射的平均能量 (absorbed dose)。

$$D = d\bar{E} / dm$$

国际制单位：Gy（戈瑞），1Gy即1kg被照射物质吸收1J的辐射能量（ $1\text{Gy}=1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）

旧的专用单位：rad（拉德）

$$1\text{ Gy} = 100\text{ rad}$$

吸收剂量率

定义：单位时间内的吸收剂量称为吸收剂量率 (absorbed dose rate)。

$$\dot{D} = dD / dt$$

国际制单位：Gy·s⁻¹（戈瑞·秒⁻¹）

旧的专用单位：rad·s（拉德·秒⁻¹）

三、当量剂量

定义：当量剂量 (equivalent dose) 是反映各种射线或粒子被吸收后引起的生物效应强弱的电离辐射量。



$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$$

W_R 为辐射权重因子，与辐射类型及能量有关，无量纲；
 $D_{T,R}$ 称器官剂量，是辐射R在组织或器官T中产生的平均吸收剂量。

国际制单位：Sv（希沃特）， $1\text{Sv}=1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$

旧的专用单位：rem（雷姆）

$$1\text{Sv}=100\text{rem}$$

表2—5 辐射权重因子 w_R ,适用于外照射和内照射 [ICRP—60,1991表1]

辐射类型和能量范围	w_R
光子, 所有能量	1
电子和介子, 所有能量	1
中子, 能量 <10 keV	5
10 keV ~ 100 keV	10
> 100 keV ~ 2 MeV	20
> 2 MeV ~ 20 MeV	10
> 20 MeV	5
质子(反冲质子除外)能量 >2 MeV	5
α 粒子, 裂变碎片, 重核	20

四、有效剂量

定义：各组织或器官的当量剂量与相应组织权重因子的乘积的总和称为有效剂量 (effective dose)。

$$H_E = \sum_T W_T \cdot H_T$$

W_T 为组织权重因子，与器官或组织有关，与辐射种类和能量无关，无量纲。

国际制单位：Sv（希沃特）， $1\text{Sv}=1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$

旧的专用单位：rem（雷姆）

$$1\text{Sv}=100\text{rem}$$

表2—6 组织权重因子 w_T [ICRP—60, 1991表2]同时列出 ICRP—26(1977)使用的 w_T 供做比较

组织或器官	w_T (1991)	w_T (1977)
性腺	0.20	0.25
红骨髓	0.12	0.12
结肠	0.12	—
肺脏	0.12	0.12
胃	0.12	—
膀胱	0.05	—
乳腺	0.05	0.15
肝脏	0.05	—
食管	0.05	—
甲状腺	0.05	0.03
皮肤	0.01	—
骨表面	0.01	0.03
其余	0.05	0.30

第二节 作用于人体的放射源

人体受到的辐射来源 { 天然辐射源
人工辐射源

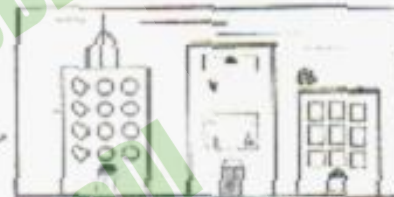
天然辐射：宇宙射线
地球辐射

人工辐射：医疗照射
其它生产活动

食物和饮料



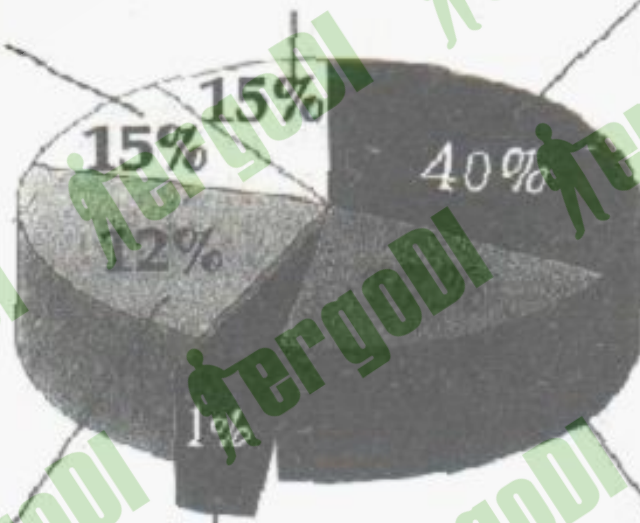
空气中的天然放射性



陆地

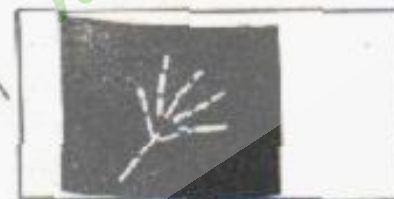


从石头及泥土中
放射性物质所产生的
直接辐射



来自石头、泥土
及建筑物料
的放射性气体

医疗



主要来自 X 射线

宇宙



来自外太空的宇宙
射线

其他



来自高空飞行、
核电站排放等

一、天然本底辐射

宇宙射线

高能粒子流：质子、 α 粒子、重离子

光子、电子、质子、中子、 π 介子

地球辐射

三个天然放射系

单独存在的天然放射性核素： ^{40}K 、 ^{14}C

本底当量时间

时间概念

病人受到的辐射剂量 \longleftrightarrow 天然本底辐射剂量

二、医疗照射

在人工辐射中居于首位

放射诊断和核医学引起的集体剂量是天然辐射的**20%**

年有效剂量**0.54mSv**

三、其它人工辐射

火力发电释放氡及其子体

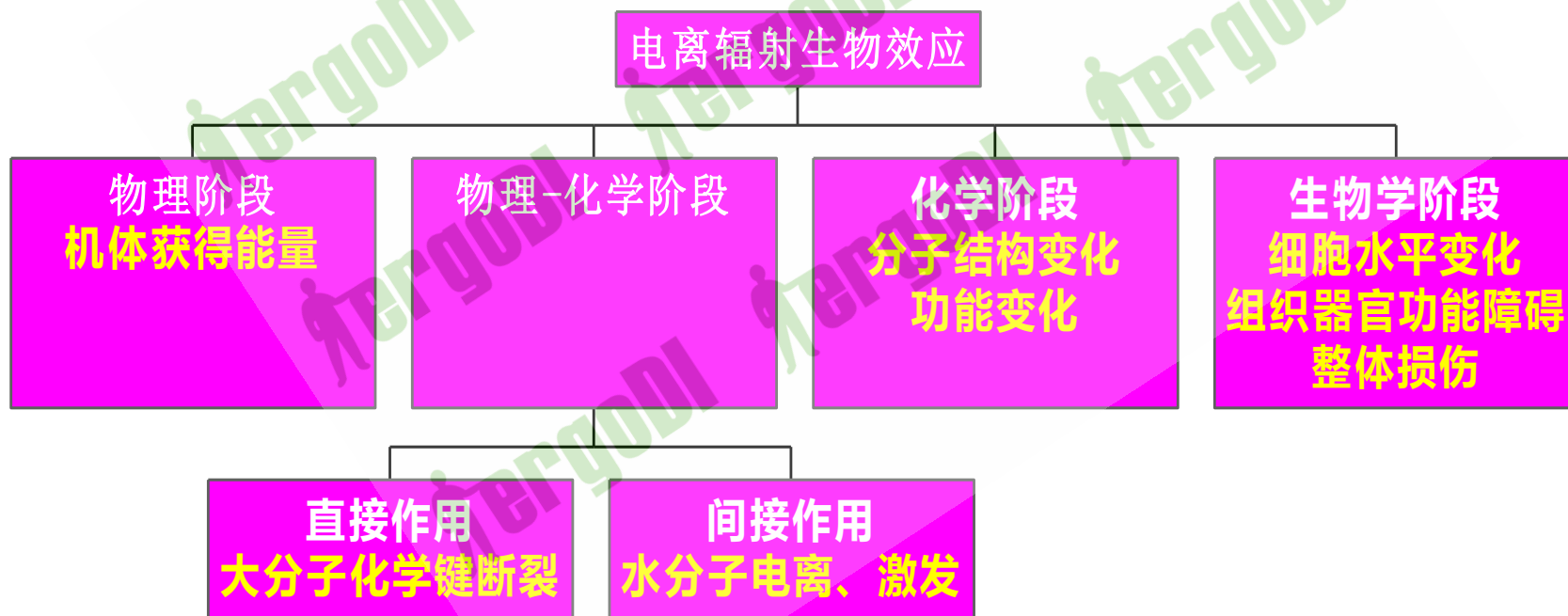
工业产品、生活用品

核动力生产、核爆

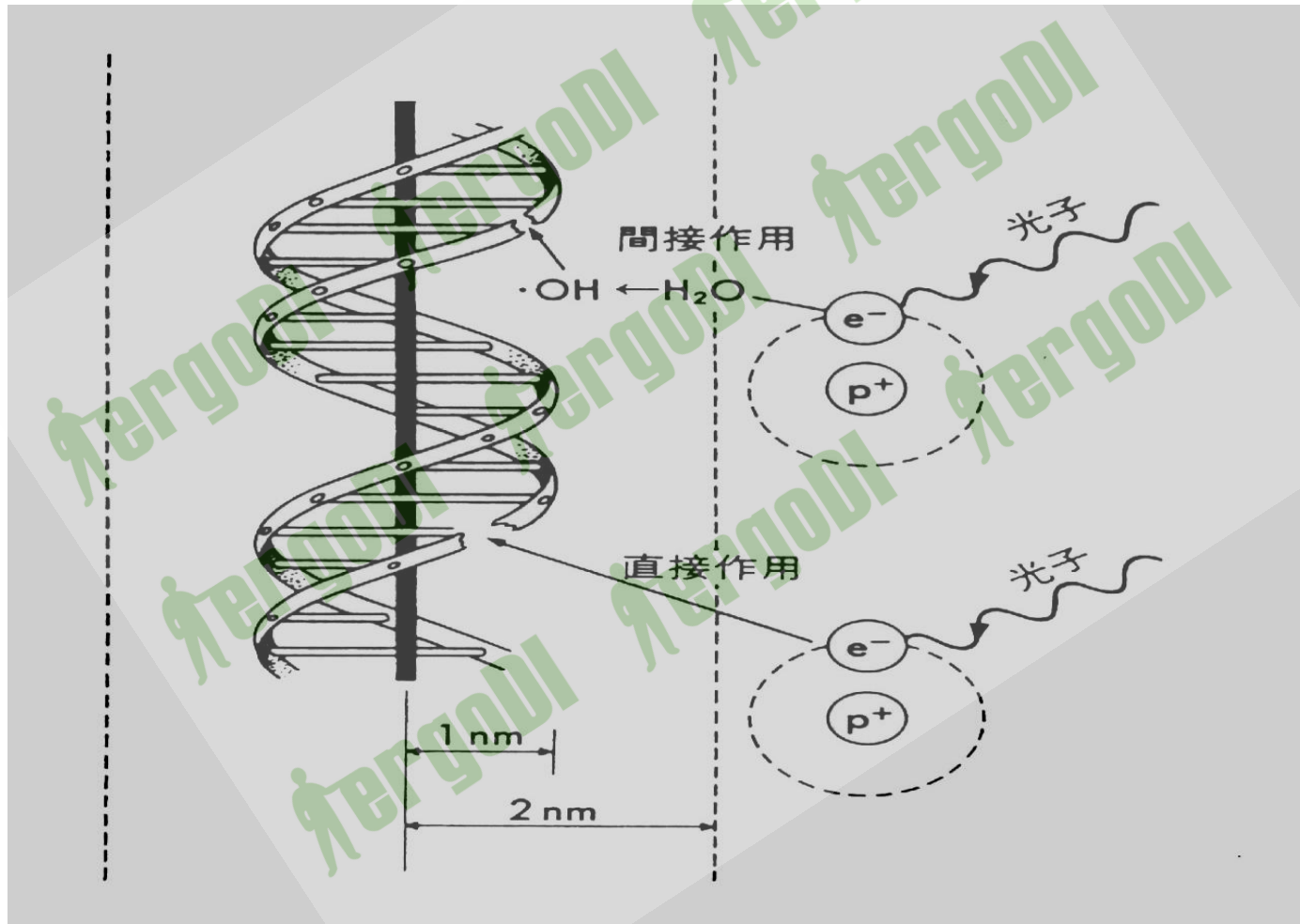
第三节 电离辐射生物效应

定义：电离辐射将能量传递给生物机体后引起的机体的任何变化和反应，统称为电离辐射生物效应。

一、作用机理



电离辐射对生物大分子的电离作用是产生辐射生物效应的基础



二、辐射损伤

DNA由两条螺旋排列的核苷酸链组成，核苷酸含有：

脱氧核糖

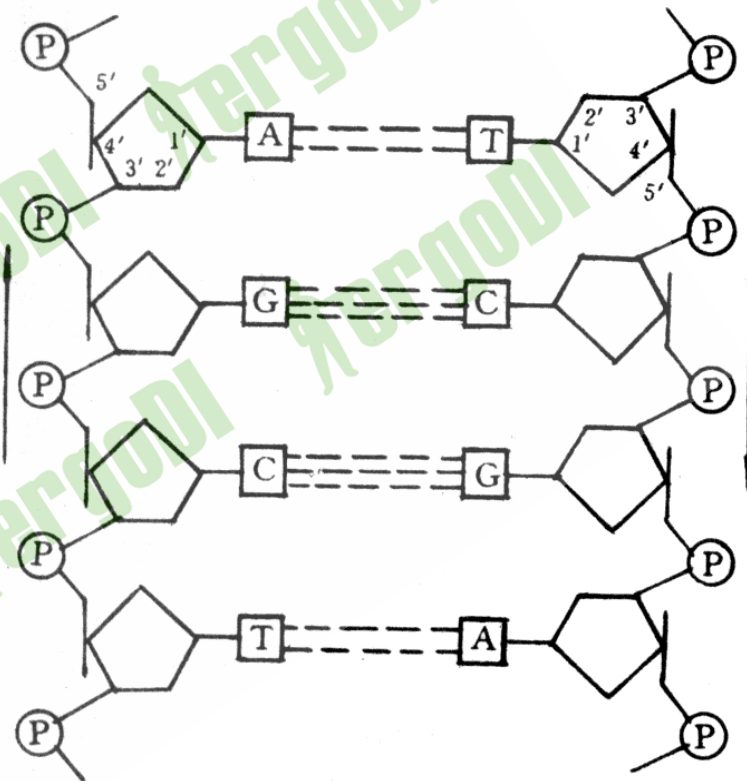
磷酸 (P)

碱基：腺嘌呤 (A)

鸟嘌呤 (G)

胸腺嘧啶 (T)

胞嘧啶 (C)

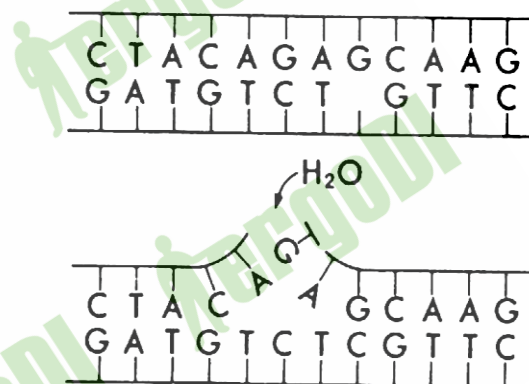


DNA损伤（分子水平）

II 单链断裂:

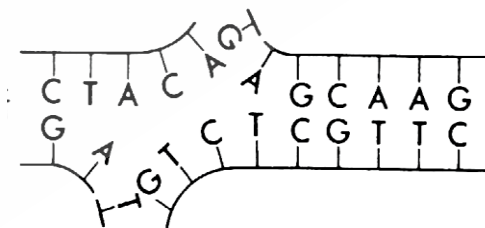
⇒ 可以实现无差错

修复



II 双链断裂:

⇒ 错误修复



基因突变和染色体畸变

遗传物质DNA发生可遗传的变异称为**突变(mutation)**。

引起突变的物质→**诱变剂(mutagen)**

物理诱变剂→电离辐射

化学诱变剂→某些环境污染物

辐射引起的DNA损伤伴有染色体数目或结构的异常时，称为**染色体畸变(chromosome aberration)**。

数目异常：单体型、三体型

结构异常：断片、双着丝粒体、着丝粒环、倒位、易位等

细胞死亡和细胞变异

间期死亡：大剂量照射时，处于分裂间期的细胞核遭到破坏
立即死亡

增殖性死亡：照射后，有丝分裂受到抑制，细胞增殖时死亡
受照一段时间后死亡

细胞变异：受照后没有发生细胞死亡
出现错误修复
错误信息传给后代

三、影响因素

与辐射有关的因素(物理因素)

- 1.照射剂量与剂量率
- 2.照射方式及射线种类
- 3.照射次数与照射面积
- 4.照射部位与几何条件

与受照机体放射敏感性有关的因素(生物因素)

- 1.生物种系
- 2.生物个体
- 3.同一个体的不同器官、组织和细胞

机体组织的放射敏感性分类

	高 度	中 度	低 度
组织	淋巴组织 胸腺 骨髓	性腺 胃肠上皮 皮肤 眼	骨 肌肉 结缔组织
细胞	淋巴细胞 胸腺细胞 原始红细胞 原始粒细胞 幼稚粒细胞 巨核细胞	生殖细胞 小肠隐窝上皮细胞 成纤维细胞 皮脂腺、汗腺细胞 角膜晶体细胞	软骨细胞 成骨细胞 肌细胞 结缔组织细胞

四、分类与应用

电离辐射所致生物效应的分类

依据效应发生的个体：

1. 躯体效应 (somatic effects)

定义：发生在受照者本人身上的效应

2. 遗传效应 (hereditary effects)

定义：发生在受照者后代身上的效应



依据效应发生的时期

1.潜伏期 (latent period):

从受到照射到临床上特定效应的发生所需的时间

2.早期效应 (early effects)

受到照射后数周之内发生的效应

3.晚发效应 (Late effects)

受到照射后数月以后发生的效应

辐射致癌的潜伏期

	最小潜伏期	中央值	最大潜伏期
白血病	2年	8年	40年
其他癌症	10年	16-24年	终生

ICRP Publ. 60(1990)

依据效应-剂量关系分类

确定性效应

(deterministic effects)

有剂量阈值

效应的严重程度
与剂量成正比

随机性效应

(stochastic effects)

无剂量阈值

发生几率与剂量
成正比

严重程度与剂量无关

应用

可用性

- 1.某些肿瘤和常见病治疗
- 2.抗生素的育种
- 3.疫苗生产
- 4.医疗器械消毒等

可防性

消除和控制辐射生物效应的发生因素，可预防其对机体的危害。

第四节 放射卫生防护

一、目的和基本原则

辐射防护的目的:

- (1) 防止确定性效应的发生;
- (2) 减少随机性效应的发生率, 使之达到可以接受的水平。



辐射防护的基本原则

(1) 实践的正当化
(justification of practice)

(2) 防护的最优化
(optimization of radiation protection)
可合理做到的尽量低的原则(ALARA:
as low as reasonably achievable)

(3) 个人剂量限值 (dose limits)

剂量限值

受照群体	照射条件	剂量限值
放射 工作 人员	全身	20mSv(5年平均, 但其中任何一年 <50 mSv)
	眼晶体	150 mSv
	其他单个器官或组织	500 mSv
	孕妇	2 mSv/余下妊娠期间内照射 $<1/20$ ALI
	有计划的特殊照射	一次 100 mSv
一般公众	全身	1mSv (特殊情况下 5 mSv, 5年均值 <1 mSv)
	眼晶体	15 mSv
	皮肤	50 mSv

二、放射卫生防护措施

技术措施

外照射防护三原则

(1) 时间防护

累积剂量与受照时间成正比

措施：充分准备，减少受照时间

(2) 距离防护

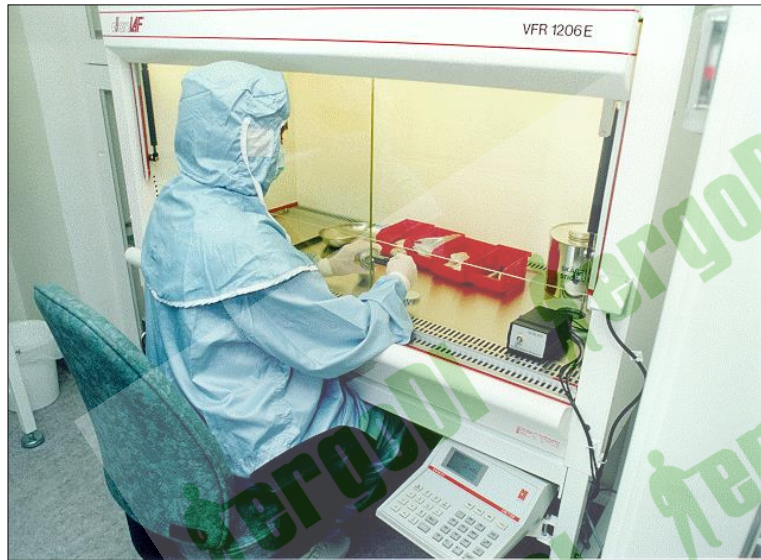
剂量率与距离的平方成反比

措施：远距离操作

(3) 屏蔽防护

屏蔽材料选择的一般原则

屏蔽： 工作台面屏蔽、玻璃瓶屏蔽、注射器屏蔽

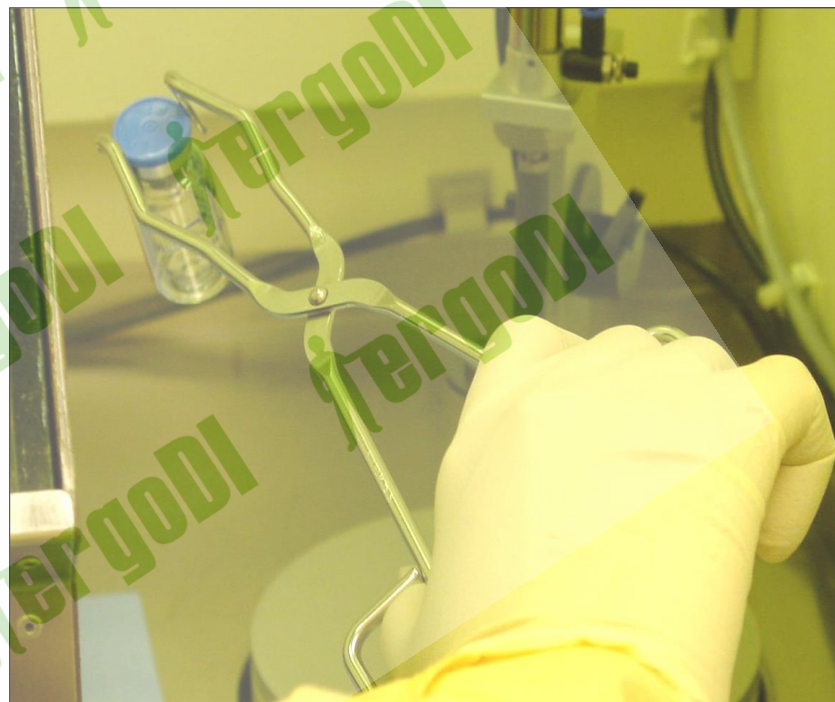
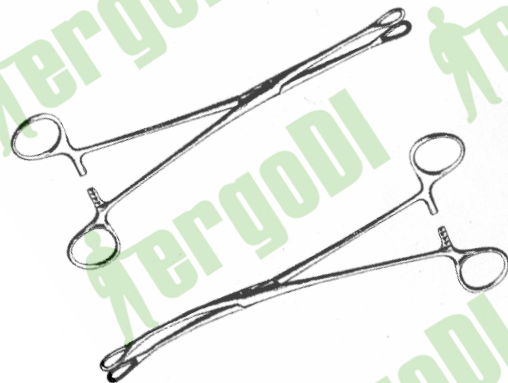
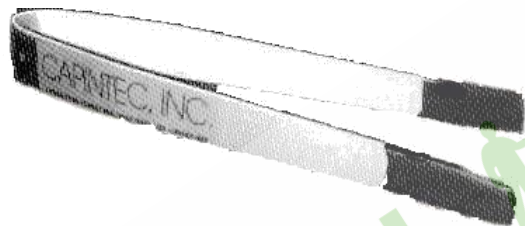


10 GBq ^{99m}Tc in 10 ml

没有屏蔽	2mm 钨 (mSv/h)
0.4	0.004
0.8	0.01
4.2	0.04
22	0.16
8	6

400 MBq ^{99m}Tc in 1 ml

距离：镊子和钳子



内照射防护

(1) 预防性措施

开放型工作场所设计、选址、排水、排污符合法规
工作场所划分控制区和监督区

(2) 安全操作技术

安全操作要求
个人防护

(3) 去污技术

一般污染的去除
事故性污染的去除
体表去污

(4) 放射性废物处理

比活度低的放射性废水、短半衰期废物
长半衰期废物、放射性气体和气溶胶

核医学工作场所分级、分区

按放射性核素的操作量大小分类

日等效最大操作量 = $\frac{\text{放射性核素的实际最大日用量} \times \text{核素毒性组别修正因子}}{\text{操作性质修正因子}}$

表 2.4 放射性工作场所分级

分 级	等效日操作量 (Bq)
甲 级	$> 4 \times 10^9$
乙 级	$2 \times 10^7 - 4 \times 10^9$
丙 级	豁免活度值 - 2×10^7

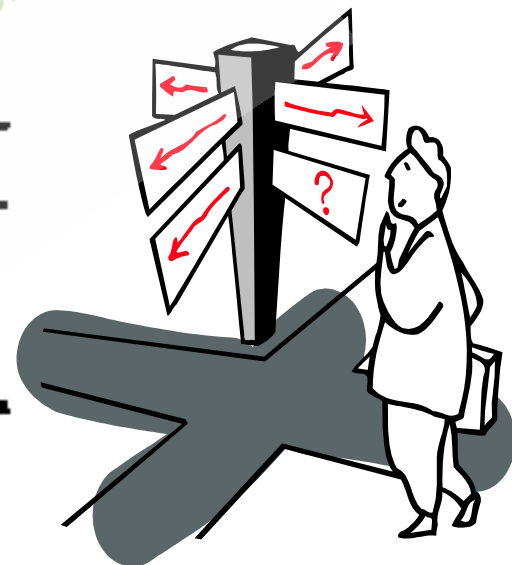


表 2.5 放射性核素毒性组别修正因子

核素毒性组别	毒性修正因子
极毒组	10
高毒组	1
中毒组	0.1
低毒组	0.01

表 2.6 操作方式和放射性源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平 较低的固体	液体、溶液、 悬浮液	表面有污染 的固体	气体、蒸汽、粉末、压 力很高的液体、固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

工作场所分区

表 2.11 核医学工作场所分区

分 区	年可能受照剂量	举 例
控制区	可能超过年个人限值的 3/10	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
监督区	不超过年个人限值的 3/10	标记实验室、显像室、诊断病人的床位区、 放射性贮存区、放射性废物贮存区

放射性工作场所控制区的标志



第四节 核医学工作人员和患者受照剂量比较

一、临床核医学检查与其它检查项目比较

核医学：脑、骨、心、肾超过5.0mSv

平均3.6mSv

CT、X射线：远大于相应部位核医学检查

核医学脑显像 $\approx 4.7\%$ 头部CT

核医学肺灌注 $\approx 55\%$ 胸部摄影

3.4% 胸透

二、临床核医学检查与天然本底辐射比较

核医学：每次平均3.6mSv

天然本底辐射：年平均3.7mSv

三、核医学工作人员所受剂量

表 2-10 历年核医学科工作人员受照剂量水平

年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
人均有效当量剂量 (mSv/a)	0.90	0.84	0.62	0.93	1.02	1.04	0.81	0.31	0.84	1.26

第五节 核医学诊断的医疗照射指导水平

GB18871-2002

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

第七章附录