

# 居民受照剂量

Крисюк ЭМ等: Гиг и Сан (5):63, 1984 (俄文)

居民受到的照射主要来自天然照射和医疗照射, 其它来源的照射(核武器试验和核电站排出物造成的环境污染、职业照射等)在总剂量中所占比例甚小。近年来, 与国际放射防护委员会(ICRP)提出电离辐射生物学作用的线性无阈假设有关, 人们对居民受到主要辐射源照射的研究给予了很大关注。此项研究的目的是为防护措施提供依据, 其重要意义不限于了解照射剂量的大小, 而且还在于探讨控制剂量的实际可能性。

天然电离辐射源所致剂量在居民总剂量中占有最大的份额。天然辐射源引起的年平均有效剂量当量根据联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)的估算约为 $2\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ 。鉴于大多数天然源引起的剂量大小取决于人类的活动, 因而是可能控制的。下面分别讨论各具特色的各种辐射源。

地表面的宇宙线主要由高能中微子、电子和中子流组成。这些射线致人体所有组织和器官的吸收剂量被视为是相同的。决定剂量大小的主要因素是离海平面的高度, 其次是地磁纬度。苏联居民在室外受到宇宙线照射的平均剂量为 $320\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

具有多层楼板复盖的现代高层建筑可使宇宙线的剂量明显降低。例如, 屏蔽系数对于十层楼内的居民为40%, 五层楼内的为31%, 一层楼内的为14%。

乘飞机飞行的人员会受到附加的宇宙线照射, 现时此种照射的年平均有效剂量当量还不小, 根据UNSCEAR的估计约为 $0.5\mu\text{Sv}$ 。发生太阳耀斑时超音速大型客机的乘客受到的剂量明显增加。耀斑时降低飞行高度是目前唯一可采取的对宇宙线的防护措施。

居民受到的 $\gamma$ 外照射源是在地表土壤、岩石和建筑材料中含有的天然放射性核素。按照UNSCEAR的估计, 发达国家居民的80%时间是在室内度过的, 因此建筑材料中含有的天然放射性核素成为居民受照剂量的主要来源。

室内剂量率取决于建筑材料内天然放射性核素的比活度。现代住房的式样和大小对剂量率与天然放射性核素比活度之间的关系影响不大(变异系数12%)。计及墙壁与护面总厚度以及室内门窗而给出的修正系数取0.7。苏联居民受到天然放射性核素 $\gamma$ 射线照射的

年平均有效剂量当量约为 $370\mu\text{Sv}$ 。根据土壤中天然放射性核素平均比活度估算的室外年有效剂量当量约为 $270\mu\text{Sv}$ 。建筑材料内含有的天然放射性核素的 $\gamma$ 射线照射剂量约为 $100\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

一些国家(瑞典、美国、西德)由于不加控制地应用天然放射性核素比活度较高的建筑材料而导致居民受到的照射剂量明显增加。在苏联为防止此种附加照射而制定了建筑材料放射性标准。

人体内照射剂量由体内含有的 $^{40}\text{K}$ 和铀系、钍系的放射性核素所引起。UNSCEAR估算的 $^{40}\text{K}$ 引起的年有效剂量当量平均为 $180\mu\text{Sv}$ , 是最稳定的成分, 人体组织中钾浓度与铀、钍及其子体相比变化最小。按内照射年有效剂量当量的贡献大小排列, 除氡及其短寿命子体外,  $^{40}\text{K}$ 之后为:  $^{210}\text{Pb}$ - $^{210}\text{Po}$ 子系( $130\mu\text{Sv}$ )、 $^{228}\text{Ra}$ - $^{224}\text{Ra}$ 子系( $13\mu\text{Sv}$ )、 $^{238}\text{U}$ - $^{234}\text{U}$ 子系( $10\mu\text{Sv}$ )、 $^{230}\text{Th}$ ( $7\mu\text{Sv}$ )和 $^{232}\text{Th}$ ( $3\mu\text{Sv}$ ), 合计为 $170\mu\text{Sv}$ 。

铀系和钍系天然放射性核素进入人体的量主要取决于它们在环境介质——空气、饮用水、耕耘的土壤和农产品中的含量。一般认为随同食物摄入人体的天然放射性核素不少于总摄入量的85%, 经由水和空气摄入不超过总摄入量的15%。

放射性核素主要经由食物途径进入人体提示有必要详细估算耕耘土壤中可能增加的天然放射性核素浓度。例如, 施磷肥、火力发电厂的排出物等均可能使土壤中天然放射性核素含量有所增加。在西德, 由于施磷肥导致居民受照剂量增加了5%。采用天然放射性核素浓度较高的地下水作为饮用水时, 有效剂量当量可增高达 $20\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ 。更换此类泉水供水可以避免附加照射。

氡子体照射剂量在居民受照的总有效剂量当量中所占比例最大。它们进入人体主要发生在人员逗留于室内之际, 这与室内氡子体浓度通常总是比大气中的浓度来得高而人们则在室内度过大部分时间有关。

室内氡子体主要来自建筑构(墙壁和护面)和建筑物下土壤逸出的氡, 小部分来自大气、管道水和煤气中的氡。室内空气氡及其子体浓度取决于氡逸入室内的速度和换气速度。自然换气速度的不确定性导

教室内氡及其子体浓度变化范围很大。从建筑物下土壤中的氡逸入室内的量取决于土壤空气中氡的浓度和地面的透射程度。在不良条件下氡的这一进入途径可导致室内空气中氡浓度超过为职业性人员所规定的容许浓度。现代建筑物上层室内氡主要来自建筑构件的散发。逸入速度正比于建筑材料内 $^{226}\text{Ra}$ 的比活度与射气系数的乘积。对室内空气中氡的累积机制和实物研究结果的分析,可估算氡及其子体的有效剂量当量。室外氡及其子体的本底年照射剂量约为 $220\mu\text{Sv}$ 。附加照射来自建筑构件的射气约为 $350\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ ,来自土壤散发的氡约为 $690\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ 。控制这些剂量使之有所降低可采取的措施有:增加换气速度、地面密封、采用防氡护面和更换建筑材料。

电离辐射源已被广泛用于医学诊断和治疗。射线治疗主要用于恶性肿瘤,就恶性肿瘤的性质和大多数癌症患者的年龄而言,射线治疗本身诱发的远后致癌和遗传损害是不重要的。因此下面列出的医疗照射的剂量,仅指在医学中应用射线于诊断时的照射剂量。

X线检查时,病人受到的个人剂量随检查的类别、采用的方法和技术条件以及其它因素的不同变动在百分之几到几十 $\text{mSv}$ 之间。发达国家X线检查的频数达每千人数百次,居民受到医疗照射的有效剂量当量为 $0.60\sim 1.80\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ (平均为 $1.00\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ ),其中98~99%是X线检查所致,仅有1~2%为诊断用放射性药物制剂所致。UNSCEAR报道,近十年来X线检查时病人受到的剂量无下降趋势,虽然在此期间X线机有了明显改进。在放射性核素诊断方面取得了很大进展,由于广泛采用短寿命核素制剂而使病人的体负荷大大降低(降低了百分之九十几)。

X线诊断导致苏联居民受到的平均有效剂量当量为 $1.50\sim 1.85\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ ,放射性核素诊断导致的约为 $0.04\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ 。前一估算值接近UNSCEAR提供的全世界医疗照射平均剂量的上限值,这在很大程度上是由于苏联X线检查的频数甚高,每千人超过了1100次。后一估算值超过了其它发达国家的类似估算值,虽然苏联放射性核素检查的频数比这些国家要低十分之几。这与苏联放射性核素诊断中用短寿命核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 取代 $^{131}\text{I}$ 标记制剂的实施速度较慢有关,从而导致病人的甲状腺剂量较高。

骨髓和骨内膜细胞中, $^{90}\text{Sr}$ 与 $^{90}\text{Y}$ 的剂量当量以及11个器官中 $^{137}\text{Cs}$ 与 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ 的剂量当量的动态变化取决于骨中 $^{90}\text{Sr}$ 及成人全身 $^{137}\text{Cs}$ 的比活度。在苏联它们引起的平均年有效剂量当量1966年为 $40\mu\text{Sv}$ ,1972年为 $29\mu\text{Sv}$ ,1982年约为 $20\mu\text{Sv}$ 。存在着随膳食

摄入 $^{137}\text{Cs}$ 量较高的异常地区,例如,波列西耶地区 $^{137}\text{Cs}$ 的剂量当量为平均值的10倍,北极地区为100倍;上述地区1968~1972年居民受到的有效剂量当量分别为 $0.14$ 和 $1.2\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

假若环境不再受到核爆炸产物的污染,则有效剂量当量将主要随 $^{90}\text{Sr}$ 和 $^{137}\text{Cs}$ 的衰变而下降,到2000年将降为 $10\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

居住在沸水动力反应堆(BBOP)等堆型核电站周围的苏联居民,1980年受到的集体剂量为 $1.8\text{man}\cdot\text{Sv}$ ,相当于平均有效剂量当量 $0.007\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ 。根据UNSCEAR的估算,1980年全世界居民受到核电站和其它核燃料循环企业放射性废物的照射剂量约为 $0.1\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ (不包括职业照射)。核能引起如此低的平均有效剂量当量是采取了严格的放射性排放的卫生规定以控制放射性废物排放量的结果。

个人之间受照射剂量的差别可达几个数量级,以核电站附近为最高,不同作者的估算为 $10^{-2}$ 至 $10^3\mu\text{Sv}$ 。

表 居民受照的平均有效剂量当量( $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ )

照射源	苏联	全世界①
天然照射: 宇宙线	320	300
空中飞行	—	0.5
γ射线: 本底	270	350
附加(建筑材料)	100	
内照射: β辐射体	200	200
α辐射体	—	170
附加: 肥料	0.3	—
火力发电厂排放	1.9	—
吸烟	—	(50)
$^{222}\text{Rn}$ 、 $^{220}\text{Rn}$ 本底	220	
附加: 建筑材料	350	970
土壤	690	
合计	2300	2000
医疗照射: X线诊断	1650	1000②
放射性核素诊断	40	
合计	1700	1000
核武器试验	20	
核动力	$0.007\sim 0.1$	0.1
职业照射	—	4②
总计	4000	3000

注: ①为UNSCEAR的估算值;

②为工业发达国家的资料;

③“—”表示缺乏资料。

根据卫生规章,应控制排入环境的放射性核素量,以使核电站附近的照射剂量不会超过 $250\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

假定把现今采用的核燃料加工技术维持到2000年,由核燃料循环企业排放的 $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{14}\text{C}$ 和 $^3\text{H}$ 所造成的全球影响将起重要作用,因而可能提出限制它们排放的问题。

居民受到各种照射源的平均有效剂量当量列于表中。苏联居民受到天然源照射的剂量接近全世界的平均值,但受到医疗照射的剂量则明显偏高。

个别地区的居民可受到与上述平均剂量有较大出入的剂量。例如,建筑物下土壤空气中氡浓度较高及建筑材料、饮水中天然放射性核素含量较高等情况下,可导致受照剂量超出平均剂量数倍。居民中受到多次X线检查的成员,他们受到的剂量可比平均剂量高很多。研究居民受照剂量的变异程度是放射卫生学的重要任务。

(章仲侯译)

## DNA 修 复 的 进 展 和 问 题

Painter RB, Proceedings of 7th international congress of radiation research, Amsterdam, B2-R 205, 1983 (英文)

关于DNA修复的研究,差不多已经进行了25年。Rupert (1960)最早证明,当曝露在可见光下用酵母提取液培育DNA时,可使紫外线(UV)诱导的DNA损伤得以逆转。四年后,Setlow等及Boyce等同时报道了可从活大肠杆菌(*E. Coli*)细胞的DNA中将胸腺嘧啶二聚体进行特异切除。同年稍后,Rasmussen等首先报道了哺乳动物细胞的S期外DNA合成(UDS)的证明,随后于1969年,Painter又指出它是切除修复的一个插入步骤。McGrath等创立的与最低限度剪切DNA有关的碱性蔗糖梯度技术证明了电离辐射诱导的细菌DNA单链断裂可以修复,并且Lett等应用这种方法证明,哺乳动物细胞也出现相似过程。

这些早期实验结果确已证明,经过电离辐射或UV照射的原核细胞以及真核细胞都存在着DNA的修复。但阐明DNA修复的精细机制并不那么容易。一个最明显的例子,就是对*E. Coli*切除修复的研究。早已证明,UV诱导的DNA损伤切除修复,是受散在分布于染色体上的三种基因(UVR<sub>A</sub>、B、C)调控的。多年来,人们一直不知道这三种基因产物的功能,但一般都认为是组成性产物的功能(译者注:原核体中调节子或操纵子的负功能)。在过去5年中本领域所取得的迅速进展,说明了在经过长期沉闷之后是如何突飞猛进的。首先是在*E. Coli*中存在的另一个修复系统,即不切除损伤的旁路修复系统,在rec系统调控下的这些UVR基因中,至少有两个UVR基因是诱导产生的。其后,Rupp等应用重组DNA技术证明,

UVR系统的三种基因产物联合成一个复合物,在损伤的两端切割DNA骨架,可以全切12或13个碱基序列(图1)。因此前些年不仅搞清楚了UVR系统的功能和调控,而且阐明了它们在修复中的作用机制,还说明以前提出的需要聚合酶I参与的切除模式是错误的。

Samson等发现了一个新的无错误修复系统——*E. Coli*的适应性修复。该系统由两部分组成,一与减少突变率的修复有关,二与减轻杀伤的修复有关。第一部分是由转烷基系统(transalkylation system)来完成的,即把因烷化剂作用而在鸟嘌呤O<sub>6</sub>基团上形成的碱基直接转移到催化这种转移的蛋白质上(Ollson等,1980),转移甲基作用还可发生在DNA上的别的甲基化位点(Schendel,1983)。第二部分是由于糖基酶产生增多,用以清除3-甲基腺嘌呤、7-甲基鸟嘌呤以及3-甲基鸟嘌呤。从本次会议报道的情况来看,X射线、γ射线或UV照射损伤时不出现这种反应。

在研究*E. Coli* DNA修复过程中发现,UV诱导的遗传突变,不是一种被动过程,此过程需要一种特殊的基因产物——umuC。通常认为,rec-lex(SOS)系统可产生突变是因为受此系统影响的DNA修复过程的某些步骤发生了错误倾向。但是rec<sup>+</sup>、lex<sup>+</sup>、umu<sup>-</sup>细胞不容易受UV作用而发生改变,因此,存在着错误倾向的DNA修复的概念,现正处于某种混乱之中。目前令人关注的是umuC基因产物产生突变的过程。