

16. Rantelias GE et al; Health Phys 49: 425, 1985.
17. Pantelias GE et al; Mutat Res 149:67, 1985.
18. Hittelman WN et al; Mutat Res 23:251,

1974.
19. Yun-Fai Lau et al; Experientia 32:917, 1976.
20. Cornforth MN et al; Chromosome 88:315, 1983.

世界正常辐射本底地区天然辐射年剂量

中国医学科学院放射医学研究所 诸洪达综述 北京放射医学研究所 史元明审

人类接受电离辐射照射的主要贡献来自天然辐射源,包括外照射和内照射。本文旨在简要介绍联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)1986年对世界正常辐射本底地区天然辐照年剂量的最新估算值,并与其前一次估算值进行了比较。

一、历史的回顾

联合国原子辐射效应科学委员会自1955年成立以来,为联合国对原子辐射的对策提供辐射水平和效应方面的科学资料,每年向联合国大会报告并每隔数年公布一次附有详细科学资料作为附件的较全面的报告书。这一系列报告书自1958年开始以来,1962、1966、1969、1972、1977、1982及1986年共发表了九个报告书。每个报告书大致由总结、概述主要结论的正文及若干个相当详尽地分别介绍结论所依据的科学研究进展情况的附件所组成。报告书一贯重视来自天然辐射源辐照的估算,因为此类辐照不随时间有大的变化。接续的报告中剂量估算值的变动反映了天然辐射领域关于放射性在环境、人体组织中含量水平及所采用的剂量学模式和量的逐步深刻的认识。1986年的正式报告书只限于效应。而《来自天然辐射源的辐照》是1986年的资料稿,该文本是由以D. Beninson(阿根廷)为主席的物理组提出的,这是该委员会对天然辐射源辐照的最新估算。

诚如该文件所述^[1], UNSCEAR 多次

评论了来自天然辐射源的辐照,其理由主要是:

1. 天然本底辐射是大多数个体所受总辐射辐照的主要部分,经常是辐射的最主要来源。

2. 假如剂量-效应关系不是线性的话,为了估算其它的、较次要的辐照来源所造成的辐射损害,必需有对天然本底所致剂量的了解。

3. 天然辐照可分为两类:一类明显地随人的实践而变化,而另一类则不随人的实践而变化。因此,前者是容易控制的。

4. 由于天然辐射源具有大的可变性,某些个人剂量可能高到需要采取补救措施的程度。

因而,文献1中更重视有关‘高’水平的辐照及其放射性物质的来源。所谓‘高’水平是指比天然辐射环境组分的世界平均估算值的3倍还大。‘正常’水平即指在世界平均值的3倍的范围以内。

二、正常本底地区天然来源辐照世界平均值的最新估算值及其与1982年估算值的比较

表1比较了该委员会1982年和1986年关于天然辐射源对生活在正常辐射本底地区的人口所致年剂量的不同估算值^[1,2]。

与1982年相比,最新估算中所作的主要改进是:

1. 就宇宙射线外照射而言,电离组分

表1 正常本底地区天然来源每人的年有效剂量当量估算值比较 (μSv)

辐 射 来 源	外 照 射		内 照 射		合 计	
	1982年 报告书	1986年 报告书	1982年 报告书	1986年 报告书	1982年 报告书	1986年 报告书
宇宙线: 电离组分	280	240				
中子组分	21	42				
宇生放射性核素			15	15	15	15
原生放射性核素: ^{40}K	120	150	180	180	300	330
^{87}Rb			6	6	6	6
^{238}U 系: $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{U}$	90	100	10	5	1 044	1 239
^{230}Th			7	7		
^{226}Ra			7	7		
$^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{214}\text{Po}$			800	1000		
$^{210}\text{Pb} \rightarrow ^{210}\text{Po}$			130	120		
^{232}Th 系: ^{232}Th	140	160	3	3	326	336
$^{228}\text{Ra} \rightarrow ^{224}\text{Ra}$			13	13		
$^{226}\text{Rn} \rightarrow ^{208}\text{Tl}$			170	160		
总 计 (化整)	650	700	1 340	1 500	2 000	2 200

的年有效剂量当量减少了 $40\mu\text{Sv}$,以考虑建筑材料的屏蔽效应;而中子组分的年有效剂量当量增高了一倍,以适应近来ICRP所推荐的中子品质因子的改变。

2. 对原生放射性核素的外照射,年有效剂量当量估算值提高了 $60\mu\text{Sv}$,这是根据对室内 γ 吸收剂量有了更多的了解。

3. 对原生放射性核素的内照射,最新估算中对 $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{U}$ 、 $^{210}\text{Pb} \rightarrow ^{210}\text{Po}$ 亚系以及 $^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{208}\text{Tl}$ 亚系总共降低了 $25\mu\text{Sv}$,而对 ^{222}Rn 的短寿命衰变产物则根据各地全国性的室内调查的初步结果,其估算值增加了 $200\mu\text{Sv}$ 。

这些修正的总结果使总年有效剂量当量估算值增大了10%,为 2.2mSv 。

三、关于宇宙线和地球来源的外照射所致剂量的变动

与中子组分所致剂量估算值增加相反,电离组分的估算值却有所下降。和前次报告书一样,委员会估算来自宇宙射线电离组分在室外大气中吸收剂量率为 32nGyh^{-1} (数值上等于有效剂量当量)。最新的估算是假

定平均屏蔽因子0.8,平均室内的吸收剂量指数率在海平面估算为约 26nGyh^{-1} ,对宇宙线电离组分采用品质因子1,室内占据因子0.8,则年有效剂量当量估算为约 $240\mu\text{Sv}$ 。

来自地球上原生放射性核素的外照射可由室外和室内辐照相加,或室外辐照结合以室内辐照对室外辐照的比值由室外辐照来估算。从1977年报告书开始,该委员会采用 50nGyh^{-1} 作为世界人口大气中吸收剂量率的加权平均值。世界上居住在‘通常’天然辐射地区人口中,有95%居住在原生放射性核素在室外大气中吸收剂量率范围为 $30 \sim 70\text{nGyh}^{-1}$ 的地区。迄今为止各地大规模调查结果证实了其正确性^[1~3]。按土壤密度 1.6g/cm^3 、含水量10%、 ^{238}U 和 ^{232}Th 与子体放射平衡可估算出土壤中 ^{40}K 、 ^{238}U 和 ^{232}Th 平均比活性及地面上1米处的吸收剂量率,见表2^[4]。美国近年来所进行的大规模土壤调查结果与表2土壤的比活性十分一致^[5]。

了解室内辐射水平对于估算人口辐照是重要的,因为大部份人在室内度过大部分时间。近年来,某些欧洲国家进行了关于室内

表2 ^{40}K 、 ^{238}U 和 ^{232}Th 在土壤中平均比活性和地面1米处吸收剂量率

射核或 衰变系	土壤中单位比活性相应剂量率 ($\text{nGy h}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$)	土壤平均比活性 (Bq/kg)	大气中吸收剂量率 (nGy h^{-1})
^{40}K	0.043	370(100~700)	16(4~30)
^{238}U	0.427	25(10~50)	11(4~21)
^{232}Th	0.662	25(7~50)	17(5~33)

注：括号中列出典型范围

γ 外照射的大规模调查，室内大气中平均吸收剂量率的算术平均值为 70 nGy h^{-1} ，该值被委员会用为世界平均估算值。按过去报告书估算方法，采用室内对室外外照射吸收剂量率比值1.3，室外大气中平均吸收剂量率为 50 nGy h^{-1} ，得出平均室内吸收剂量率为 65 nGy h^{-1} ，与委员会所采用的 70 nGy h^{-1} 十分一致。因此，地球上原生放射性核素所致外照射有效剂量当量，在最新估算中由原来自 $650 \mu\text{Sv}$ 修正为 $700 \mu\text{Sv}$ 。

四、关于 ^{238}U 、 ^{210}Pb 和 ^{220}Rn 亚系内 照射剂量估算的修正

天然存在放射性核素的吸入和食入是内照射的两个途径。如委员会过去报告书一样，从测定的有关组织中的活性浓度资料来估算吸收剂量和有效剂量当量。生活在正常膳食水平地区的成人骨中， ^{238}U 比活性的测得值现在更丰富了。现在认为平均比活性为 50 mBq kg^{-1} ，减小到委员会过去估算值的 $1/3$ ，相应的年有效剂量当量修正为 $5 \mu\text{Sv}$ ；关于 ^{222}Rn 长寿的衰变产物 ^{210}Po ，现认为火山喷出的贡献大致和地面 ^{222}Rn 逸出同样重要〔6〕。在北半球中纬度地区，地面大气中 ^{210}Pb 浓度为 0.5 mBq m^{-3} ，相应的 ^{210}Po 浓度约为 0.04 mBq m^{-3} 〔7〕，这低达1982年报告书采用值的2.5倍。 ^{210}Pb 亚系的吸收剂量主要由 ^{210}Po 的高能 α 粒子所贡献， ^{210}Pb 、 ^{210}Bi 辐射仅贡献总量的10%左右，在正常膳食地区的非吸烟者，来自摄入 ^{210}Pb 、 ^{210}Bi 和 ^{210}Po 的总计年有效剂量当量约为120

μSv ；对于 ^{220}Rn 亚系，由室外和室内吸入所致年平均有效剂量当量采用了Jacobi和Eisfeld的剂量学参数而估算为 $16 \mu\text{Sv}$ 〔8〕。

五、对于 ^{222}Rn 及其短寿命衰变产物 内照射剂量估算值的修正

过去的数年内，关于吸入 ^{222}Rn 及其短寿命衰变产物，特别是在室内可能引起潜在危害的知识一直在增加，以致于对这一主题出现了很多科学报告、论文和会议。委员会在1986年文稿中专门另立一章讨论了这一问题。

在1982年报告书中，采用了1977年报告书中所用的室外 Rn 子体的平衡因子0.6、 ^{222}Rn 大陆平均浓度为 3 Bq m^{-3} 。假定每天在室外5小时，可得出由于室外大气吸入所致平均年有效剂量当量 $56 \mu\text{Sv}$ ；对于室内大气中 ^{222}Rn 浓度当时已很重视，委员会在该报告书中综述和评论了10多个国家关于室内氡的平衡当量浓度的调查结果和年有效剂量当量的估算值。认为对于温带人口室内浓度平均值采用 15 Bq m^{-3} 是适当的，从而估算来自室内辐照和室外辐照的平均年有效剂量当量分别为 0.92 mSv 和 0.06 mSv ，总计吸入 ^{222}Rn 及其短寿命子体造成了约 1 mSv 的年有效剂量当量。考虑到赤道地区，全世界年平均有效剂量当量估算为 $800 \mu\text{Sv}$ 〔2〕。

在1986年文稿中，委员会认为美国正常地区室外 Rn 平均浓度 9 Bq m^{-3} 〔9〕可能是温带大陆地区的代表值，并暂时确定在室外大气中的年人口加权平均 Rn 浓度为 5 Bq m^{-3} ，

比1982年报告书为高;对地面以上1米处Rn与子体平衡因子采用代表性的0.8,而不是前次报告书上的0.6,从而得出室外平均平衡当量浓度 4 Bq m^{-3} 。对室内的大气考虑了建筑材料、室外大气的进入、表层土壤中的逸出、水和天然气等来源的Rn进入室内空气的速率以及室内占据因子0.8,对室内、外年有效剂量当量分别估算为 $950\text{ }\mu\text{Sv}$ 和 $60\text{ }\mu\text{Sv}$,合计约为 $1\text{ }000\text{ }\mu\text{Sv}$ 。

参 考 文 献

1. UNSCEAR: Exposures From Natural Sources of Radiation (prepared in the Secretariat), Thirty-fifth Session of UNSCEAR, Vienna, 1986.

2. UNSCEAR Rep. 1982.
3. UNSCEAR Rep. 1977.
4. Beck HL: The Natural Radiation Environment 2 P. 101, USERDA, CONF-720805-p2, 1982.
5. Myrick TE et al: Health Phys 45:631, 1983.
6. Lambert G et al: J Geophys Res 87: 11103, 1982.
7. Winkler R et al: Health Phys 41:495, 1981.
8. Jacobi W and Eisfeld K: Internal Dosimetry of Radon-222, Radon-220 and Their Short-lived Daughters, GSF-S-626, 1980.
9. Gesell TF: Health Phys 45:289, 1983.

电离辐射对哺乳动物细胞DNA合成的抑制作用

Painter RB: Int J Radiat Biol 49(5):771~781, 1986 (英文)

一、前言

四十多年来,哺乳动物细胞DNA合成的辐射效应一直吸引着放射生物学家们。人们普遍认为:电离辐射对DNA合成抑制的剂量反应曲线可分两相,即低剂量时的陡相和高剂量时的平相。但对此无统一解释。

1963年,Coirns证明大肠杆菌所有的DNA是约3000kb的单一大分子,整个分子由一个复制点复制,由于把这一概念引入到哺乳动物模型,致使把哺乳动物细胞的研究工作引向歧途。后来,人们应用放射自显影及平衡密度梯度技术证明了哺乳动物细胞复制子量多(约 10^6)而小(20~100kb),从而奠定了实验工作的基础,促进了对双向剂量反应曲线的更全面地了解。

二、电离辐射所致DNA合成抑制剂量反应曲线

Okada曾提出:辐射剂量反应曲线的快

相(陡相)是由于DNA复制单位在启动复制之前就受到辐射作用而形成的,慢相(平相)则是复制单位在复制过程中,辐射影响其DNA合成而形成的。后来,Watanabe应用纤维素放射自显影技术,首次为此设想提供了可信证据。以后的学者包括Okada本人应用碱性蔗糖梯度技术、对小鼠L₅₁₇₈Y、人HeLa细胞、中国仓鼠细胞等进行研究,证实了低剂量照射后不久,新生低分子DNA片段显著减少,复制子启动受到抑制。

除纤维素放射自显影外,一些科学共同体成员对其哺乳动物细胞DNA合成的测定方法都持不信任态度。原因是有人认为,应用此项技术所观察到的掺入大部分是修复复制,尽管在这类实验中,修复复制的掺入量不足整个掺入量的0.1%。

电离辐射诱发复制子启动抑制已经通过pH逐级洗脱技术进行了测定。这项技术不但独立地肯定了启动抑制的正确性,而且还可以分离和制备那些相对多而分子量各异的