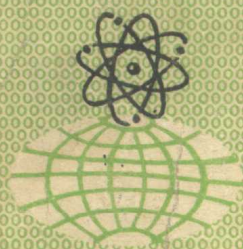


辐射血液学手册



原子能出版社

辐 射 血 液 学 手 册

国际原子能机构 合编
世 界 卫 生 组 织
《辐射血液学手册》翻译小组

原 子 能 出 版 社

本手册为资本主义国家的学者收集的有关辐射血液学效应方面的系统资料，是为资本主义制度的卫生、保健路线服务的。

全书分五部分，包括辐射血液学的放射生物学和生物物理的基础知识；系统的动物实验资料；急、慢性放射病的临床表现及几种重要的放射性同位素体内结合后的血液学变化；辐射血液学在辐射损伤诊断中的作用以及在辐射损伤治疗中的意义。

可供从事放射医学、生物学、血液学、保健物理的工作人员以及对本手册感兴趣的放射性工作者的参考。

Technical Reports Series No. 123
Manual on Radiation Haematology
A Joint Undertaking by
The International Atomic Energy Agency
and
The World Health Organization
International Atomic Energy Agency
Vienna, 1971

★★ ★★ ★★ ★★

辐射血液学手册

《辐射血液学手册》翻译小组

原子能出版社出版

张家口地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

(只限国内发行)

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 20¹/₈·字数 478 千字
1975 年 2 月北京第一版·1975 年 2 月第一次印刷
印数 001—6100·定价: 2.20 元
统一书号: 15175·024

目 录

第 I 部分 辐射血液学的放射生物学和物理学基础

绪论	3
第一章 人类的辐射环境	6
1. 辐射对人体的效应	6
2. 宇宙辐射	7
3. 地球辐射	8
4. 体内放射性物质的辐射照射	12
5. 人工辐射照射	15
6. 天然和人工辐射的摘要和比较	19
第二章 辐射物理学	21
1. 直接电离辐射	21
2. 间接电离辐射	23
3. 光子吸收过程	24
4. 辐射剂量学	25
5. 射线束中的剂量分布	26
6. 吸收剂量、线能量转移和生物效应之间的关系	29
第三章 辐射血液学的生物物理基础	31
1. 电离辐射的物理特性	31
2. 辐射剂量单位	33
3. 有关血液学组织的定位	35
4. 小梁骨的物理描述	35
5. 对活跃骨髓平均剂量的测定	38
6. α 粒子和中子照射	44
第四章 为了解辐射照射的血液学后果所需的放射生物学基础	49
1. 造血系统的特性	49
2. 基本的放射生物学原理	50
3. 骨髓的辐射效应	51
4. 外周血液的辐射效应	52

第 II 部分 系统辐射血液学

绪论	57
第五章 辐射损伤的形态学表现	60
1. 骨髓的坏死	60

2. 在血液形成中的细胞更新和干细胞迁移	61
3. 再生作用	61
4. 照射变量和个体变量	62
第六章 辐射对粒细胞更新系统的效应	63
1. 中性粒细胞更新系统	63
2. 急性全身照射对中性粒细胞系统的效应	65
3. 对粒细胞系统辐射效应的细胞动力学基础	67
第七章 辐射对红细胞生成的效应	70
1. 在循环血液中观察到的效应	70
2. 在骨髓中观察到的效应	74
3. 对中等致死或致死剂量辐射的反应	75
4. 改变红细胞生成反应的方法	76
第八章 辐射对巨核细胞和血小板系统的效应	78
1. 巨核细胞和血小板辐射效应的一般时间过程	78
2. 对大鼠的研究	79
3. 对人的巨核细胞和血小板的研究	81
4. 对其它哺乳动物的研究	82
5. 血小板减少的后果	83
6. 辐射对巨核细胞和血小板的其它影响	83
第九章 辐射对血液凝固的效应	84
1. 血小板机能的不足	84
2. 血小板的其它机能	84
3. 血液凝固因子	85
4. 血液凝固试验	86
5. 多肝素血症	86
6. 辐射对血管壁的直接效应	86
7. 纤维蛋白溶解系统	87
第十章 连续照射的血液学效应	88
1. 连续照射(每天 176—16 拉德)	88
2. 每天 12 拉德以下的连续照射	90
第十一章 辐射对淋巴细胞更新系统的效应	93
1. 淋巴组织的发育	93
2. 淋巴细胞的产生、循环和特性	93
3. 辐射对淋巴细胞的效应	94
第十二章 辐射对免疫系统的效应	97
1. 辐射对产生体液抗体的效应	97
2. 辐射对免疫麻痹和耐受性的效应	100
3. 辐射对细胞免疫性的效应	100
4. 辐射嵌合体的免疫反应	101

5. 辐射对过继性免疫的效应·····	103
6. 辐射对免疫所涉及的细胞成分的效应·····	103
7. 免疫反应的预防和修复·····	104
第十三章 巨噬细胞-组织细胞系统·····	106
1. 巨噬细胞对辐射的敏感性·····	106
2. 辐射对巨噬细胞功能的影响·····	106
第十四章 与辐射对干细胞池效应有关的模型·····	109
1. 动力学概念·····	109
2. 干细胞群的不同一性·····	110
3. 集落形成细胞的生长特性·····	111
4. 慢性照射期间干细胞的动力学·····	111
5. 自体再殖·····	112
6. 结论·····	112
第十五章 研究辐射对造血干细胞效应的实验方法·····	114
1. 估计造血干细胞的方法·····	114
2. 造血干细胞对辐射的反应·····	117

第Ⅲ部分 急性辐射血液学的临床方面

第十六章 急性辐射损伤的临床方面·····	123
1. 全身照射引起的综合征·····	124
2. 实际的临床考虑·····	126
第十七章 慢性辐射损伤的临床方面·····	127
1. 辐射诱发的白血病·····	127
2. 人的辐射诱发的白血病·····	128
3. 辐射诱发的其它肿瘤·····	130
第十八章 对造血的晚期效应和寿命缩短·····	131
1. 一次照射·····	131
2. 分次照射·····	132
3. 慢性连续照射·····	133
4. 寿命缩短·····	135
第十九章 局部照射的特殊问题·····	139
1. 局部照射对干细胞和淋巴细胞的效应·····	139
2. 临床观察·····	139
第二十章 体内结合的放射性同位素,特别是氟、磷和锶的血液学后果·····	141
1. 放射性衰变的生物学效应·····	141
2. 体内结合的放射性同位素的剂量学·····	142
3. 氟的生物学效应·····	144
4. 磷 ³² 的辐射效应·····	150
5. 锶 ⁹⁰ 的生物学效应·····	151

第二十一章 体内结合的放射性同位素,特别是钷、钷、镭、铁与金的血液学后果	155
1. 钷: 钷 ²³⁹	156
2. 钷: 钷 ²³²	158
3. 镭的同位素: 镭 ²²⁶ 、镭 ²²⁸ 、镭 ²²⁴	162
4. 铁: 铁 ⁵⁹ 、铁 ⁵² 、铁 ⁵⁵	165
5. 金: 金 ¹⁹⁸ 、金 ¹⁹⁹	171
第二十二章 辐射诱发的贫血和其它血液病	174
1. 贫血	174
2. 白血病	176

第 IV 部分 辐射损伤诊断中的血液学

第二十三章 急性辐射损伤后的血液学参数	183
1. 剂量-反应关系	183
2. 反应-损伤关系	185
第二十四章 评价低水平长期照射和晚期效应的血液学基础	192
1. 血液学变化的主要类型	192
2. 一些重要的照射参数	196
3. 晚期和潜伏效应的本质	196
4. 潜伏效应的显露	197
第二十五章 染色体分析在辐射损伤诊断中的应用	200
1. 细胞遗传学的分析	200
2. 天然畸变率	202
3. 急性辐射照射	203
4. 慢性、分次和过去的照射	205
第二十六章 辐射损伤的生物化学指标	207
1. 脱氧核糖核酸代谢	207
2. 脱氧胞嘧啶核苷	208
3. 类固醇和维生素	209
4. 蛋白质代谢	210
5. 氨基酸	211
6. 牛磺酸的排出	212
7. 肌酸的排出	213
第二十七章 辐射损伤的鉴别诊断	214
1. 在血液学术语中辐射诱发变化的定义	214
2. 辐射照射后血液学变化的鉴别诊断	215

第 V 部分 血液学在辐射损伤治疗中的意义

第二十八章 向免疫功能抑制或缺欠的受体输入外来细胞和组织时所含 危险的定量评价	221
--	-----

1. 外周血液和白细胞浓缩物的输入·····	223
2. 异系骨髓细胞悬液·····	224
3. 胎儿肝脏细胞·····	225
4. 胸腺组织的移植·····	225
5. 器官的移植·····	226
6. 预防偶然发生的移植物抗宿主反应·····	226
第二十九章 对造血系统辐射损伤进行治疗的实验基础·····	229
1. 决定造血细胞移植成活的因素·····	230
2. 自体 and 同系的骨髓移植·····	230
3. 异系骨髓·····	233
4. 为再生障碍病人的恢复所采用的其它来源的造血细胞·····	236
5. 冰冻造血细胞的应用·····	237
6. 造血干细胞浓缩物·····	238
第三十章 临床建议·····	239
1. 辐射照射后一到四天·····	239
2. 辐射照射后五到十二天·····	242
3. 辐射照射后十三到二十天·····	243
4. 辐射照射后二十一到三十五天·····	243
5. 辐射照射后三十六到四十五天·····	244
第三十一章 在放射病治疗中应用血浆及其成分的实验和临床根据·····	245
1. 血液、红细胞、血小板和白细胞浓缩物的输注·····	245
2. 血浆的输注·····	247
3. 血浆的交换输注·····	250
4. 聚乙烯吡咯烷酮·····	251
5. 血浆的蛋白成分·····	252
第三十二章 临床应用的血细胞和骨髓细胞的短期和长期保存·····	257
1. 为保存所用的液体介质·····	258
2. 冰冻保存·····	261
3. 低压冻干贮存法·····	263
4. 融化骨髓的制备·····	264
第三十三章 正常情况下的血液学监督·····	266
1. 血液学检查的进行·····	266
2. 结果的解释·····	267
参考文献·····	269

第 I 部 分

辐射血液学的放射生物学和物理学基础

前 言

关于电离辐射生物学效应的研究导致了采用各种防护措施,以保护居民以及那些在所从事的职业中可能接受电离辐射照射的人员。在近代研究中,有许多是关于辐射损伤的基本机制及其治疗方面的内容,其中有些部分是由世界卫生组织和国际原子能机构所主持的。有关造血组织的基础研究已为国际放射防护委员会制定建议提供了所需要的资料。

海内基在 1903 年首先注意到全身照射对造血组织的损伤。从那以后,我们获得了关于各种血液成分功能的许多知识。很多研究工作致力于了解包括造血过程在内的各种“干”细胞的再生能力,以及这些过程可能被电离辐射干扰的程度。目前我们已了解到那些用以估计辐射的可靠指标,用这些指标根据辐射对造血系统的影响可以对辐射损伤进行估计。此外,现已确定造血系统的辐射损伤可以由治疗而得到弥补。

在发展中国家,日益增多地把辐射应用于医疗工作和许多其它领域,因而急需传播有关辐射损伤方面的知识。

本手册企图将有关这方面的很多资料加以综合。正如目录所示,许多专家为本手册做出了贡献。我们尽可能保留他们原来的文体。在内容方面有一定的重复是不可避免的,例如当主编决定要删去一段的时候,如果影响了原作者所欲表达的确切概念,则又将此段予以保留。本手册包括了近期的研究成果以及处理受照射人员的实践指导。作者们的目的在于收集有关资料和参考文献,以供从事辐射工作的医生、生物学家和物理学家们参考,或对受照射人员进行监护。辐射血液学是一个正在发展的课题,新的资料正在不断涌现。

本手册虽然是由世界卫生组织和国际原子能机构联合主编,实际上是许多科学家提供的资料的汇编,所以并不表达主编机构的意见。

绪 论

T. M. 弗利特納

这部分的目的是扼要叙述对于了解辐射血液学的特殊问题有关的一些基本的细胞-系统生态学、辐射、生物物理学和放射生物学的原理。做为一个绪论,考虑到辐射与造血组织之间的关系显然是有用的,而它们正是属于细胞生态学范畴的本手册所涉及的两个主要命题。

图1显示出电离辐射只是维持人类机体处于正常平衡状态时几种环境因素中的一种。水平日益降低的电离辐射在有生命机体的进化过程中曾经是“物理”环境的一部分,在世界的某些地区,人们接受的照射可以高达每年1300毫雷姆(见第一章)。因此,人工辐射源不是人类必须适应的新的环境因素。

研究人类受到高于正常本底水平的辐射照射后的细胞和细胞-系统生态学的含意,特别是它的危害和预防方法,是一般辐射生物学尤其是辐射血液学的任务。这些研究已经考虑到其他环境因素的常数或变数。例如,物理环境之一的重力,在人类进入空间以前可以认为是一个“常数”,通过失重能够检验重力的作用。一个重要的可变的环境因素是生物界的氧含量。当考虑到这一因素时,显示出在一个环境条件和机体的一个细胞系统之间存在着不断的相互作用。众所周知,当空气中氧的正常浓度降低时,如在登山时很容易显示的,立即刺激红细胞生成,结果可能导致“高山性红细胞增多症”。菌丛是另一个环境因素,大约也是一个常数。为实验目的而采用的无菌动物和临床医学中采用的已知菌谱技术(gonotobiotic techniques),已使人们注意到这一因素的存在与否与形成机体和环境交界的细胞-系统(皮肤、胃肠上皮),或同任何微生物的侵袭作斗争的细胞-系统(粒细胞和淋巴细胞系统)之间的关系。

这些事例说明哺乳类的机体,一方面,是一个密闭“体”,在其内部通过巧妙的神经体液调节机制保持平衡;另一方面,只是当它与环境也处于平衡时才能保持健康,而环境中各因素之间同样也是平衡的。直到最近,人类没有什么机会足以明显地影响他的环境,然而工业化尤其是原子能的发展,日益扩大的抗菌素谱的发现以及最后,但不是最不重要的,空间时代的到来已经明确地提出对环境因素及其对机体本身完整性的影响须给以更多的注意。本手册虽然只注重于与电离辐射效应有关的特殊问题,但应强调指出,这只是必须考虑的近代预防医学的一个方面。

机体与环境的平衡是由两个因素控制和调节的,即中枢神经系统和细胞更新系统。由本手册可明显看出,辐射血液学主要是探讨通过胃肠道和造血细胞更新系统所调节的、辐射与机体之间的平衡或紊乱(图2)。

细胞更新系统也可称为细胞链,在这个链中由于细胞的死亡或迁移造成的任何损失,将由新细胞的产生而达到数量上的平衡。任何这样的系统必须有一个自身维持的未分化的前驱细胞的贮存所,它们能够以固定的速率供应细胞更新系统(干细胞池)。在大多数的细胞

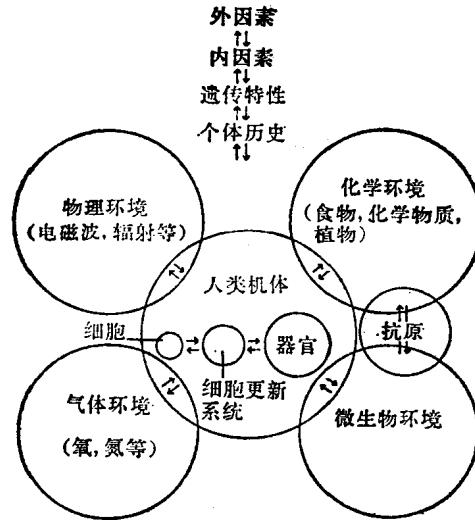


图1 人体和各种环境因素的生态学关系图解

人体与各种环境是处于平衡状态的,建立这类平衡的最重要因素之一是构成各器官的细胞更新系统。机体与环境的相互关系,当然也受个体历史、遗传特性以及其他内、外因素所影响。

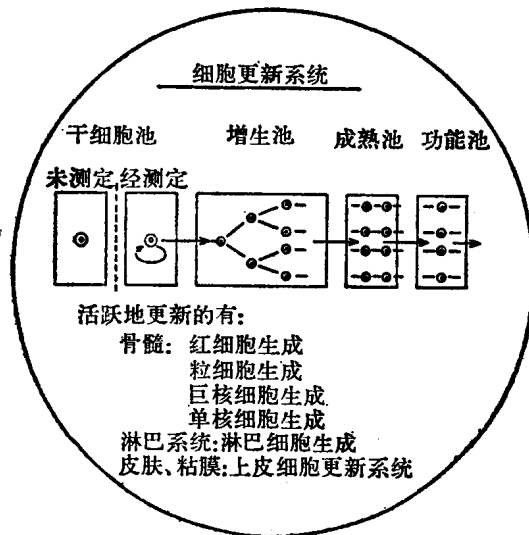


图2 细胞更新系统主要方面的图解

更新系统中,干细胞不能从形态学上加以辨认。然而为了保持细胞生成与细胞损失之间的稳态平衡,必须有干细胞的存在。在稳定状态下,当一个干细胞分裂时,从统计学来看,其子代的一半分化为特异的细胞系,另一半仍保留为干细胞。

一旦一个干细胞已经充分地分化成为能辨认的某一个细胞系的前驱细胞(肠系:腺窝细胞;骨髓系:早幼粒细胞,早幼红细胞,幼巨核细胞),它就变为分裂与成熟细胞池的一部分(干细胞部分),做为这个干细胞部分的扩大者。在细胞丧失其分裂能力以前,可能发生几次加倍分裂,而进入细胞的非增生池。它在这里成熟(肠系:绒毛颈部细胞;骨髓系:如晚幼粒和带状核粒细胞)。最后,这些细胞进入功能细胞池(绒毛细胞,粒细胞,红细胞,血小板等),

并且由于移动和脱落(绒毛细胞)或由于衰老(红细胞,一些粒细胞)或由于移出(大部分粒细胞)而离开功能池。这些系统的动力学在很大程度上是由连续的细胞分裂的间隔时间与功能池中的细胞寿命(血管内或血管外,体内或体表)所决定的。

哺乳类机体的适应能力依赖于细胞更新系统的调节可能性。失血(即细胞从功能细胞池中移出)、低氧或持续的电离辐射都能导致红细胞更新系统的细胞生成率的增加,以满足在该系统中增添细胞的需要。另一方面,在无菌小鼠的小肠上皮上可以观察到某系统更新率的减低,因为一个重要的环境因素——菌丛——被排除了。对这些适应机制的细节尚未完全了解。已发现红细胞生成刺激素——一种体液因子——在决定一个未分化的细胞转化为红细胞系,即在“红细胞生成”方面,起关键的作用。对其他系统而言,池大小的反馈机制、神经调节机制或体液影响可能都是重要的,但这些机制的细节至今尚未明了。

在任何情况下,如果由于电离辐射量的增加——一次、多次或慢性——而改变了辐射环境,机体的细胞更新系统,尤其是造血系统,必须对细胞损失的结果作出反应。如果干细胞池已经减少到这样的程度,以至不能及时地再生它本身和由它供应的系统,则此适应机能将归于失败。其结局就是:功能细胞池的衰竭和可能发生贫血、粒细胞减少和(或)血小板减少,以及最后造成严重的临床情况。

第一章 人类的辐射环境

H. 施米尔 W. 西莱塔格 B. 沃尔兹科格

从健康方面估价辐射照射的资料, 需要物理参数和各种生物效应所涉及的剂量与效应之间的关系这两方面的广泛知识。过去曾发生过一些错误的理解和解释, 就是因为只是笼统地考虑了“生物效应”, 而忽视了不同类型的生物效应可能有不同的剂量-效应关系。为避免发生误解就必须区分如下情况。

1. 辐射对人体的效应

随剂量而不同, 在照射后数小时至数周发生的临床上可观察出的症状叫做“早期效应”, 照射后数月至数年发生的叫做“晚期效应”。潜伏期的长短一方面取决于照射剂量, 另一方面又与症状的生物学特性有关。例如, 某种程度的皮肤红斑发生于数百伦照射后三周左右, 如照射达千伦以上则数日后即可出现。

毛细血管扩张的出现(作为晚期效应之一), 需要总共数千伦的分次照射, 而且与分次量的大小无关, 须经数月后发展起来。同样, 皮肤“辐射性癌”的发生, 只是在大于一千伦的大剂量一次照射或数千伦分次照射后数年至许多年才出现。

晚期效应, 如毛细血管扩张或癌, 如果不是全部的话, 绝大多数是由该组织的早期辐射变化发展而来, 而且是很常见的。尤其皮肤癌, 是由于照射变化又加上其他损伤的影响如机械刺激、日光或化学制剂的作用。

这些“本体效应”(somatic effects)表现的特点是一个“S”形的剂量-效应曲线, 其中有一个最小剂量“阈值效应”, 在此剂量以下这些生物学效应将不发生。再者, 分次的或低剂量率照射的辐射效应小于大剂量的一次照射, 因为前者在照射过程中辐射效应已有某些恢复。另一方面, 当剂量超过一定水平时, 本体效应终究是要发生的, 这是确定无疑的, 早期效应尤其如此, 但对可能是综合性的晚期效应来说则不如早期效应这么明显。

应当指出, 本手册所讨论的辐射生物学效应大多是属于本体效应这一类型。虽然一个特异性的生物学效应只是机体组织的一个特征, 而不是辐射的一个特征, 但在大多数情况下有可能将这些效应与个体受到的辐射照射相联系起来。但电离辐射不能产生只是对辐射本身有特异性的生物学效应!

因为辐射影响了受照个体本人的全身及其健康, 所以采用“本体效应”这个名词。

本体随机性效应(Somatic-stochastic effects)

照射后寿命缩短或白血病的发病率增加, 是属于本体随机性效应这一类。在这种情况下这种生物学效应, 如白血病, 不一定与辐射有关, 不象数百伦照射后的皮肤红斑那样。只是照射后发生白血病的或然率比未经照射者发生白血病的正常或然率为高。因此, 如欲将白血病的个别病例与发病前所接受的辐射照射联系起来几乎是不可能的。只有在统计学基础上对受照射的一组人才能评价这类效应。对这类效应名之为“随机的”, 就是说明它的随

机分布的性质。

遗传效应

由名称就可明了这是对遗传组织(生殖细胞)因而可能对后代的生命和健康发生影响的效应。另一名词“诱变效应”也被用以表示有“突变”的含意,即一个生殖细胞基因的变化。在辐射剂量与突变数目之间似乎有一个正的相关关系,处于一定发育阶段的生殖细胞更是如此。只有个体的几个生殖细胞用以繁殖后代。大多数的突变(隐性突变)要显现出来,必需与一个保持相同突变的配偶相结合,因之所有的遗传效应只能随机地显现。所以随机效应也表现在生殖系统,如本体随机性效应一样。只有在统计学基础上才能对遗传效应进行评价,如欲找出一个个体与辐射照射之间的关系是困难的。

小剂量的辐射效应

在非常低照射量的照射以后,不太可能有明显的本体效应,因为产生这些效应需要一个最小剂量。因之,有可能提出一个“安全剂量”,即低于该水平的照射就没有这些效应出现的一个剂量。不过,对本体随机性效应不一定如此,以遗传效应来说,即使在相当低剂量的照射后仍可能有轻度的增加。对这类危险的评价是很困难的,而且在文献中的一些资料也是很肯定的。幸而电离辐射并不是一个完全新的危险。人类或有生命系统,在总的方面,自有生命以来就已经受到自然发生的辐射的照射,而且与这种辐射可能已处于平衡状态。“天然本底辐射”对生物的作用与各种类型的人工电离辐射性质上相同,数量上亦非常近似。因此,本底辐射可做为人工辐射的一个比较的尺度,可以认为在天然本底水平以内的附加的人工辐射对生命可能不产生严重的附加的危险。

下文摘要介绍各个国家的本底辐射的内容与水平[见联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)报告,1962]。

2. 宇宙辐射

在几十年前,认为由外层空间达到地球表面的宇宙射线是由超硬 γ 射线组成的。目前我们认为有:

初级宇宙辐射

初级宇宙辐射部分地发源于银河,来自太阳系以外的星系,并由带电粒子组成。它含有85%的质子,13%的 α 粒子和2%的、原子序数为3—30的(主要是碳、氮、氧、镁、钙和铁)重原子核;能量为 10^3 — 10^{12} 兆电子伏;在外层空间的总粒子通量约为2.5粒子/平方厘米·秒。这部分的宇宙辐射或多或少是恒定的。

初级太阳辐射一部分是低能“日冕辐射”,一部分是高能和较低能量的质子辐射,后者与太阳的活动性有关并且发生在太阳发生耀斑(solar flares)的时候。质子的动能是1千电子伏— 10^7 兆电子伏,发焰较强烈时,质子通量可以高达 5×10^5 粒子/平方厘米·秒。1958—1961年间曾观察到四十次这样大的爆发。

范爱仑带

由外层空间流向地球的快中子与地球大气的外层相作用产生电子和质子,它们和来自宇宙的其他电子和质子在一起,通过地球磁场聚成围绕地球的两个电离层即内、外“范爱仑带”。两带主要是伴随着磁赤道,内范爱仑带由北纬 30° 到南纬 30° ,外范爱仑带是由北纬 60° 到南纬 60° 。内带的最大强度约在地表以上3000千米处,外带约在15000千米处。宇

航天员在内带接受的剂量率是10—120 拉德/小时(依屏蔽条件而不同),在外带时,高达 10^4 拉德/小时;而后者是软电子韧致辐射,易于屏蔽。在高纬度(60°)和大于25千米的高度已测出一个强度更高的低能电子场,也许与极光过程有联系。

次级宇宙辐射

初级辐射与围绕着地球的大气相互作用产生了次级宇宙辐射。一部分达到地球表面,它由大约25%的近于10兆电子伏能量的电子和75%的平均能量约为 10^3 兆电子伏的各种介子所组成。因为初级辐射(带电粒子)通过地球磁场时稍偏向地球的两极,所以在高纬度处的强度较大而在赤道区则较小。在北纬和南纬 15° 之间的强度是比较稳定的,在北纬和南纬 50° 之内强度很快增加,之后又变为几乎恒定。尽管介子辐射的能量很高,例如在岩石下1000米处辛普朗隧道中的剂量约为地表剂量的1%,但这种辐射在大气中被减弱和部分地被吸收,因此海平面的剂量低于海平面以上的高地。

宇宙辐射给予的组织剂量

根据利比(Libby, 1959)和尼赫(Neher 等, 1953)的资料,在北温带地区海平面剂量约为30—50 毫拉德/年,3000米高度约为160—250 毫拉德/年,12千米高度约为2000—7000 毫拉德/年,横渡大西洋的飞行就是通过这一高度。图3表示不同地理纬度处剂量率与高度

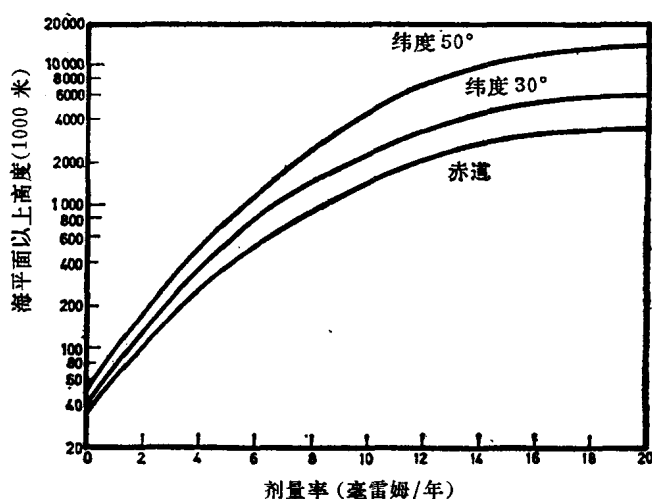


图3 在海平面以上高度和地理纬度的宇宙辐射

资料引自尼赫等(1953)、利比(1959)和联合国原子辐射效应科学委员会报告附录16(A/5216)(1962)。不同的纬度代表一个参数。当高度达5000米时剂量率约增加一个数量级,在高纬度地区,当高度达11千米时,剂量率约增加两个数量级。

的关系。在次级宇宙辐射中尚有快中子成分,一些作者依据不同的假设算出它的剂量率是13—25 毫雷姆/年,这些已包括在上述数字之内(见联合国原子辐射效应科学委员会报告,1962)。联合国原子辐射效应科学委员会报告(1962)中提出,在海平面和中间纬度地区的全部宇宙辐射给予生殖腺和骨髓的组织剂量率是50 毫雷姆/年,并以此做为典型值。

3. 地 球 辐 射

这部分天然本底辐射来自遍布于地壳内的天然放射性物质,从外部作用于人体组织的 γ 射线剂量波动很大,依照居住地区的地质形成情况,它的剂量可以由小于宇宙辐射至高于其

表 1 主要的天然放射系

〔引自西曼-埃格伯特(Seelmann-Eggebert), 1968〕

系 / 核 素	过去的名称	半 衰 期	主要辐射能(兆电子伏)		
			α	β	γ
铀 铀 ²³⁸	铀 I	4.5×10^9 年	4.20	—	...
	钍 ²³⁴	24.1 天	—	0.2	0.093
	镤 ²³⁴	铀 X ₂ /铀 Z	-/-	2.3/1.4	.../0.93
	铀 ²³⁴	铀 II	4.77	—	...
	钍 ²³⁰	钍	4.68	—	...
	镭 ²²⁶	镭	4.78	—	0.19
	氡 ²²²	氡(射气)	5.49	—	...
	钋 ²¹⁸	镭 A	6.00	...	...
	铅 ²¹⁴	镭 B	—	1.0	0.35
	铋 ²¹⁴	镭 C	5.51	3.3	1.76
	钋 ²¹⁴ /铋 ²¹⁰	镭 C'/镭 C''	7.69/-	-/2.3	.../0.80
	铅 ²¹⁰	镭 D	3.72	0.06	0.047
	铋 ²¹⁰	镭 E	4.69	1.2	0.30
	铋 ²⁰⁶ /钋 ²¹⁰	镭 E''/镭 F	-/5.31	1.6/-	-/...
	铅 ²⁰⁶	镭 G	—	—	—
	钍 ²³²	钍	4.01	—	...
	镭 ²²⁸	新钍 I	—	0.05	—
钍 钍 ²³²	钍 ²³²	1.4 $\times 10^{10}$ 年	4.01	—	...
	镭 ²²⁸	新钍 I	—	0.05	—
	锕 ²²⁸	新钍 II	—	2.1	0.97
	钍 ²²⁸	射钍	5.42	—	0.22
	镭 ²²⁴	钍 X	5.68	—	0.24
	氡 ²²⁰	钍射气(Tn)	6.29	—	...
	钋 ²¹⁶	钍 A	6.78	—	...
	铅 ²¹²	钍 B	—	0.6	0.30
	铋 ²¹²	钍 C	6.09	2.3	0.73
	钋 ²¹² /铋 ²⁰⁸	钍 C'/钍 C''	8.78/-	-/1.8	2.61/2.61
	铅 ²⁰⁸	钍 D	—	—	—
镭 镭 ²²⁶	镭 ²²⁶	7 $\times 10^8$ 年	4.39	—	0.18
	钍 ²³¹	铀-Y	—	0.3	0.084
	镤 ²³¹	镤	5.01	—	0.29
	锕 ²²⁷	锕	4.95	0.04	...
	钍 ²²⁷ /钍 ²²³	射镭/镭 K	6.04/5.34	-/1.2	0.24/0.08
	镭 ²²³	镭 X	5.71	—	0.33
	氡 ²¹⁹	镭射气(An)	6.82	—	0.40
	钋 ²¹⁵	镭 A	7.38	...	...
	铅 ²¹¹	镭 B	—	1.4	0.83
	铋 ²¹¹	镭 C	6.62	...	0.35
	钋 ²¹¹ /铋 ²⁰⁷	镭 C'/镭 C''	7.45/-	-/1.4	1.06/...
	铅 ²⁰⁷	镭 D	—	—	—

注: 1. 核素/核素和数字/数字表示该母体衰变成这两个子体, 子体再以各自的半衰期和能量进行衰变。

2. 能量栏中只列出实际上重要的最大能量。“...”代表该辐射可忽略不计, 因为它只占很小的百分比; “—”表示没有这种类型的射线。

3. 还有个别衰变因发生的比例非常小所以未述及。