

射线皮肤烧伤 的防治

张仲仁 袁志强 编著
刘雁玲 傅以新

原子能出版社

β 射线皮肤烧伤的防治

张仲仁 袁志强 编著
刘雁玲 傅以新

原子能出版社

内 容 简 介

本书重点介绍了防治 β 射线皮肤烧伤。共分五章：第一章简单介绍了 β 射线皮肤病理变化和有关影响因素；第二、三章较详细地介绍了 β 射线皮肤烧伤的临床经过、诊断和治疗方法；第四章简要讨论了 β 射线皮肤烧伤的预防；最后一章中提出了应采取的防护原则。

本书可供从事辐射防护、医疗卫生等人员，以及在同位素生产和使用部门、核反应堆厂工中工作的广大职工参考。

β 射线皮肤烧伤的防治

张仲仁 袁志强 编著
刘雁玲 傅以新

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

原子能出版社印刷厂印刷

新华书店发行 · 新华书店

字数

前 言

随着原子能科学技术的发展和放射性核素在国民经济各领域中日益广泛的应用，人们接触 β 放射性物质的机会将愈来愈多。实践表明，在生产和使用过程中，缺乏防护知识和有效的防护措施，就可能造成 β 射线对人体皮肤的伤害。为此，我们编写了本书供有关同志学习和参考。

本书的部分内容是在我们过去工作的基础上，参考了一些文献编写而成的。

编写中，曾得到高鑫苓、王作发、王国权等同志提供资料，特此表示感谢。

由于我们业务知识水平有限，编写时间仓促，书中难免有缺点、错误之处，敬请读者批评指正。

编者

一九八一年一月

目 录

第一章 概论	1
一、射线引起皮肤烧伤的概况.....	1
二、 β 射线烧伤的基本概念.....	2
三、人体皮肤结构.....	3
四、 β 射线的来源及其物理性质.....	4
五、不同类型的 β 射线源所致的皮肤损伤.....	6
六、 β 射线皮肤烧伤的病理变化.....	9
七、影响 β 射线皮肤烧伤的因素.....	11
八、 β 射线烧伤的产生条件.....	17
九、 β 射线皮肤烧伤的常见部位.....	20
第二章 β射线皮肤烧伤的临床表现	22
一、急性 β 射线皮肤烧伤.....	22
二、慢性 β 射线皮肤损伤.....	26
三、事故性辐射引起的皮肤 β 射线烧伤.....	27
第三章 β射线皮肤烧伤的诊断、治疗	41
一、诊断.....	41
二、治疗.....	48

第四章 β 射线皮肤烧伤的远后效应	59
一、慢性皮炎的潜在危险	59
二、 β 射线诱发肿瘤的动物实验资料	59
三、 β 射线皮肤烧伤能引起人的皮肤癌吗？	63
第五章 β 射线皮肤烧伤的预防	65
一、核工业生产和放射性核素使用过程中的卫生防护	65
二、放射性落下灰引起 β 射线皮肤烧伤的预防	69
三、 β 射线皮肤烧伤的医学保健措施和随访观察	72
主要参考文献	74
放射性核素名称、符号对照	76

第一章 概 论

一、射线引起皮肤烧伤的概况

电离辐射不仅能引起全身性急慢性放射损伤，而且也能引起急慢性皮肤损伤。早在X射线被发现的当年(1895年)，X射线球管的制造者格鲁贝(Grubbe)的手就发生了特异性皮炎，当时他和医生就考虑到是由于X射线引起的。1896年史蒂文斯(Stevens)首先报道了X射线对皮肤的伤害。1897年吉尔克里斯特(Gilchrist)报道了23例X射线性皮炎。1911年贝克勒尔(Becquerel)和居里夫人(Curie, P.)最早报道了镭对皮肤的效应。1902年康德曼(Condman)报道了172例X射线烧伤的病例，同年，弗里本(Frieben)发现了由于X射线性溃疡而发生的皮肤癌。

关于 β 射线引起的皮肤损伤，国外已有不少报道。1949年，诺尔顿(Knowlton)首先从临床方面对此做了较完整的记载，他对美国1948年5月埃尼威托克核武器试验时，4名参试人员由落下灰裂变产物所致的 β 射线手部烧伤进行了剂量估算，并对全身 γ 射线照射量15伦、皮肤表面受到2520—13440拉德^①的 β 射线照射者的皮肤损伤特点做了详细记录。1952年在阿拉莫哥尔多原子弹爆炸后，一批在爆炸

① 为方便读者，将书中涉及的国外文献中引述的“物理伦琴当量”一律换算为“拉德”。

点附近吃草的大家畜的背部，由于放射性落下灰的堆积造成了损害。另外，在内华达试验场进行的某一次爆炸后，试验场附近的 16 匹马由于落下灰降落于背部而造成损害。1954 年 3 月 1 日美国在太平洋比基尼岛进行了氢弹试验，由于风向突变放射性落下灰降落到附近的马绍尔群岛和正在试验场附近的日本“福龙丸 5 号”渔船上，使 35% 的岛上居民和 23 名日本船员的体表造成了程度不同的放射性皮肤损伤。1957 年美国空运人员运送核试验裂变产物时，由于放射性物质逸出而使飞机和人员受到放射性沾染并引起皮肤损伤。

随着核科学技术的发展，核素在国民经济各领域中的应用日益广泛，接触放射性的人员逐渐增多。在某些特定情况下，放射性操作人员可能要接触较高水平的放射性，有时某些操作人员由于对放射性防护和放射性操作规程的忽视，有可能发生程度不同的皮肤放射性损伤。这些年来，我国曾陆续发生过数十例较重的 β 射线皮肤烧伤。由此看来， β 射线烧伤是原子能事业中的重要危害之一。

二、 β 射线烧伤的基本概念

由电离辐射从人体外部的照射或由放射性物质沾染皮肤所引起的皮肤损伤称为射线皮肤损伤或射线烧伤。造成皮肤射线烧伤的射线随放射源的不同而异；其中以 β 射线照射为主的烧伤叫 β 射线烧伤。急性 β 射线皮肤烧伤是大剂量 β 射线一次或短时间内多次照射所引起的皮肤烧伤。在核战争条件下，这种损伤由于皮肤受到大剂量电离辐射的照射或沾染大量放射性落下灰所引起；平时则多由核反应堆事故、核燃料后处理（以下简称后处理）工艺中的裂变产物的严重污染以及

分离、使用放射性核素过程中的意外照射所致。慢性 β 射线皮肤烧伤见第二章。

三、人体皮肤结构

皮肤覆盖全身，分为表皮（包括角质层、生发层等）、真皮（其中有毛囊、皮脂腺、汗腺等附属结构）和皮下组织

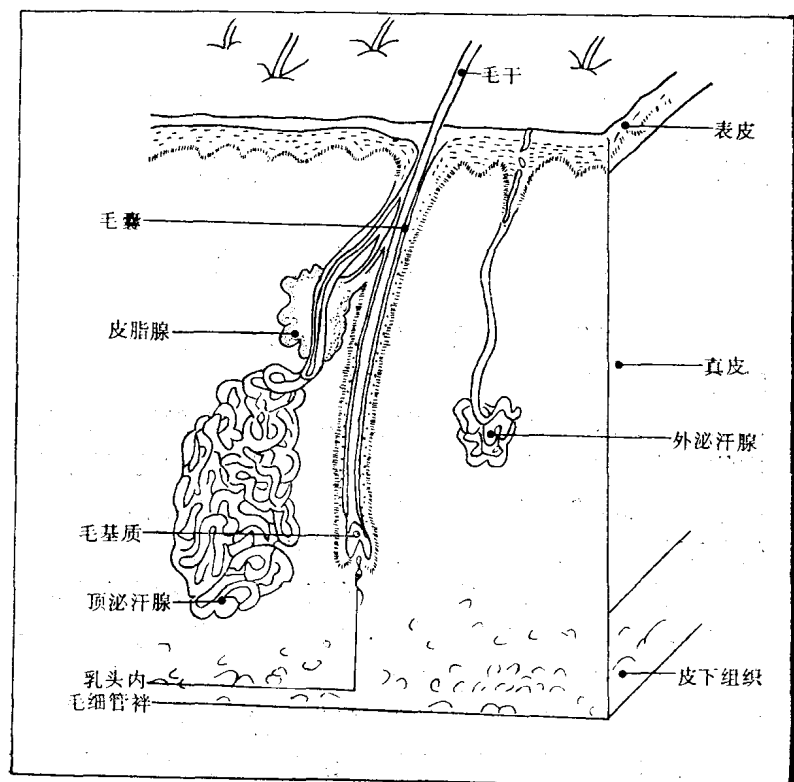


图1 人体皮肤结构示意图

三层(图1)。表皮因性别、年龄及解剖部位的不同,其厚度也各异。据1963年英国原子能管理局保健与安全分局在温弗雷斯举行的“辐射与皮肤”座谈会中莱黎(Laylee)报告的资料,表皮厚度为0.07—0.17毫米,而手掌及足趾掌面的厚度可达0.8—1.4毫米;真皮厚度为1.7—2.0毫米,皮下组织为0.08毫米。1973年惠顿(Whitton)报道的数据为:头颈、躯干、上臂及大腿上1/3的表皮厚度为4毫克/厘米²,腕、手背、前臂、踝及小腿的表皮厚度为8毫克/厘米²,手掌及足趾处的表皮厚度为40毫克/厘米²。据国际放射防护委员会有关“参考人”的一些资料,提出表皮的最小厚度为7毫克/厘米²,表皮加真皮的平均厚度为110毫克/厘米²,连同皮下组织,则为340毫克/厘米²。

四、β射线的来源及其物理性质

发射β射线的放射性核素叫做β辐射体。目前,有许多种天然的和人工的β辐射体。在工作和生活环境中,放射源或被β辐射体污染的设备、衣着等均可成为β射线的来源。在核电站、核反应堆及后处理厂里,以及各种类型的加速器中,β辐射尤具有重要意义。在核试验或核战争时,放射性落下灰沾染皮肤是造成β射线皮肤烧伤的主要原因。

β射线是电子流,它的质量数甚小,仅为氢原子质量的1/1840,且带有电荷,又称β粒子。一般说来,它是由原子核内中子转变为质子时放出的负电子,或质子转变为中子时放出的正电子组成。β射线同α射线一样,能贯穿物质并引起物质的电离。β粒子由于速度大,质量轻,带电量小,通过物质时,其穿透力较α射线一般要大得多,但比γ射线或

X射线为小，这是因为 γ 射线或X射线的速度更大且不带电荷的缘故。若以射程表示带电射线的穿透力， α 射线在空气中的射程不超过几厘米，数千分之一厘米厚的铝箔或一张普通的纸，就可以完全把它挡住；而 β 射线则不然，在空气中的射程可达几米，在组织中也可达几毫米甚至十几毫米，不同能量的 β 射线可穿透不同厚度的铝箔，因而在外照射情况下远较 α 射线的危害大。 β 粒子在不同介质中的射程见表1。

表1 β 粒子在铝、生物组织及空气中的最大射程与能量的关系

β 粒子的最大能量 (兆电子伏)	铝		组织或水	空气
	毫克/厘米 ²	毫 米	(毫米)	(厘米)
0.1	14	0.050	0.158	10.1
0.3	76	0.281	0.889	56.7
0.5	160	0.593	1.87	119
0.7	250	0.926	2.92	186
0.9	350	1.30	4.10	261
1.0	410	1.52	4.80	306
1.25	540	2.02	6.32	406
1.50	670	2.47	7.80	494
1.75	800	3.01	9.50	610
2.0	950	3.51	11.1	710
2.5	1220	4.52	14.3	910
3.0	1500	5.50	17.4	1100
3.5	1750	6.48	20.4	1300
4.0	2000	7.46	23.6	1500

由于 β 射线具有各种能量，而形成连续能谱，其平均能量约为最大能量的 $1/3$ ；随着能量的不同，穿透皮肤的深度不同，皮肤各层吸收 β 粒子的能量亦不同，若皮肤表

面所受剂量为 100%，各种 β 辐射体的 β 粒子在组织中不同平面深度的百分率如表 2 所示。

表 2 β 粒子在不同组织深度的百分率

β 辐射体	上皮内的神经	毛 囊	肌肉组织
	末梢(深度为 0.3 毫米)	(深度为 2 毫米)	(深度为 3 毫米)
铯-144	97	70—72	45
钷-106	97	>72	45
镭-226	83	50	16—18
铈-90	83	50	11—12
磷-32	72	15	6
钷-91	75	14	6
铈-89	70	10—11	4

一般而言， β 射线能量为 0.1 兆电子伏时，组织的半吸收厚度为 0.08 毫米。此值相当于表皮厚度，因此 β 射线能量在 0.2 兆电子伏以下时，作为外照因子来说，没有实际意义。 β 射线能量为 0.6 兆电子伏时，组织的半吸收厚度可达 0.8 毫米（相当于真皮层厚度）。如果 2 兆电子伏以上时为硬 β 粒子，则不但能穿透真皮，甚至可达皮下组织或更深的组织。 β 粒子在组织中的最大射程是 8—11 毫米，入射射线的 90% 左右被 3 毫米厚的组织所吸收，而 99% 被 6 毫米厚的组织所吸收，因此 β 射线在大剂量下可以引起皮肤损伤是显而易见的。

五、不同类型的 β 射线源所致的皮肤损伤

不同类型的 β 射线源，由于射线能量不同，受照射的外界条件与内在因素不同，皮肤致伤的情况亦有差异。

(一)放射性落下灰所致的 β 射线皮肤烧伤

放射性落下灰主要为 β 辐射体,大量的放射性落下灰沾染皮肤时,可引起 β 射线皮肤烧伤。在这方面的资料美国报道得较多(如前述)。此类损伤由于落下灰常位于表皮处,分布不均匀,故损伤多呈点状而表浅。埃尼威托克核试验所引起的 4 名美军的手部烧伤,表皮剂量是 2520—13440 拉德,3 毫米深处为 252—1344 拉德,6 毫米深处仅为 25—134 拉德,全身照射量均不超过 15 伦,因此认为主要是局部的 β 射线烧伤。其中损伤较重的 2 人,在受照后第 1 小时感到手部有刺麻感觉,在 12 小时内手部肿胀,第 2 天皮肤发红,以后发生水疱,25—30 天时病情发展最重,随后痂皮脱落,创面逐渐愈合。而通常受落下灰沾染的皮肤病变是在 24—48 小时内出现痒感和烧灼感;皮肤损伤的最早表现是皮肤着色加深,出现从褐色到黑色的斑点、丘疹和隆起斑;病变主要发生于未被衣物遮蔽的身体裸露部分,最常见的是脱发和头部、颈部、足部皮肤病变。指甲的蓝褐色色素沉着也是常见现象。大多数病变为浅表性,没有形成水疱,而在出现单纯性脱皮后即告愈合并再度着色。受照较重者,皮肤病变以湿性脱皮和溃烂为特征,已愈合的较深部的病变,在照射后半年至 1 年可见残留的色素异常现象,包括着色过度和未再着色,还可见轻度萎缩变化。照射后 9 周头发开始再生,6 个月后头发的色泽和质地完全恢复正常。

(二) β 辐射体的致伤情况

洛比尔 (Low-Beer) 和沃思 (Wirth) 等报告了人体实验性 β 辐射烧伤, 他们都是用磷-32 圆形敷贴物放置在上臂、前臂和大腿的屈面, 放置时间不一。据洛比尔观察, 当皮肤受到磷-32 β 粒子作用后, 如剂量不大, 在红斑出现前可有一无症状的潜伏期, 而后皮肤出现红斑, 红斑颜色由淡红逐渐变为红色, 以后渐渐消退。如剂量较大, 潜伏期可不出现, 且有水肿和水疱发生, 最终结痂自愈。对人的正常皮肤而言, 所受剂量为 120 拉德时 (不计自吸收) 可出现阈性红斑, 剂量为 6048 拉德时, 出现干性鳞状脱屑, 而剂量为 14280 拉德时, 产生水疱和湿性皮炎。沃思等用 533-991 拉德 (磷-32) 照射后, 6 小时内可使受试者出现原发性红斑, 在 991 拉德照射后的第 5—6 周左右出现细小的疱疹并有干性点状脱屑。在核工业中, 由于受到裂变产物的沾染而造成的 β 射线烧伤可随受照剂量的大小表现出程度不同的临床过程。一般说来, 出现严重水疱的患者, 疼痛较一般热烧伤发生得早而剧烈, 皮肤损伤的愈合亦较慢, 若处理不当, 往往会转为慢性过程。

(三) 阴极射线所致的皮肤烧伤

罗宾斯 (Robbins) 等报告一次事故中有 6 例受到 1200 千伏初级束散射的阴极射线照射, 时间大约 2 分钟, 皮肤剂量粗略估计在 840—1680 拉德之间。受照者在 36 小时内产生了原发性红斑, 约在 12—14 天后出现继发性红斑, 并有疱疹和水疱形成; 损伤较重的病例, 皮肤进一步被破坏。然而, 阴极射线所致烧伤有独特的周期性, 皮肤深部损伤比较

少见，疼痛较轻，痊愈较快，没有色素沉着。克劳弗德（Crawford）曾报告1例手部阴极射线烧伤，情况和上述相似。

综合上述可以看出， β 射线皮肤烧伤有如下特点：（1）有一定的潜伏期，皮肤症状的出现较一般热烧伤为慢。（2） β 射线烧伤比较浅表，多数达不到皮下组织，其原因是 β 射线能量的50%以上为表皮基底层以上的组织所吸收，而80%以上的能量为真皮层所吸收。（3）皮肤再生缓慢，迁延期长，由于辐射引起小血管肿胀，血栓形成，致使皮肤血管减少，供血不足。因而伤面的再生修复缓慢，皮肤菲薄，稍受外界刺激，便可形成溃疡，经久不愈，造成慢性放射性皮炎，导致不同程度地丧失其劳动和生活能力。

六、 β 射线皮肤烧伤的病理变化

急性射线皮肤损伤是电离辐射对皮肤产生的直接效应，根据损伤程度，可分为四度，即脱毛与毛囊丘疹、红斑反应、水疱反应及坏死、溃疡反应。重度急性射线皮肤损伤，后期可出现慢性结局。

（一）脱毛与毛囊丘疹

脱毛反应仅为皮肤附属器官（毛囊、皮脂腺）受损，多为可复性病变；但剂量较大时，也可致永久性脱毛。受照后数小时毛囊细胞即可呈现膨大和空泡变化。生发细胞受损时，可使毛发再生停滞。以后，毛根与毛乳头分离，毛发脱落，最后由毛囊中活存的细胞重生毛发。永久性脱毛时，毛

囊全萎缩。脱毛前辐照区皮肤出现毛囊角化性丘疹与皮肤色素沉着。

(二) 皮 肤 红 斑

红斑反应时，受照表皮下乳头血管扩张，血管及汗腺周围可出现少量中性粒细胞和淋巴细胞。真皮有水肿，少量细胞核发生固缩。以后可见上皮变薄，其下有中性粒细胞出现，血管内膜细胞肿大，表皮细胞可呈多形态，细胞多核，可见空泡。以后变性细胞与角化层一起脱落，表皮可再生，恢复正常结构，一般无瘢痕形成。

(三) 水疱及湿性皮炎

水疱及湿性皮炎时，皮肤分层、起疱、渗出明显。上皮细胞显著退化，呈明显的空泡性改变，常见多核细胞，受照较后期才影响结缔组织。水泡破溃后形成糜烂面，常有渗液，糜烂面愈合后可留下色素斑、永久性脱毛、末梢血管扩张。色素沉着是表皮基底细胞及真皮色素增多所致。如有继发感染，糜烂处形成不易愈合的溃疡，愈合后形成瘢痕。

(四) 坏 死、溃 疡

受照后很快出现不易愈合的溃疡。主要表现为真皮和皮下组织中的结缔组织和血管严重变性。先是表皮脱落及严重水肿，毛细血管扩张，组织水肿压迫血管出现贫血现象，继而皮肤坏死。溃疡形成过程中有小动脉发生纤维样坏死，皮下组织发生弹性纤维样变性，但没有炎症反应。溃疡形成后，创面可覆盖一层纤维素样的结痂，其下为一些增生不活跃的肉芽组织，这些结缔组织可发生透明变性。这种溃疡的

特点是坏死组织与活存组织间无明显界限，因而坏死组织较难脱落。有时溃疡也可在短期内为一层很薄的皮肤覆盖，但由于被覆盖皮肤乳头层水肿，皮下有炎性细胞浸润，故不久又可破溃。此时因伤及真皮层，愈合较难，常可发展为慢性皮肤放射损伤。

(五) 慢性结局

它是急性皮肤放射损伤的晚期变化，可见到表皮萎缩和肥大过程，有的区域萎缩，有的区域棘细胞层肥厚和角化过度，也有的角化不完全。皮脂腺萎缩和消失，严重者汗腺亦可消失。真皮血管增厚，常发生动脉内膜炎，有血栓形成。浅部小血管扩张。表皮下淋巴管多呈不规则性扩张，并出现淋巴水肿。真皮结缔组织增多，血管周围更明显。损伤区域常反复破溃。易发生晚期溃疡或坏死，或在此基础上发生放射性皮肤癌。

七、影响 β 射线皮肤烧伤的因素

(一) 剂量和 β 粒子能量

β 射线引起的剂量是决定皮肤反应的主要因素，皮肤受照剂量越大，烧伤就越严重。引起人体皮肤脱毛所需的剂量在 200 拉德以上，大于 500 拉德时可全部脱毛，如超过 600 拉德毛发脱落后不会再生。表 3 列出了 β 射线引起人体皮肤不同程度损伤的剂量。有人认为混合裂变产物污染皮肤时，当皮肤基底层的吸收剂量为 500 拉德时可全部脱毛，600—700 拉德时出现红斑，大于 1000 拉德时可发生水疱，1500 拉德