

GBZ

中华人民共和国国家职业卫生标准

GBZ 96—2011
代替 GBZ 96--2002

内照射放射病诊断标准

Diagnostic criteria for radiation sickness from internal exposure

2011-11-23 发布

2012-05-01 实施

中华人民共和国卫生部 发布

前 言

根据《中华人民共和国职业病防治法》制定本标准。

本标准代替 GBZ 96—2002《内照射放射病诊断标准》。

本标准与 GBZ 96—2002 相比,主要修改如下:

- 参考了新近发生的 ^{210}Po 内照射放射病致死案例;
- 增加了致严重确定性效应的放射性核素阈值摄入量;
- 对选择性分布放射性核素的特征性效应做了更多的举例;
- 充实了内照射放射病的治疗和处理原则;
- 增加了附录 A 和附录 B。

本标准由卫生部放射性疾病诊断标准专业委员会提出。

本标准由中华人民共和国卫生部批准。

本标准起草单位:中国医学科学院放射医学研究所、天津医科大学。

本标准主要起草人:姜恩海、邢志伟、白光、杜建颖、樊飞跃、赵欣然。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB 8284—1987;
- GBZ 96—2002。

内照射放射病诊断标准

1 范围

本标准规定了放射性核素过量摄入所致内照射放射病的诊断标准及处理原则。

本标准适用于事故照射、应急照射后受到内照射的放射工作人员。在医疗照射以及核战争等情况下的受照人员,也可参照此标准进行诊断和处理。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 16148 放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范

GB/T 18197 放射性核素内污染人员医学处理规范

GBZ 97 放射性肿瘤病因学判断标准

GBZ 99 外照射亚急性放射病诊断标准

GBZ 104 外照射急性放射病诊断标准

GBZ/T 163 外照射急性放射病的远期效应医学随访规范

GBZ/T 217 外照射急性放射病护理规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

确定性效应 **deterministic effect**

辐射所致效应的严重程度随剂量增高而加重的效应,此效应存在阈值。辐射引起机体损伤致永久性生活质量降低、严重危及生命甚至死亡称此效应为严重确定性效应。

3.2

内照射放射病 **radiation sickness from internal exposure**

内照射引起的全身性疾病。它包括内照射所致的全身性损伤和该放射性核素沉积器官的局部损伤。

3.3

放射性核素吸收类别 **type of absorption for radionuclides**

依据 ICRP 新肺模型(1994),将吸入放射性核素以肺廓清速度分为肺快速(F)、中速(M)和慢速(S)三个类别。

3.4

靶器官或组织 **target organ or tissue**

以研究辐射生物效应为目的而指定的吸收辐射的器官或组织。

3.5

源器官或组织 **source organ or tissue**

放射性核素入体后,含有显著活度放射性核素的器官或组织,也可以是全身。

3.6

通用参考水平 generic reference level, GRL

在辐射应急情况下,用于采取防护和其他行动的参考水平,以剂量表示。

3.7

器官剂量 organ dose, D_T

人体特定器官或组织 T 的平均吸收剂量,见式(1):

$$D_T = \frac{1}{m_T} \int_{m_T} D_{dm} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

m_T —— 组织或器官的质量;

D —— 在质量单元 dm 中的吸收剂量。

3.8

相对生物效能 relative biological effectiveness, RBE

对特定组织或器官(T)而言, $RBE_{R,T}$ 是产生特定生物效应的参考辐射吸收剂量,与产生相同生物效应的关注辐射(R)吸收剂量之比。

3.9

RBE-加权吸收剂量 RBE-weighted absorbed dose, AD_T

器官或组织中吸收剂量与给定辐射 RBE 的乘积,见式(2):

$$AD_T = \sum_R D_{R,T} \times RBE_{R,T} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$D_{R,T}$ —— 组织 T 中来自 R 的器官剂量;

$RBE_{R,T}$ —— R 在特定组织或器官(T)中,产生特定效应的相对生物效能。RBE-加权吸收剂量的单位是 J/kg,专用名称是戈瑞-当量(Gy-Eq)。

用 RBE-加权吸收剂量,来量度辐射对参考人器官或组织产生确定性健康效应的生物效能差异。

3.10

阈值摄入量(I_{05}) threshold value of intake of radionuclides

依据内照射致确定性效应危险模型,计算出的足以使 5% 受照人员发生严重确定性健康效应的摄入量。

3.11

待积 RBE-加权吸收剂量 committed RBE-weighted absorbed dose, $AD_T(\tau)$

其定义见式(3):

$$AD_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} AD_T(t) dt \dots\dots\dots (3)$$

式中:

t_0 —— 摄入时间;

$AD_T(t)$ —— 在 t 时刻,器官和组织 T 中的 RBE-加权吸收剂量率;

τ 为摄入放射性物质后经过的时间。

4 诊断依据

4.1 诊断原则

放射性核素一次或较短时间(数日)内进入人体,或在相当长的时间内,放射性核素多次、大量进入

人体,体外直接测量(全身计数器)器官、组织或间接测量(由测量尿、粪、空气和其他环境样品分析推算)证实,放射性核素摄入量达到或超过阈值摄入量(见表1和附录A)。

表1 放射性核素摄入导致严重确定性健康效应的剂量阈值

效应	靶器官	照射类型	RBE	30 d 待积 RBE-加权吸收剂量 $AD_{T,05}(\Delta^*)/\text{Gy-Eq}$
造血损伤	红骨髓	α 辐射体吸入或食入	2	0.5~8
		β/γ 辐射体吸入或食入	1	
肺炎	肺(肺泡)	α 辐射体(S或M型)吸入	7	30~100
		β/γ 辐射体(S或M型)吸入	1	
消化道损伤	结肠	α 辐射体吸入或食入	—	—
		β/γ 辐射体吸入或食入	1	20~24
急性甲状腺炎	甲状腺 ^a	吸入或食入放射性核素	0.2~1	60
甲状腺功能衰退				2

^a 甲状腺产生确定性效应,外照射的效能比¹³¹I内照射高出5倍,所以¹³¹I的RBE为0.2,而其他放射性核素的RBE为1。

^b Δ 为待积RBE-加权吸收剂量的时间段,表中 $\Delta=30$ d。

4.2 临床表现

内照射放射病的临床表现,以与外照射急性或亚急性放射病相似的全身性表现为主;因放射性核素动力学特征不同而往往伴有以该放射性核素靶器官和源器官的损害,并具有放射性核素初始人体部位和经过的代谢途径(如肺、肠道和肾脏)的损伤表现。

4.2.1 内照射放射病初期反应症状不明显或延迟,恶心、呕吐和腹泻仍为其主要临床表现。但放射性核素以吸入途径入体时,一般无腹泻出现。呕吐出现时间和严重程度与放射性核素摄入量密切相关。

4.2.2 均匀或比较均匀地分布于全身的放射性核素(如³H,¹³⁷Cs)引起的内照射放射病,其临床表现和实验室检查所见与急性或亚急性外照射放射病相似,以造血障碍、骨髓功能低下为主要临床表现。极期发生较晚,病程迁延。

4.2.3 选择性分布的放射性核素引起的内照射放射病呈现造血功能障碍等急性或亚急性外照射放射病相似的全身性表现,还伴有以靶器官及(或)源器官的损害为特征性临床表现。源器官和靶器官的损害因放射性核素种类、廓清速率和人体途径而异。

4.2.3.1 吸入M和S类放射性核素多出现放射性肺炎的症状。食入M和S类放射性核素多出现肠道损伤的症状。

4.2.3.2 稀土类放射性核素以及在体内形成胶体的核素(如钚),易诱发网状内皮系统(如肝、脾和肾等器官)的损伤。

4.2.3.3 镭和锶是碱土族元素的代表,均匀沉积于骨骼,导致骨质疏松、骨坏死、病理性骨折、贫血和骨髓功能障碍。

4.2.3.4 因放射性碘甲状腺的高度选择性分布,引起甲状腺功能低下、甲状腺炎等甲状腺病变。

4.2.3.5 吸入钚、镅、锔等锕系放射性核素可出现肺部损伤的症状。核素吸收入血,则主要沉积于骨表面,引起骨质改变和造血功能障碍。

4.2.3.6 放射性铀则主要聚集于胰腺,易引起胰腺损伤。

4.3 鉴别诊断

以全血细胞减少、胃肠紊乱、脱发、多器官损伤和全身衰弱为主征的其他疾病应除外。如急性传染病、胃肠道感染、药物、重金属和细胞毒剂中毒,系统性红斑狼疮、再生障碍贫血等。

4.4 实验室检查

4.4.1 常规检查,包括血常规、淋巴细胞微核率和染色体畸变率检查等。

4.4.2 放射性核素检测,包括体外测量和生物样品分析。

4.4.3 针对放射性核素在体内选择性蓄积的脏器,做相应的脏器功能检查。

5 处理原则

5.1 过量放射性核素摄入人员,参见 GB/T 18197 进行处理。特别是要在第一时间进行鼻咽腔含漱、催吐、洗胃和及时服用放射性核素阻吸收药物。

5.2 怀疑超过放射性核素阈值摄入量的人员,主动征得辐射防护人员的配合,及时留取用于放射性核素摄入量估算的生物样品,并尽快做出内污染放射性核素种类和受照剂量的初步估算,以指导医疗救治工作。可参见 GB/T 16148。

5.3 参见 GBZ/T 217 对受照人员进行特殊护理;加强营养,注意休息,注意心理护理。参见 GBZ 99 和 GBZ 104 注意观察病情,特别要注意是否有恶心、呕吐和腹泻的症状和出现时间。综合对症治疗。

5.4 对怀疑放射性核素摄入可能达到阈值摄入量的人员,除短寿命放射性核素外,要尽早开始放射性核素加速排出治疗。

5.5 内照射放射病患者康复后,参见 GBZ/T 163 和 GBZ 97,进行长期的医学追踪检查。

5.6 放射性核素内污染和内照射放射病的处理,在应急计划中,应根据各单位具体情况,针对放射性核素(见附录 B)写入技术的、设备的和药物的储备。

附录 A

(规范性附录)

关于放射性核素内照射致严重确定性效应的剂量阈值

A.1 为规范制定通用的参考水平的需要,IAEA 和 WHO 联合编写出版物,依据放射性核素内照射致严重确定性效应的危险模型,计算出 750 种放射性核素的阈值摄入量(I_{05})和 35 种器官和组织的待积 RBE-加权吸收剂量值 $AD_{T,05}(\Delta)$,在此基础上给出放射性核素内照射致严重确定性效应的剂量阈值。

本标准引用其作为放射性核素致内照射放射病的受照剂量下限值。

A.2 放射性核素内照射致严重确定性效应指致死性的效应,如骨髓造血障碍(靶组织为红骨髓)、肺炎(靶器官为肺)和消化系统综合征(靶器官为结肠),和导致降低生活质量的效应,如甲状腺功能低下和甲状腺炎。

A.3 ICRP 指出:在可以引发确定性效应的事件和事故情况,应对组织或器官的吸收剂量和剂量率进行估算,并考虑剂量-响应关系,以评价超过剂量阈值时可能发生的辐射效应。在涉及高 LET 辐射(如 α 粒子)事故中,适用于随机效应的辐射权重因子(W_R)不适用于确定性效应,此时应采用与确定性效应相关的相对生物效能(RBE)值。IAEA 和 WHO 联合编写出版物遵循这一原则,确立了放射性核素内照射致严重确定性效应剂量估算和评价程序。

A.4 IAEA 和 WHO 推荐用器官或组织的待积 RBE-加权吸收剂量评价放射性核素内照射致严重确定性效应,其剂量估算和评价程序示意如下:

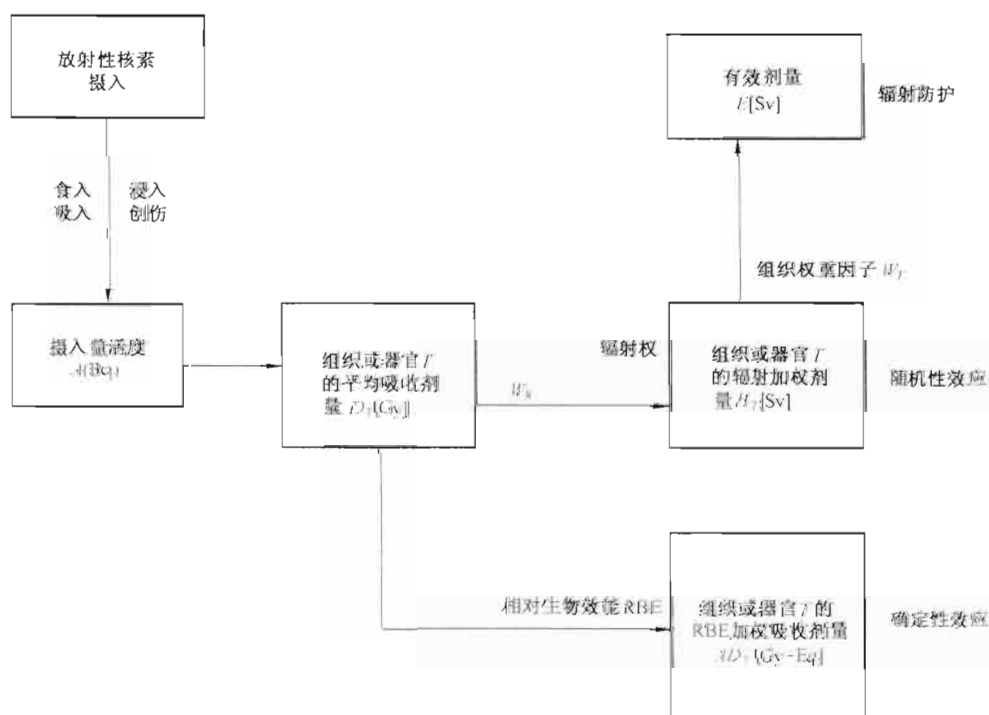


图 A.1 放射性核素内照射剂量估算程序

A.5 阈值摄入量(I_{05})是根据放射性核素内照射致严重确定性效应的危险模型计算出的,使 5% 的受照人员发生严重确定性健康效应,而吸入或食入的放射性核素的量。显而易见,放射性核素阈值摄入量 I_{05} 是作为放射性核素致内照射放射病的受照剂量下限值的理想选择。但是,由于放射性核素的物理化

学特性和相应的效应性质的差异,导致同一种放射性核素阈值摄入量 I_{05} 差异甚大,例如,各种放射性核素引起肺炎的值摄入量 I_{05} 有三个数量级的差异。

A.6 有必要使用在 Δ 时间内的待积 RBE-加权吸收剂量值 $AD_{T,05}(\Delta)$ 来代替阈值摄入量 I_{05} 。即根据在 Δ 时间(一般取 Δ 为 30 d)内,摄入任何相关放射性核素的阈值量 I_{05} 计算出来 $AD_{T,05}(\Delta)$,实际计算表明, $AD_{T,05}(\Delta)$ 范围很窄,例如,各种放射性核素引起肺炎的 $AD_{T,05}(\Delta)$ 值仅有 3 倍的差异,因此,用待积 RBE-加权吸收剂量值 $AD_{T,05}(\Delta)$ 作为阈值摄入量 I_{05} 的保守估计值,是理想的选择。

A.7 辐射生物效能 RBE 与辐射的性质、照射的器官或组织、累积效应和剂量率等因素有关。在表 A.1 中列出了在本标准中引用阈值摄入量用到的 RBE 值。

表 A.1 常见辐射的 RBE 值

放射性	肺	红骨髓
光子(γ 线和 X 线)	1	1
正、负电子,包括 β^- 和 β^+ 粒子	1	1
α 粒子	7	2

A.8 某些放射性核素的年摄入量限值(ALI)、内照射致红骨髓产生造血综合征所需的摄入量(I_{05})及其待积 RBE-加权吸收剂量 $AD_{\text{红骨髓},05}(\Delta=30\text{ d})$ 示于表 A.2。

表 A.2 放射性核素内照射致红骨髓产生造血综合征所需的摄入量(I_{05})及其待积 RBE-加权吸收剂量 $AD_{\text{红骨髓},05}(\Delta=30\text{ d})$

放射性核素	I_{05}/MBq	$AD_{\text{红骨髓},05}(\Delta=30\text{ d})/\text{Gy-Eq}$	摄入途径
^{14}C	2.7×10^1	6.2	食入
^{32}P	1.2×10^5	7.7	食入
^{35}S	2.3×10^1	5.6	食入
^{65}Zn	5.6×10^5	4.1	食入
^{75}Se	1.0×10^1	5.9	食入
^{90}Sr	4.4×10^2	1.7	食入
^{99}Mo	9.3×10^{13}	5.7	食入
^{137}Cs	1.8×10^4	4.2	食入
^{204}Hg	9.3×10^4	6.8	食入
^{210}Po	2.8×10^2	6.4	食入
^{232}U	1.3×10^2	1.5	吸入
^{238}Pu	20	0.27	吸入
^{241}Am	23	0.17	吸入
^{244}Cm	28	0.22	吸入

A.9 有关吸入放射性核素不同空气动力学直径(AMAD)的 S 和 M 型气溶胶致肺炎的放射性核素阈值摄入量及其待积 RBE-加权吸收剂量示于表 A.3。

表 A.3 导致成人肺炎所需的 I_{05} 的放射性核素摄入量及其待积 RBE-加权吸收剂量 $AD_{肺,05}(\Delta)$

放射性核素 $T_{1/2}$	AMAD/ μm	S 型气溶胶			M 型气溶胶		
		I_{05}/MBq	$AD_{肺,05}$		I_{05}/MBq	$AD_{肺,05}$	
			$\Delta=30\text{ d}$	$\Delta=50\text{ a}$		$\Delta=30\text{ d}$	$\Delta=50\text{ a}$
^{239}Pu $2.41\times 10^4\text{ a}$	1	22	30	1 200	55	70	400
	5	39			96		
	10	82			190		
^{90}Sr 29.1 a	1	850	30	1 300	2 100	70	400
	5	1 600			3 700		
	10	3 100			7 300		
^{144}Ce 284.3 d	1	1 200	60	500	1 900	80	300
	5	2 100			3 300		
	10	1 600			6 600		
^{91}Y 58.2 d	1	4 400	90	300	5 600	100	200
	5	8 100			9 900		
	10	1 700			21 000		
^{90}Y 2.67 d	1	12 000	60	60	12 000	60	60
	5	20 000			23 000		
	10	45 000			49 000		

A.10 为避免摄入放射性核素导致严重确定性效应,指导应急行动给出通用参考水平(GRL),也以待积 RBE-加权吸收剂量值 $AD_{T,05}(\Delta)$ 表示,示于表 A.4。

表 A.4 应急行动的通用参考水平(GRL)

器官或组织	30 d 待积 RBE-加权吸收剂量 $AD_{T,05}(\Delta=30\text{ d})/\text{Gy}\cdot\text{Eq}$
红骨髓 ^a	铜系放射性核素,0.2 其他放射性核素,2
甲状腺 ^b	2
肺(肺泡区)	30
结肠	20

^a 铜系元素内照射造成的红骨髓剂量的动力学特征有别于其他放射性核素,铜系与非铜系放射性核素间的 $AD(\Delta)$ 值,差异会达到 50,而对其他靶组织差别不会超过 3,所以才把放射性核素分为两组。

^b 在摄入碲(Te)、碘(I)、铯(Cs)、铷(Rb)时,甲状腺是紧要器官。

附录 B

(规范性附录)

有关放射性核素的放射毒理学参数

放射性核素的毒理学参数见表 B.1。

表 B.1 有关放射性核素的放射毒理学参数

序号	放射性核素	半衰期		单位摄入量所致的待积有效剂量/(SV/Bq)				毒性分类	阻吸收治疗推荐药物	加速排出治疗推荐药物
		物理半衰期 T	有效半减期 Te	吸入		食入				
				类别	e(g) _{lm}	f _i	e(g)			
1	³ H	12.26 a	10 d	—	—	1.000	1.8×10 ⁻¹¹	低毒	强制饮水	强制饮水, 利尿剂
2	¹¹ C	64 d	12 d	—	—	1.000	5.8×10 ⁻¹⁰	中毒		DTPA
3	³² P	14.29 d	14 d	F M	8.0×10 ⁻¹⁰ 3.2×10 ⁻⁹	0.800	2.4×10 ⁻⁹	中毒	磷酸铝凝胶	磷酸钠
4	⁶⁰ Co	5.27 a	117 d	M S	9.6×10 ⁻⁸ 2.9×10 ⁻⁸	0.100 0.050	3.4×10 ⁻⁹ 2.5×10 ⁻⁹	高毒	钴盐	DTPA, 葡萄糖酸钴
5	⁷⁵ Se	120 d	61 d	F M	1.0×10 ⁻⁸ 1.4×10 ⁻⁸	0.800 0.050	2.6×10 ⁻⁹ 4.1×10 ⁻¹⁰	中毒	—	DTPA
6	⁹⁰ Sr	29.1 a	29 a	F S	2.4×10 ⁻⁸ 1.5×10 ⁻⁷	0.300 0.010	2.8×10 ⁻⁹ 2.7×10 ⁻⁹	高毒	海藻酸钠	Sr, 氯化铵
7	^{99m} Tc	6.02 h	5 h	F M	1.2×10 ⁻¹¹ 1.9×10 ⁻¹¹	0.800	2.2×10 ⁻¹¹	低毒	吸附剂	过氯酸盐
8	¹²⁵ I	60.1 d	41.8 d	F	5.3×10 ⁻⁹	1.000	1.5×10 ⁻⁸	中毒	碘化钾	碘化钾
9	¹³¹ I	8.04 d	7.5 d	F	7.6×10 ⁻⁹	1.000	2.2×10 ⁻⁸	中毒	碘化钾	碘化钾
10	¹³⁷ Cs	30 a	70 d	F	4.8×10 ⁻⁹	1.000	1.3×10 ⁻⁸	中毒	普鲁士蓝	普鲁士蓝
11	¹⁴¹ Ce	284.3 d	243 d	M S	1×10 ⁻⁸ 4.9×10 ⁻⁸	5.0×10 ⁻³	5.2×10 ⁻⁹	中毒	海藻酸钠, 吸附剂	DTPA
12	¹⁹² Ir	74.0 d	74 d	F M	1.8×10 ⁻⁹ 4.9×10 ⁻⁹	0.010	1.4×10 ⁻⁹	中毒	—	—
13	²¹⁰ Po	138.4 d	37 d	F M	6.0×10 ⁻⁷ 3.0×10 ⁻⁶	0.010	2.4×10 ⁻⁷	极毒	抗酸剂, 吸附剂	二巯基丙磺酸钠
14	²²³ Ra	1.60E+03 a	44 a	M	3.2×10 ⁻⁸	0.200	2.8×10 ⁻⁷	极毒	海藻酸钠, 硫酸盐	Ca 盐, 氯化铵
15	²³⁵ U	7.04E+08 a	15 d	F M S	5.1×10 ⁻⁷ 2.8×10 ⁻⁶ 7.7×10 ⁻⁶	0.020 0.002	4.6×10 ⁻⁶ 8.3×10 ⁻⁸	低毒	吸附剂	碳酸氢钠, 喹胺酸
16	²³⁹ Pu	2406.6 a	50 a	M S	4.3×10 ⁻⁵ 1.5×10 ⁻⁵	5.0×10 ⁻¹ 1.0×10 ⁻² 1.0×10 ⁻³	2.3×10 ⁻⁷ 8.4×10 ⁻⁸ 4.9×10 ⁻⁸	极毒	抗酸剂, 吸附剂	DTPA
17	²⁴¹ Am	4.32E+02 a	45 a	M	3.9×10 ⁻⁵	3.0×10 ⁻¹	2.0×10 ⁻⁷	极毒	抗酸剂, 吸附剂	DTPA
18	²⁴² Cl	2.64 a	2.5 a	M	1.8×10 ⁻⁵	3.0×10 ⁻¹	9.0×10 ⁻⁷	极毒	抗酸剂, 吸附剂	DTPA

参 考 文 献

- [1] IAEA-TECDOC-1432. Development of an Extended Framework for Emergency Response Criteria: Interim Report for Comments. Vienna, 2005
- [2] 潘自强,周永增,周平坤,夏益华,等译校. ICRP 第 103 号出版物,国际放射防护委员会 2007 年建议书,北京原子能出版社,2008
-