

文章编号: 1001-098X(2003)03-0123-06

· 专家论坛 ·

## 核辐射事故的医学处理新进展

叶根耀

**摘要:** 内容仅涉及ARS(急性放射病)的临床诊治新进展: 1. 早期分类中强调的呕吐开始时间更多地与照射剂量率相关。2. 欧盟学者提出的神经血管(N1~4)、造血(H1~4)、皮肤(C1~4)和胃肠(G1~4)四系统的分级评估与综合评估——损伤等级(grading code, RC)概念有新意, 有利于ARS的预后判断和治疗措施的安排。3. IAEA/WHO组织专家写出的“如何辨认事故辐射损伤并作出初步反应”对“孤儿”放射源危害的辨认和正确处理有益。4. 有分类诊断意义的辐射生物剂量计。5. 对迁延性照射引起的外照射急性、亚急性和慢性放射病有进一步深入的认识。6. 支持治疗包括抗呕吐、止痛治疗、脑水肿治疗、营养、抗生素治疗等引起的感染的防治和输血治疗(浓缩血小板和浓缩红细胞)。7. 保守性皮肤损伤处理措施和手术。8. 造血生长因子的应用(刺激疗法)。9. HSCT(造血干细胞移植): 提出了事故性TBI(全身照射)后进行Allo-BMT(异基因骨髓移植)的适应证和禁忌证。10. 近年来实验犬和临床进展认为, non-ablative(非清髓性)外周血HSCT将是极重度以上放射病病人的最佳选择。

**关键词:** 急性放射病; 诊断; 治疗; 皮肤辐射损伤; 造血干细胞移植

**中图分类号:** R818.7 **文献标识码:** A

## The recent advance in the medical handling of radiation accidents

YE Gen-yao

(North Taiping Lu Hospital, Beijing 100039, China)

**Abstract:** This paper presents the recent advance in the clinical diagnosis and treatment of acute radiation sickness (ARS): 1. The starting time of vomiting, more related to the dose rate is emphasized in early triage. 2. The clinical grading corresponding to the damage to the neurovascular system(N1-4), haematopoietic system(H1-4), cutaneous system(C1-4)and gastrointestinal system(G1-4)and its integrator of grading code(RC1-4), suggested by European Commission scholars has new idea and also useful for the prognosis and management of ARS. 3. IAEA/WHO: "How to recognize accidental radiation injury and make preliminary response" is useful for the recognition and correct management of hazard from orphan radioactive source. 4. The radiation biodosimetry with significance for triage. 5. Further apprehension in the external protracted irradiation induced ARS, SARS and CRS. 6. Supportive therapy including anti-emetic, analgesic, brain edema therapy, adapted nutrition, antibiotic treatment in case of infection, and substitution therapy(thrombocyte concentratrates and erythrocyte concentrates). 7. Conservative skin treatment and surgery. 8. Haematopoietic growth factor(HGF) therapy (stimulation). 9. Haemopoietic stem cell transplantation(HSCT): indications and contra-indications. 10. Recent advance in the experimental dog model and clinical experience denotes that non-ablative PBSCT may be the best choice in accidental most severe ARS.

**Key words:** acute radiation sickness; diagnosis; treatment; skin radiation injury; haemopoietic stem cell transplantation

核能与核技术被广泛应用于医学、工业、农业和研究, 但由于操作失误、管理不善等原因,

核辐射事故仍时有发生。据 IAEA(国际原子能机构)统计, 自 1940~2002 年 2 月全球共有 423 起重大辐射事故, 涉及 133 840 人, 135 人因此致死。本文主要介绍近 5 年核辐射事故(见表 1)中涉及急性放射病(acute radiation sickness, ARS)的临床诊治新进展。

收稿日期: 2003-03-24

作者简介: 叶根耀(1922-), 男, 北京北太平路医院(北京, 100039)研究员, 主任医师, 主要从事放射病、血液病、<sup>131</sup>I 治疗和有关造血干细胞移植的临床研究。

表1 1994年后国外主要辐射事故

年份	地点	放射源	放射性摄入量	过度照射人数	死亡人数
1994	爱沙尼亚塔米库 <sup>[1,2]</sup>	<sup>137</sup> Cs 废物库房	2 100Gy(大腿)+4Gy(全身)	3	1
1995	俄罗斯莫斯科 <sup>[3]</sup>	<sup>137</sup> Cs 放射源	7.9±1.3Gy	1	1
1996	格鲁吉亚里罗 <sup>[4]</sup>	<sup>137</sup> Cs 放射源	局部	11	—
1996	哥斯达黎加 <sup>[5]</sup>	<sup>60</sup> Co 放射治疗	60%超剂量	115	13
1996	伊朗吉兰省 <sup>[6]</sup>	<sup>192</sup> Ir 放射照相	2-3Gy(全身)+100Gy(胸)	1	—
1997	俄罗斯 Sarov <sup>[7]</sup>	临界实验装置	5-10Gy(全身)+200-250Gy(手)	1	1
1998	土耳其 <sup>[8]</sup>	<sup>60</sup> Co	各种剂量,最高达3Gy(全身)	10	—
1999	秘鲁 <sup>[9]</sup>	<sup>192</sup> Ir 放射照相	达100Gy(局部),腿截肢	1	—
1999	日本东茨 <sup>[10,11]</sup>	临界实验装置	2.6-→20Gy	3	2
2000	泰国 <sup>[2]</sup>	<sup>60</sup> Co 放射源	病人1-病人4:2Gy(全身),局部严重	4	—
			病人5-病人8:>6Gy(全身),病人9-病人10	4,2	3
2000	埃及 <sup>[13]</sup>	<sup>192</sup> Ir 照射源	父7.5-8Gy,幼子5-6Gy(全身)	2	2
			妻、姐、长女3.5-4Gy(全身)	3	—
			长子、幼女3.5-4Gy(局部)	2	—
2001	巴拿马 <sup>[14]</sup>	<sup>60</sup> Co 放射源	8例死亡病例局部累积剂量69-140Gy	28	8

ARS 是核武器损伤和核辐射事故医学处理的重要环节,受到国内外学者重视。近年来基础医学、生物高新技术和临床治疗学的进展和相互渗透,加上不断发生的重大核事故的救治经验,如 CNB(切尔诺贝利)核电站事故(其中28人死亡)说明,平时辐射事故病人因照射方式各异,均匀或极不均匀,或以局部为主,短时间或迁延性,高

剂量率或低剂量率,常不似教科书上描述者典型,兹概述近年进展如下。

### 1 照后早期分类与应急处理

根据照后各型各度初期表现及1~2d内淋巴细胞数(尽量采用肾上腺皮质激素应用前数值)照后早期分类可概括如表2。

表2 急性放射病初期表现和受照剂量下限

分型(度)	初期表现	照后1~2d淋巴细胞数( $\times 10^9/L$ )	受照剂量下限(cGy)
骨髓型:			
轻度	乏力、不适,食欲稍差	1.2	100
中度	头昏,乏力,食欲减退,恶心,呕吐,白细胞数短暂上升后下降	0.9	200
重度	多次呕吐,可有腹泻,腮腺肿大,白细胞数明显下降	0.6	400
极重度	多次呕吐,腹泻,轻度腹痛,腮腺肿大,白细胞数急剧下降	0.3	600
肠型	频繁呕吐,严重腹泻,血水便,腹痛,血红蛋白升高	<0.3	1 000
脑型	频繁呕吐,腹泻,休克,共济失调,肌张力增强,定向障碍	<0.3	5 000

初期表现中,注意到呕吐开始时间、频度、腮腺肿大、腹泻等对各型ARS分度有鉴别价值。1986年的CNB(切尔诺贝利)核电站事故与上海1990年辐射事故经验均认为,呕吐开始时间(1~3h)不但与总剂量有关,更多地与照射剂量率有关。CNB核电站事故后,前苏联学者提出呕吐开始时间( $T_p$ ,以h表示)与剂量率 $p$ (Gy/h)关系式为: $T_p=2.48p^{-0.50}$ 。例如,该病人受照剂量率为 $10^4$ Gy/h,则呕吐开始时间 $T_p=2.48 \times 10^{-0.50}=0.78$ h。1990年,上海辐射事故的4例病人虽受照总剂量

分别为12、11、5.2和4.1Gy,由于受到短时间内一次性比较均匀的高剂量率( $0.2\sim 4.7$ Gy $\cdot$ min $^{-1}$ )的全身照射,均于1h内开始多次呕吐。

早期抗呕吐治疗中,5-HT<sub>3</sub>受体拮抗剂(如昂丹司琼、托品西隆,格尼西酮等)和多巴胺D<sub>2</sub>受体拮抗剂都有很高的止吐效能<sup>[15]</sup>。

恶心和呕吐很严重时,可给予5-HT<sub>3</sub>受体拮抗剂或联用糖皮质激素。使用后者时,应权衡其有效作用和副作用带来的风险(影响机体免疫和其他功能)<sup>[15]</sup>。

## 2 神经血管、造血、皮肤和胃肠四系统的分级评估与综合评估

欧盟学者 Gourmelon P(法)、Fliedner TM(德)、Hopewell JW(英)和 Griffith NM(法)等多人,分别根据各系统的病理生理、临床表现和预后,在其新著中提出的神经血管(N1~4)、造血(H1~4)、皮肤(C1~4)和胃肠(G1~4)四系统的分级评估与综合评估——损伤等级(grading code, RC)概念有新意<sup>[15]</sup>,有利于 ARS 的预后判断和治疗措施的安排。

## 3 如何辨认真实辐射损伤并作出初步反应

近年来,国际上注意到“孤儿(orphan)”放射源的危害,国内外都有这类惨痛经验教训。为此,WHO/IAEA 组织有关专家写出“如何辨认真实辐射损伤并作出初步反应”,以引导医生——主要是普通医生和医学生,在照射史不明或未考虑到接触放射源的情况下,避免误诊、误治。可疑病例取血查淋巴细胞 CA(染色体畸变),常可获得确诊。

## 4 有分类诊断意义的辐射生物剂量计

除淋巴细胞 CA、淋巴细胞微核率(细胞松弛素阻滞法)、荧光原位杂交(fluorescence in situ hybridization, FISH)、淋巴细胞次黄嘌呤磷酸转移酶(hypoxanthine phosphoribosyl transferase, HPRT)位点突变检测、GPA(血型糖蛋白)基因突变检测、TCR(T淋巴细胞受体)基因突变、电子自旋共振(electron spin resonance, ESR; 又称顺磁共振)技术外,国外一些单位经常提供培养的中国仓鼠细胞(M-CHO),通过早熟染色体凝集(premature chromosome condensation, PCC)技术(可在取血后 6h 得出结果)已在日本东茨临界事故中应用。美国、日本 2001 年资料报道<sup>[16]</sup>,大剂量照射后,大多数淋巴细胞阻滞在 G<sub>2</sub> 期,不能达到间接分裂,难以用常规 colcemid 阻滞法估算, PCC 技术虽可用于 >10Gy 照射,但 PCC 指数低。药物诱导的 PCC 已应用数年,calyculin 或 okadaic 酸是一种特殊的 1 类和 2A 类蛋白质磷酸脂酶的抑制剂,可使许多类细胞在细胞周期的任一期诱导出 PCC。因此,此法可在大剂量照射后采用生物剂量计估算。应用 50n mol/L calyculin, 可从细胞受 40Gy 以内  $\gamma$  射线照射后获得

足够高的 PCC 指数的染色体,在染色体畸变与照射量之间有良好的量效关系。精子数和质的变化可粗估性腺剂量;皮肤、毛发适于局部剂量估算;外周血 CD34<sup>+</sup>细胞、CFU-GM(粒-巨噬系集落刺激因子)形成试验反映干细胞损伤率<sup>[15]</sup>;Comet 试验检测 DNA 单、双链断裂<sup>[17]</sup>。

## 5 对迁延性外照射引起的急性、亚急性和慢性放射病有进一步认识

国内外有五起(1962 年墨西哥 <sup>60</sup>Co 源事故,1978 年阿尔及利亚 <sup>192</sup>Ir 源事故,1984 年摩洛哥 <sup>192</sup>Ir 源事故,1985 年我国牡丹江 <sup>137</sup>Cs 源事故和 1995 年俄罗斯莫斯科 <sup>137</sup>Cs 源事故)迁延性外照射引起的 SARS(亚急性放射病)。笔者于 1984 年提出将迁延性外照射分为两类:一类外照射时间较短,一周左右,如 1963 年我国三里庵事故,发生外照射 ARS;另一类外照射时间较长,数月以上,遂提出“外照射亚急性放射病”的概念。德国 WHO 核事故医学应急救援中心主任 Fliedner TM 教授认为,命名为急性放射病的亚急性型为好。

1995 年,俄罗斯学者 Baranov AE 等<sup>[3]</sup>报告,一例迁延性 <sup>137</sup>Cs 外照射达 5 个月引起 SARS,22 个月死于急性髓性白血病(M5),他们仍沿用慢性照射一词。作者详尽地报告了转变为急性髓性白血病(M5)的血液学过程,并认为 FISH 能比 G 分带骨髓间接分裂细胞中较早地找到第 7 号染色单体。实验犬的资料表明,剂量率超过 100mGy/d 时,将有 50% 发生急性髓性白血病,血液学过程一般分为四期。

## 6 支持治疗

### 6.1 药物治疗

止吐药物如前述 5-HT<sub>3</sub> 受体拮抗剂和多巴胺 D<sub>2</sub> 受体拮抗剂等。止痛治疗依据 WHO 的癌症病人治疗方案进行修改,为 3 级水平。如果第 3 水平的药物仍不足以止痛,可考虑联用地塞米松和精神抑制药(如异丙嗪、氟哌啶醇、左美吗嗪等)。脑水肿造成的颅内压升高是全身照射或大剂量局部照射后病人发生头痛和其他神经系统症状(如定向障碍、失去知觉等)的最大可能,地塞米松可以作为一类药物,还可以经静脉给 20% 的甘露醇和利尿药如速尿(40mg)<sup>[15]</sup>。

## 6.2 营养的补充

包括电解质和体液的补充。病人的状况较差时,采用肠外营养。经口补充营养的同时由外周静脉给予预制的全营养液可保证充足的蛋白质供应。全肠外营养时,需通过中央静脉给予预制的全营养液(需对每个病人的不同情况对肠外全营养方案进行适当修改)。需要通过细致的实验室检查评估肠外营养的效果,其中血清肌酐水平正常者,检查尿素含量可判断蛋白质的供应情况,肝功能障碍者需要分析氨的含量;血糖水平用以监控碳水化合物化合物的供应情况;血清甘油三酯水平用以监控体内脂肪的供应情况。肠外营养还要包括充足的维生素和微量元素,可用的主要营养成分有:谷氨酰胺、消胆胺(可整合胆汁中的胆酸)、硫酸铝等<sup>[9]</sup>。

## 6.3 感染的防治

按病情进行不同等级的保护性隔离措施,TEP(全环境保护)、超净技术适用于中度以上的骨髓型ARS。大量丙种球蛋白依病情需要输注;使用的各类新型抗生素包括抗真菌药(依曲康唑、二性霉素乙及其脂质体),抗病毒药(如无环鸟苷、丙氧鸟苷、膦甲酸盐)等。粒细胞悬液一般不主张应用。

## 6.4 出血的防治

血小板过低时,按病情输血小板悬液或TPO(血小板生成素)。

## 7 皮肤辐射损伤处理措施<sup>[10]</sup>和手术

### 7.1 全身极不均匀照射或局部大剂量照射时皮肤辐射损伤的处理

在受照后第一周的临床前期,用亚油酸霜、非萎缩性(non-atrophogenic)类固醇和抗组织胺。受照后8~60d的症状明显期,用局部或全身性类固醇(0.5~1.0mg/kg强的松类)以减少皮肤和肌肉脉管炎的发生。在亚急性期,使用抗生素防治细菌感染,在无禁忌证时使用肝素。受照60d以后的慢性期,干燥是症状之一,用亚油酸的软膏减轻初期皮肤渗出所致的体液丢失。维甲酸霜可清除局部和大片的放射性角化病。放射性纤维化的特征性表现是成纤维细胞产生的胶原纤维增多,如果不治疗,持续性皮肤纤维化可发展成溃疡。对此,全身和局部应用超氧化物歧化酶,全身应用己酮可可碱(pentoxifiline)、维生素E以及蛋白

酶的抑制剂治疗。

### 7.2 $\gamma$ -干扰素可抑制皮肤成纤维细胞产生胶原蛋白

小剂量 $\gamma$ -干扰素经6个月的治疗后可观察到皮肤的厚度变薄。放射性皮肤溃疡可用表面敷料——tetrachlorodecaoxide (TCDO) 治疗,促进肉芽生长和溃疡面上皮的再生。另外,还可使用水胶体敷料或血小板生长因子。最近,出现了一种由半渗透性纤维构成的新敷料,尚未进行系统性评价。Integra是一种半合成的皮肤替代物,已成功地用于覆盖坏死皮肤切除留下的大面积创面<sup>[11]</sup>。1999年日本东茨事故中,病人B采用同种尸源冷藏皮肤移植和培养了的自体皮肤移植,均植活<sup>[10]</sup>。

### 7.3 手术

1994年爱沙尼亚<sup>137</sup>Cs核辐射事故的6例病人中,有1例为极不均匀受照,其全身虽仅为4Gy,但股部受照2100Gy,因毒性物质吸收,于照后13d死于急性肾功能衰竭<sup>[1]</sup>。1996年,我单位收治1例<sup>192</sup>Ir核辐射事故病人,全身受照2.9Gy,右股部高达3738Gy,吸取前例教训,采取早期截肢和其他有力措施,救治成活。

## 8 造血生长因子的应用(刺激疗法)

20世纪80年代前半期出现的重组造血生长因子治疗辐射造血损伤,一般适用于大剂量放、化疗后或一次受10Gy以下全身意外照射的辐射事故病人体内仍残留少量具有增殖能力的造血干细胞的情况。照射后,造血细胞对造血生长因子的增殖反应性明显降低,其降低程度随照射剂量加大而增加,受照体内存在造血抑制物质,出现早、持续长,为造血生长因子治疗ARS提供了理论依据。除rhGM-CSF(人重组的粒细胞-巨噬细胞集落刺激因子)首先应用于1987年的巴西8例<sup>137</sup>Cs辐射事故病人,1989年萨尔瓦多3例、1990年以色列<sup>60</sup>Co辐射事故1例[同时作Allo-BMT(异基因骨髓移植),并用IL-3(白细胞介素3)]、1991年白俄罗斯<sup>60</sup>Co辐射事故1例(并用IL-3,此例全身比较均匀受照12~15Gy,国际上出现过应用造血生长因子还是造血干细胞移植的争论)。rhG-CSF(人重组的粒细胞集落刺激因子)用于1999年日本东茨临界事故3例。对于重度骨髓型ARS,特别是极重度骨髓型ARS,则以照后早期先用IL-11,

2~3d后继用G-CSF为妥。近来,SCF(干细胞生长因子)已进入临床II期试验,不久将应用于临床。

除造血细胞因子外,一些生长因子可能促进胃肠道上皮和(或)周围组织的修复。目前正在研究的生长因子有IL-11和KGF(角质生长因子)等。IL-11具有抗炎性作用,并伴有降低TNF- $\alpha$ (肿瘤坏死因子 $\alpha$ )和 $\gamma$ -干扰素的水平以及抑制NF- $\kappa$ B( $\kappa$ B核因子)的作用;IL-11和KGF都有利于降低GVHD(移植物抗宿主病)的发生<sup>[9]</sup>。

## 9 造血干细胞移植(HSCT)

迄今,尚无一例>10Gy高剂量率全身事故性ARS成活的临床报道。CNB核电站事故中,13例5.2~13.4Gy照后病人于4~16d进行了Allo-BMT,但其作用有限,并认为<9Gy一次性TBI(全身照射),造血损伤有可能恢复,因此提出了事故性TBI后进行Allo-BMT的适应证和禁忌证。

目前,HSC(造血干细胞)的来源途径有:(1)骨髓(可很快得到);(2)外周血(经动员后才能取得);(3)脐带血。

1999年日本东茨城事故的3例病人中,病人A受中子+ $\gamma$ 射线照射16~20Gy,进行HLA(人类白细胞抗原)分型相合外周血SCT(干细胞移植)及TPO、EPO(红细胞生成素)、G-CSF等治疗,于照后83d死亡;病人B受照6~10Gy,经HLA 5/6位点相合脐带血SCT及G-CSF等治疗,于照后210d死亡。这是同类照射剂量事故中活存最长的2例,为临床提供了许多有益的经验<sup>[10,11]</sup>。

## 10 近年来在实验犬模型和临床非清髓性(non-ablative) HSCT的成功经验

非清髓性外周血HSCT将是极重度以上放射病病人的较好选择。输入经G-CSF动员的HLA相合的外周血供者 $5 \times 10^6$  CD34<sup>+</sup>细胞/kg体重,CSP(环孢素A)和MMF(酶酚酸酯)分别自照前3d和照前1d用至照后100d和照后40d以形成混合性嵌合体 and 完全性嵌合体,有利于防止移植物排斥和GVHD<sup>[18]</sup>。

### 参考文献:

[1] 叶根耀. 爱沙尼亚发生一起辐射事故[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1995, 15: 215-216.

[2] 叶根耀. 爱沙尼亚辐射事故的补充资料[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1998, 18(2): 140-141.

[3] Baranov AE, Guskova AK, Davtian AA, et al. Protra-cted overexposure to a <sup>137</sup>Cs source: II. Clinical sequelae [J]. Rad Prot Dos, 1999, 81(2): 91-100.

[4] 叶根耀. 格鲁吉亚里罗训练中心外照射事故初步报告[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1998, 18(4): 287-288.

[5] 杨志祥, 叶根耀. 哥斯达黎加放射治疗事故简介[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2000, 20: 299.

[6] 叶根耀, 李折权. 苏州急性辐射损伤诊断与治疗学术研讨会概况[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2000, 20(4): 300.

[7] 郭梅, 叶根耀. 1997年俄国Sarov临界事故医疗处理简介[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2002, 22(3): 230-231.

[8] 李折权, 叶根耀. 1998年伊斯坦布尔<sup>60</sup>Co源辐射事故[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2000, 20(5): 371-372.

[9] 杨志祥, 叶根耀. 1999年秘鲁工业<sup>192</sup>铀放射源事故[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2000, 20(6): 449.

[10] Hirohiko TSUJII, Makoto AKASHI. Proceedings of "International Symposium on The Criticality Accident in Tokimura, Medical Aspects of Radiation Emergency"[M]. Chiba, Japan: NIRS publication house, 2000.

[11] Kazuhiko MaeKawa. Overview of Medical Care for Highly Exposed Victims in the Tokaimura Accident[A]. Ricks RC, Berger ML, O'Hara FM. The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness. The Clinical Care of Victims [C]. New York: The Parthenon Publishing Group, 2002. 313.

[12] 余长林, 叶根耀. 泰国Samut Prakarn辐射事故[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2001, 21(6): 478.

[13] El-Naggar AM, Mohammad M HM and Goma MA. The Radiological Accident of Meet Halfa, Qaluobiya, Egypt[A]. Ricks RC, Berger ML, O'Hara FM. The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness. The Clinical Care of Victims[C]. New York: The Parthenon Publishing Group, 2002. 319.

[14] Report of a Team of experts. Investigation of an Accidental Exposure of Radiotherapy Patients in Panama [M]. Vienna: IAEA, 2001.

[15] Flidner TM, Friessecke I, Beyerer K. Medical Management of Radiation Accidents-Manual on the Acute Radiation Syndrome [M]. The British Institute of Radiology Oxford UK: 2001.

[16] Eisuke Gotoh. Biodosimetry for High-Dose Irradiation With the Drug-Induced Premature Chromosome Condensation Method [A]. Ricks RC, Berger ML, O'Hara FM. The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness. The Clinical Care of Victims[C]. New York: The Parthenon Publishing Group, 2002. 350.

[17] Tice RR, Strauss GHS. The Single Cell Gel Electrophoresis/Comet Assay: A Potential Tool for Detecting Radiation-Induced DNA Damage in Humans[A]. Murphy JR. Assessment of Radiation effects by Molecular and Cellular Approaches [C]. Dayton Ohio: Alpha Med Press, 1995. 207-

214.

[18] Georges GE and Storb RF. Allogeneic HSCT for Victims of Future Radiation Accidents [A]. Ricks RC, Berger ML,

O'Hara FM. The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness. The Clinical Care of Victims[C]. New York: The Parthenon Publishing Group, 2002. 87-93.

文章编号: 1001-098X(2003)03-0128-04

· 综述 ·

## 贫铀武器对人员和环境的影响评价

于水

**摘要:** 针对战争中贫铀武器的使用,介绍了贫铀(depleted uranium, DU)及其气溶胶的理化特性,军人在战场上DU的摄入量、参战人员可能受到的辐射剂量以及潜在危险,简述了DU暴露的流行病学研究结果,讨论了DU弹的使用对环境的影响;建议今后该领域应加强研究的内容。

**关键词:** 贫铀武器;摄入量;受照剂量;危险

**中图分类号:** R818.7 **文献标识码:** A

## Impact evaluation of depleted uranium munitions to health and environment

YU Shui

(Beijing Institute of Radiation Medicine, Beijing 100850, China)

**Abstract:** The physico-chemical characters of depleted uranium (DU) and their aerosol, the DU mass intaked by army-men in the battlefield, and the radiation dose and potential risk of servicemen induced by DU intake were assessed, which was addressed to the application of DU weapons in the war. The results of epidemic studies for groups exposed by DU were briefly introduced and the environmental effect from application of DU ammunition was discussed, too. Finally, the items that should be strengthened to study in future were suggested.

**Key words:** depleted uranium munition; intake; exposed dose; risk

美国在1991年的海湾战争中首次大规模使用了DU(贫铀)弹,用量大于300吨,1999年在科索沃冲突中再次使用,用量约30吨。由于DU弹在战争中的大量应用,由此产生的环境影响和健康危害问题引起了人们极大的关注。

### 1 DU及其理化特性

DU是天然铀矿经富积、提取核反应堆和核武器用<sup>235</sup>U后剩余的副产品,它与天然铀在同位素组成上有很大不同,其比活度约为14.8Bq/mg,半衰期为4.5×10<sup>9</sup>a(以<sup>238</sup>U计)。

DU具有很高的密度、很好的阻挡能力,而且价格低廉,在军事上常被用作坦克等的防护装甲和DU弹。DU弹通常是DU长棒芯,外面包有软弹壳。DU弹不含任何爆炸物,但是具有很高的动能(初始速度达1800m/s),足以穿透装甲。与钨弹不同的是,钨弹击中装甲后变钝,而DU弹撞击后发生燃烧,使弹头具有自锐特性和超常的穿透能力。目前,坦克和飞机均可发射DU弹,坦克发射的DU弹口径较大(100和120mm,含有4~5kgDU),飞机发射的DU弹口径较小(25和30mm,含DU约300g)。DU弹撞击装甲通常有10%~35%(最大可达70%)可转化成氧化物气溶胶,气溶胶的转化数量与弹头种类、靶标有关。DU弹击中非装甲目标或丢失目标,将穿过目标或埋入地下,并基本上保持完整,产生很少的气溶胶。气溶胶中可吸入份额随氧化情况而改变。DU燃烧产生的气溶胶粒子,小

收稿日期: 2002-09-28

作者简介: 于水(1965-),男,军事医学科学院放射医学研究所(北京,100850)副研究员,博士研究生,主要从事辐射防护和环境放射化学研究。

审校者: 军事医学科学院放射医学研究所 叶常青