

表 3 5 种 CT 检查 DLP 和有效剂量

CT 检查	DLP (mGy·cm)	有效剂量(mSv) (P-Dose/CT 计算值)	R_E [mSv(mGy·cm) ⁻¹] (有效剂量/DLP)
头部	490.8	1.39	0.28×10^{-2}
胸部	479.6	8.80	1.83×10^{-2}
腹部	348.8	6.18	1.77×10^{-2}
腰椎	261.6	4.14	1.58×10^{-2}
骨盆	436.0	8.54	1.85×10^{-2}

表 4 5 种 CT 检查病人器官剂量和有效剂量

CT 检查	器官剂量(mSv) (CTDIW 估算值)	估算误差 (%)	有效剂量(mSv) (DLP 估算值)	估算误差 (%)
头部	36.40	0.28	1.37	1.44
胸部	25.07	20.47	8.53	3.07
腹部	25.07	8.33	6.21	4.85
腰椎	25.07	19.55	4.65	12.32
骨盆	25.07	15.52	7.76	9.13

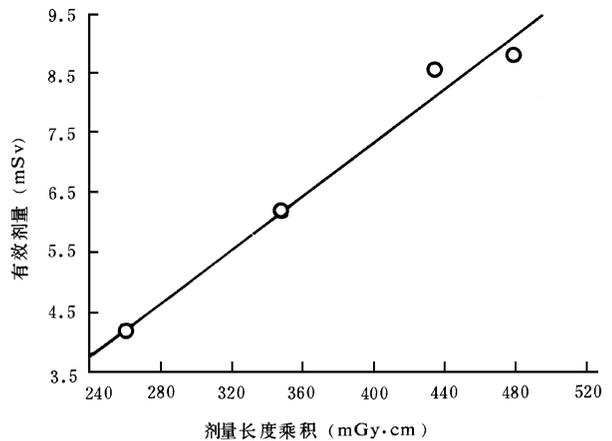


图 2 有效剂量和 DLP 相关性

参 考 文 献

- 1 Goddard CC, Al-Farsi A. Radiation doses from CT in the sultanate of Oman. *Bri J Radiol*, 1999, 72: 1073-1077.
- 2 Hidaï N, Maurer J, Schroder RJ, et al. Relationship between physical dose quantities and patient dose in CT. *Bri J Radiol*, 1999, 72: 556-561.

(收稿日期: 2000-06-06)

氡暴露的剂量评价方法

郭秋菊 孙建永

吸入氡子体可以导致对人体的辐射照射,通常称为暴露(exposure)。在对氡子体的暴露进行剂量评价和危险度的估算、比较时,需要把氡子体的暴露量换算为有效剂量。就其具体的剂量估算方法,联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)、国际放射防护委员会(ICRP)、美国电离辐射生物效应委员会(BEIR)等国际组织均提出了相应的方法,在此可以概括地将其分为两类,即(1)剂量学评价方法,(2)流行病学评价方法。

UNSCEAR 一直采用的是剂量学评价方法。剂量学评价方法是根据 ICRP 第 32 号出版物(1981 年)提出的剂量学模型为基础的。之后,随着组织学、呼吸道解剖学以及呼吸道不同组织辐射敏感性等研究的进展,ICRP 又不断地对呼吸道模型进行了完善和改进。在第 66 号出版物(1994 年)中,ICRP 提出了新的呼吸道模型,同时还提出了一些新的用于呼吸道剂量计算的参数。但是 ICRP 在其第 65 号出版物

(1993 年)中却指出:该模型的实际应用尚待开发(37,即 ICRP 第 65 号出版物第 37 段,下同);由于该模型存在着很多不确定因素,因此,委员会建议,剂量学模型不应当用于评价和控制氡的照射(38)。

ICRP 过去曾经在其出版物中同时采用过剂量学和流行病学这两种方法,如第 32 号出版物中的氡子体限值即是通过流行病学和剂量学两种途径推导得出的。但在第 65 号出版物中,委员会建议电离辐射照射对健康带来的后果的估计最好基于人群的流行病学研究(29)。从这一立场和原则出发,在 ICRP 第 65 号出版物中,不再把剂量学方法当成是对氡暴露进行评价和控制的手段,而用流行病学方法取而代之了。

本文作者就 ICRP 第 65 号出版物中氡子体暴露与所致肺癌危险系数之间定量关系的估算方法进行介绍和说明,旨在为涉及氡的环境评价中提供有益参考。

一、有效剂量的估算

人体吸入含有一定浓度氡子体的空气所受到的照射是

由短寿命子体衰变时放射出的 α 粒子所致。人类接受的照射量即氡子体的 α 潜能照射量或称暴露量, 其数值是在给定时间内空气中氡子体混合物 α 潜能浓度, 或相应的氡平衡等效浓度的时间积分(19)。即:

$$P(T) = \int_0^T C(t) dt$$

式中: P: 子体暴露量($J \cdot h \cdot m^{-3}$); T: 给定暴露时间(h); C: 潜能浓度或平衡等效氡浓度($J \cdot m^{-3}$ 或 $Bq \cdot m^{-3}$)。

如何将暴露量转换为有效剂量是效应评价的关键, 也是本文要介绍和说明的主要内容。我们可以将有效剂量的计算简化为下式:

$$E = P \times K$$

式中: E: 有效剂量(mSv); P: 子体暴露量($J \cdot h \cdot m^{-3}$); K: 剂量转换系数或者是剂量约定转换 $mSv / (Bq \cdot h \cdot m^{-3})$ 。

我们在这里只讨论剂量约定转换。剂量约定转换 (conversion conventions) 是 ICRP 第 65 号出版物中使用的术语, 是根据同等危害将用 WLM 表示的氡子体暴露量与用 mSv 表示的有效剂量联系起来的方法(附件 C)。其根据是危害相等, 而不是剂量测定(56)。

剂量的约定转换的主要依据是肺受到辐射照射时产生的危险定量资料。资料主要来源于日本原子弹爆炸幸存者的寿命研究(Japanese Life Span Study)和铀矿工人等的流行病学调查。其中, 寿命研究提供了有关全肺受到完全均匀的, 主要是 γ 辐射照射时的癌症死亡系数的估计值, 而矿工的流行病学研究则给出了致死性肺癌发病率与采矿环境中氡子体浓度之间关系的资料(31)。

我们在推导过程中, 首先要知道两点,¹ 单位暴露量的标称概率系数(死亡)。在此, ICRP 参考了铀矿工人的流行病学数据以及包括中国在内的 5 个国家的肺癌死亡系数基线值, 给出标称概率系数(死亡)为 $8.0 \times 10^{-5} (mJ \cdot h \cdot m^{-3})^{-1}$ 。^④单位有效剂量所造成的危害。从寿命研究中可以得出: 公众的危险系数为 $7.3 \times 10^{-5} \cdot mSv^{-1}$; 工作人员的危险系数为 $5.6 \times 10^{-5} mSv^{-1}$ 。

综上所述, 剂量约定转换 K 应为 ¹ / ^④, 则公众的约定转换为 $1.1 [mSv(mJ \cdot h \cdot m^{-3})^{-1}]$; 工作人员为 $1.4 [mSv(mJ \cdot h \cdot m^{-3})^{-1}]$ 。

ICRP 第 65 号出版物最后还给出了在环境调查和评价中, 对于公众的剂量约定转换为 $6.09 \times 10^{-6} [mSv(Bq \cdot h \cdot m^{-3})^{-1}]$ 。我们仅就室内暴露进行了计算, 采用 0.4 为室内平衡因子, 并将其包含在约定转换中。

在此, 剂量约定转换与剂量转换系数的导出过程是完全

不同的, 前者是通过流行病学途径得出的, 而后者是通过剂量学途径推导得出的。

二、存在的问题

剂量学方法是 ICRP 第 65 号出版物颁布之前的主要方法, 沿用至今, 其存在的问题主要包括:¹ 子体的未附着份额和粒子的粒径分布应是实际环境中的实测值, 但有关这方面的测量结果非常有限, 同时可适用环境的局限性也较大。^④与呼吸量有关的数据以及具体的分析的评价工作开展得极少。^(四)肺模型在具体应用时的妥当性尚有争议, 这里包括沉积部位、靶细胞的位置、 α 粒子的所致剂量的贡献份额以及年龄等。

另一方面, 由流行病学的途径导出的剂量约定转换也存在着一些不确定因素。例如:¹ 在推导过程中, 直接引用了铀矿工人的暴露量, 但在实际的氡子体暴露过程中, 公众的暴露形式与矿工的暴露形式是有较大差异的。^④日本原子弹爆炸幸存者所受到的照射主要是 γ 和中子照射, 将这些数据直接引用到氡子体暴露的评价上是否完全合适。^(四)在流行病学数据中, 包含有混杂因素 (confounding factor), 同时由于例数有限, 误差也较大。

剂量学方法和流行病学方法这两种途径在推导过程中的诸多差异, 最后均集中体现在剂量换算系数和剂量约定转换这两个系数上。在此, 我们不考虑这两种方法在理论上的差异, 仅从数据上做一下比较。在 1988 年和 1993 年 UNSCEAR 报告中, 给出的换算系数数值分别为 $10 \times 10^{-6} mSv / Bq \cdot h \cdot m^{-3}$ 和 $9 \times 10^{-6} mSv / Bq \cdot h \cdot m^{-3}$, 如果取剂量转换系数为 $9 \times 10^{-6} mSv (Bq \cdot h \cdot m^{-3})^{-1}$; 剂量约定转换为 $6 \times 10^{-6} mSv (Bq \cdot h \cdot m^{-3})^{-1}$, 可以看出前者比后者约大 1.5 倍。进一步比较, 如果直接使用这 2 个系数来对氡子体暴露进行效应评价, 则由剂量学途径得到的数值较大, 而通过流行病学得到的数值仅为前者的 $2/3$ 。

因此我们有必要在实际环境测量评价中, 特别是在分析和比较不同时期的数据时, 应注意其在有效剂量推导方法上的不同, 以确保数据的可比性。

参 考 文 献

- 1 李素云, 译. ICRP. 国际放射防护委员会第 65 号建议书. 北京: 原子能出版社, 1993.
- 2 孙世荃, 李素云, 译. ICRP. 国际放射防护委员会第 32 号建议书. 北京: 原子能出版社, 1981.

(收稿日期: 2000-10-08)