

X、 γ 射线和中子所致皮肤剂量 估算方法的研究

贾德林

(中国医科院中国协和医科大学放射医学研究所, 天津 300192)。

摘要 为了能够对皮肤剂量的估算使用较合理的方法及较可靠的资料, 使皮肤剂量的估算有可比性和相对较好的可靠性, 本文给出了 X、 γ 射线和中子所致皮肤剂量估算的一般原则和方法, 以及有关参数的使用, 其中包括: 除必要时需给出 0.3~0.5mm 深处的皮肤剂量外, 一般可用皮肤 0.07mm 深处的剂量来代表皮肤剂量; 对不均匀照射, 可用 1cm² 的面积上的平均剂量代表该处皮肤剂量; 文中给出了如何由照射量、空气比释动能或粒子注量求得皮肤剂量的一般方法, 以及如何利用反散射系数、空气比释动能到吸收剂量或照射量到吸收剂量的转换系数近似求得皮肤剂量的方法等。

关键词 X 射线 γ 射线 中子 皮肤剂量 估算方法

在外照射中, 人体皮肤受照剂量可能远高于深层器官或组织, 因而易于受到损伤, 对皮肤剂量的监测和评估日益受到各国学者和有关国际组织的重视^[1~5]。皮肤损伤主要是由 X、 γ 、 β 射线或中子所致, 本文仅就 X、 γ 射线和中子所致皮肤剂量估算问题进行研究。

由于皮肤剂量的估算难度较大, 可存在较大的误差, 即使进行剂量测量也难于获得准确的结果, 为了能够在皮肤剂量的估算中使用较合理的方法及较可靠的资料, 以便使皮肤剂量的估算有可比性和较好的可靠性, 因此对有关皮肤剂量估算的原则和方法进行研究是必要的。

1 皮肤剂量估算的一般原则

在 ICRP59 号出版物中^[1], 对皮肤剂量估算的建议中提到: 由诱发皮肤癌症和确定性效应的细胞是在皮肤的不同深度, 所以剂量测量应在两个深度, 即 0.02~0.1mm 和 0.3~0.5mm。ICRP26 号出版物^[6]的观点认为, 皮肤的基底层是具有最大危险度的细胞位置。ICRP26 号和 60 号出版物^[7]都建议皮肤的基底层深度范围是 0.05 到 0.1mm, 并认为 0.07mm 是基底层深度的一个合理均值。

X、 γ 射线和中子, 大多属于强贯穿辐射, 穿透力较强。在电子平衡的条件下, 0.07mm 深处与 0.3~0.5mm 深处的剂量差异很小。例如 0.07mm 厚的皮肤仅使低于 15keV 的光子(即弱贯穿辐射光子)减弱大于 1%; 而对 0.4mm 厚的皮肤对 15keV 的光子减弱

6%; 对 30keV 的光子仅减弱 1%。所以, 对绝大多数 X、 γ 射线而言, 在达到电子平衡的条件下, 皮肤 0.07mm 深处的剂量与皮肤较深处的剂量相差不大。因此, 对能量小于 15keV 的弱贯穿辐射光子或者在 0.07mm 处未达到电子平衡的情况, 一般亦可用皮肤 0.07mm 深处的剂量来代表皮肤剂量。

皮肤受照通常是不均匀的, 无论从剂量监测和剂量评估来考虑, 都需要规定一个适当的面积, 在该面积上进行剂量平均, 有关文献^[4]建议采用 1cm² 的面积, 此面积与日常监测用的热释光剂量片的面积大小相近。

皮肤损伤的确定性效应受照射面积、辐射能量、照射的均匀度、剂量率及照射的间隔时间等因素的影响^[1]。例如: 当受照面积为 1cm², 皮肤产生坏死的剂量为 43.2Gy, 而照射面积为 10cm² 时只需 22.5Gy。引起一定程度皮肤损伤所需的 X 或 γ 射线剂量 D 与受照面积的直径 L, 大致符合下述关系: $D \propto \frac{1}{\sqrt[3]{L}}$ 。射线的种类不同, 引起一定皮肤损伤

的剂量阈值不同, 一般硬 X 线和 γ 射线产生一定皮肤损伤的剂量阈值要高于 β 射线及软 X 射线。另外, 照射的剂量率高或照射时间间隔短皮肤的损伤效应就大; 而剂量率低或间隔时间长, 受照皮肤可能出现明显的修复, 其皮肤的损伤效应就小。例如, 人的皮肤受 X 或 γ 射线一次短时间照射, 在 10cm² 面积上引起红斑的剂量为 6~8Gy, 而多次分隔或长时间延续照射则需 30Gy 以上。由于这些因素都不同程度的影响皮肤效应, 因此在给出

皮肤剂量估算数据时,对这些影响因素也应加以说明。

监测皮肤剂量的个人剂量计一般应能分别测得表皮(平均深度 0.07mm)和真皮(0.3~0.5mm 深)的剂量。对 X、γ 射线和中子,如果在皮肤厚度(0~0.5mm)内由于电子平衡和皮肤层的吸收较弱影响,其剂量变化不大(小于 5%),则可以用单一的前表面覆盖物厚度小于皮肤厚度的薄片型组织等效个人剂量计(如薄片型氟化锂热释光剂量计),来监测皮肤剂量。

2 皮肤剂量的估算方法

直接监测或模拟测量测得皮肤剂量比较理想。但一般以场所或个人剂量监测数据(照射量、空气比释动能或粒子注量等),进行计算皮肤剂量。这样推算剂量可能带来较大的误差。

当已知受照人员的照射量 X、空气比释动能 K_a 或粒子注量 Φ 时,则可依据下式估算皮肤吸收剂量 D_s

$$D_s = C_x X$$

$$D_s = C_k K_a$$

$$D_s = C_\phi \Phi$$

式中, C_x 、 C_k 和 C_ϕ 分别为照射量、空气比释动能和粒子注量的皮肤吸收剂量转换系数。

ICRU39 号报告^[2]引入的定向剂量当量 $H'(d)$ (d 的建议值为 0.07mm,相当于皮肤基底层平均深度),ICRU43 号和 47 号报告^[3]又对该量做了进一步的阐述,它适于表征皮肤剂量估算。对垂直入射皮肤表面的平行束而言, $H'(0.07)$ 与空气比释动能、照射量和粒子注量的关系也可用于描述皮肤吸收剂量 D_s 与上述量的关系。因此,对垂直入射皮肤的光子,可引用 ICRU47 号报告和有关文献中 $H'(0.07)$ 与空气比释动能、照射量和粒子注量之间的转换系数,用于计算皮肤(0.07mm 深处)剂量。

对 10~250keV 的单能光子垂直入射皮肤表面时,可据下述经验公式计算转换系数 C_k

$$C_k = a + bX + CX^d e^{(gx)^2}$$

式中, $a=0.9505$, $b=0.09432$, $C=0.2302$, $d=5.082$, $g=-0.6997$, $x=\ln(E/E_0)$, 这里 $E_0=9.85\text{keV}$, E 是光子的能量 (keV)。

当已知中子受照人员的中子注量时,则可依据下式得出皮肤剂量当量 H_s :

$$H_s = C_{\phi n} \Phi_n$$

式中, $C_{\phi n}$ 为求得皮肤剂量当量中子注量到吸收剂量的转换系数^[10]。

对于大于 15keV 的 X、γ 射线,用校准的剂量仪测量或经计算得到在自由空气场中的空气比释动能 K_a 或照射量 X,可近似依据下式求得皮肤吸收剂量 D_s :

$$D_s = B f_k K_a$$

$$D_s = B f_x X$$

式中, B 为反散射系数; f_k 为由空气比释动能到吸收剂量的转换系数; f_x 为由照射量的转换系数。一些照射条件下的 B 、 f_k 和 f_x 值可从有关文献中查得。

对于 X、γ 射线,如果人员佩戴经校准的前表面覆盖物厚度小于皮肤厚度的薄片型组织等效个人剂量计,测得空气比释动能 K_{ap} 或照射量 X_p ,则可依据下式近似求得皮肤吸收剂量 D_s

$$D_s = f_k K_{ap}$$

$$D_s = f_x X_p$$

式中, f_k 和 f_x 的意义同上。

3 讨论

3.1 皮肤剂量估算问题包括的内容很多,文中仅就皮肤剂量估算的一般原则和方法进行了讨论,当遇到更为复杂的皮肤剂量估算问题,可通过实际或类似受照条件下的体模测量或利用有关研究结果加以解决。

3.2 在引用有关文献中的数据和参数时,应注意其使用条件。如引用定向剂量当量 $H'(0.07)$ 与空气比释动能、照射量和粒子注量之间的转换系数,应用于计算皮肤(0.07mm 深处)的吸收剂量时,仅限于应用在垂直入射皮肤表面的平行射束(这时二者在数值上近似相等)。如果用这些转换系数于非垂直入射光子,可产生高估皮肤剂量。

3.3 在 ICRU39 号报告中将辐射分为弱贯穿辐射和强贯穿辐射。在均匀单向辐射场中,对某一给定取向的人体,如果其任意小面积的皮肤敏感层得到的剂量当量大于有效剂量

(下转 149 页)

服的, 可以按照《食品卫生法》第五十条或《放射防护条例》第三十二条的规定申请行政复议或提起行政诉讼。

作出行政处罚决定的卫生行政部门对当事人逾期不申请行政复议也不向人民法院起诉, 又不履行处罚决定的, 可以申请人民法院强制执行。

第二十九条 对违反本办法造成严重后果、构成犯罪的, 由司法机关依法追究其刑事责任。

第五章 附 则

第三十条 本规定的下列用语的含义

附录:

中国辐照食品标识



说明: 标识为圆形白底绿色,
直径为 1.5cm 和 9cm 两种

(1995 年 5 月 13 日收稿)

(上接 146 页)

当量的 10 倍, 则该辐射为弱贯穿辐射; 如果其任意小面积皮肤敏感层得到的剂量当量小于有效剂量当量的 10 倍, 则该辐射为强贯穿辐射。在 1992 年发表的 ICRU47 号报告中, 将 β 射线和能量低于 15keV 的光子划为弱贯穿辐射。因而对经常遇到的 X、 γ 射线和中子大多属于强贯穿辐射。

参考文献

- 1 ICRP Publication 59. 1991
- 2 ICRU Report 39. 1985
- 3 ICRU Report 47. 1992
- 4 Dennis JA. Skin dosimetry — radiological

是:

辐照食品: 用钴-60、铯-137 产生的 γ 射线或电子加速器产生的低于 10MeV 电子束辐照加工处理的食物, 包括辐照处理的食物原料、半成品。

新研制的辐照食品品种: 国家辐照食品卫生标准中未列入的食品品种。

第三十一条 本办法由卫生部负责解释。

第三十二条 本办法自发布之日起施行, 原《辐照食品暂行管理规定》同时废止。

protection aspects of skin dosimetry. Radi. Prot. Dosi, 1991, 39 (1/3): 2

- 5 Charles M W. General consideration of the choice of dose limits averaging areas and weighting fact for the skin in the light of revised skin cancer risk figures and experimental data on non — stochas effects. Int. J. Radiat. Biol, 1990, 57 (4): 841
- 6 ICRP Publication 26. 1977
- 7 ICRP Publication 60. 1990
- 8 ICRP Publication 21. 1973
- 9 BCRU Conversion from air kerma to directional dose egivalent for photons below 10 keV.
- 10 ICRP Publication 51. 1987

(1996 年 1 月 9 日收稿)