

·论著·

各向同性 γ 点源剂量学常量计算

马 丽 李士俊*

(海军医学研究所, 上海 200433)

摘 要 本文利用发射光子的各种放射性核素的衰变纲图、空气对光子的质能吸收系数、W 值的最新数据重新计算了 800 多种核素的 $\Gamma_{\delta X}$ 和 $\Gamma_{\delta Ka}$ 值, 经初步比较, 与以前 $\Gamma_{\delta X}$ 和 $\Gamma_{\delta Ka}$ 的值有比较明显的差别, 一般可达 2% 左右。同时利用 ICRU-47 号报告^[1] 给出的换算系数 $C_{H^*, Ka}$, $C_{H', Ka}$ 分别计算了周围剂量当量率常数 $\Gamma_{\delta H^*}$, 定向剂量当量率常数 $\Gamma_{\delta H'}$ 。

关键词 γ 光子 照射量率常数 空气比释动能率常数 周围剂量当量 定向剂量当量
Dosimetric constants calculation of isotropic point source Ma Li and Li Shijun (Naval Medical Research Institute, Shanghai 200433)

Abstract $\Gamma_{\delta X}$ and $\Gamma_{\delta Ka}$ values of over 800 kinds of nuclides which could transmit photons were re-calculated in this study based on their decay schemes, the quality-energy absorption coefficients of air to photons and the new est data of W value. Our results were obviously different from those calculated before at about 2% deviation. We also calculated $\Gamma_{\delta H^*}$ (peripheral dose equivalent ratio constant) and $\Gamma_{\delta H'}$ (directional dose equivalent ratio constant), respectively, by using the conversion coefficients given in ICRU-47 report

Key words γ photon Exposure rate constant Air kerma rate constant Peripheral dose equivalent Directional dose equivalent

1 前言

在外照射剂量计算中, 放射性核素的照射量率常数 $\Gamma_{\delta X}$ 和空气比释动能率常数 $\Gamma_{\delta Ka}$ 是重要的剂量学参数。 $\Gamma_{\delta X}$ 和 $\Gamma_{\delta Ka}$ 的数值与放射性核素的衰变纲图、 (μ_{en}/ρ) 空气值和 W 值有关。随着科学技术的发展, 仪器测量精度的提高, 国内外有关学者对各种放射性核素有了更深入的了解, 某些核素的衰变纲图、空气对光子的质能吸收系数以及 W 值都有了一定的改变。因此, 在计算 $\Gamma_{\delta X}$ 和 $\Gamma_{\delta Ka}$ 的原始数据都发生了变化的情况下, 有必要对 $\Gamma_{\delta X}$ 和 $\Gamma_{\delta Ka}$ 的值重新进行计算。

同时, 为了适应辐射防护的需要, 1985 年 ICRU 39 号报告^[2] 提出了用于辐射防护监测的实用量——周围剂量当量 H^* , 定向剂量当量 H' 。对于能量为 300keV 以上的光子辐射, 它们可分别作为有效剂量和皮肤剂量剂量的保守估计值。

本文拟以 1982 年以来提出的新的参数

值重新计算发射光子的各向同性点源的 $\Gamma_{\delta X}$, $\Gamma_{\delta Ka}$, 并利用 ICRU-47 号报告给出的换算系数进一步推算出各向同性点源的 $\Gamma_{\delta H^*}$ 和 $\Gamma_{\delta H'}$ 。

2 计算方法

2.1 $\Gamma_{\delta X}$ 和 $\Gamma_{\delta Ka}$ 的计算

利用 ICRP Pub. 38^[3] 列出的 800 多种放射性核素的光子能量及产额为依据, 采用 Hubbell^[4] 在 1982 年提出的 (μ_{en}/ρ) 空气值 and 新的 W 值按公式 (1), (2) 分别计算 $\Gamma_{\delta X}$ 和 $\Gamma_{\delta Ka}$ 。

$$\Gamma_{\delta X} = \sum [Y * E * (\mu_{en}/\rho)_a] / [4\pi (W/e)] \quad (1)$$

$$\Gamma_{\delta Ka} = \sum [Y * E * (\mu_{en}/\rho)_a] / 4\pi \quad (2)$$

其中: W/e 是在干燥空气中每形成总电荷量为 1 焦耳的正或负离子时电子平均损失的能量; Y, E, $(\mu_{en}/\rho)_a$ 分别是所考虑核素每次衰变发射的第 i 种光子的产额、能量和空气对

* 苏州医学院放射医学系

第*i*种光子的质能吸收系数。

2.2 $\Gamma_{\hat{a}H^*}$ 和 $\Gamma_{\hat{a}H'}$ 的计算

本文采用ICRU-47号报告给出的平行单能光子束照射条件下,空气比释动能率与周围剂量当量 H^* ,定向剂量当量 H' 的换算系数 $C_{H^*,Ka}, C_{H',Ka}$ 推算 $\Gamma_{\hat{a}H^*}$ 和 $\Gamma_{\hat{a}H'}$ 。对于各向同性 γ 点源,原则上不宜直接采用上述换算系数,但在点源辐射场中,只要所关心的位置与点源距离在1m以内则相应的辐射场便可近似的视为平行辐射场,故可按下列公式计算 $\Gamma_{\hat{a}H^*}$ 和 $\Gamma_{\hat{a}H'}$ 的值。

$$\Gamma_{\hat{a}H^*} = \sum [Y * E * (\mu_{en}/\rho)_a] * C_{H^*,Ka}(E)$$

 $i/4\pi$ (3)

$$\Gamma_{\hat{a}H'} = \sum [Y * E * (\mu_{en}/\rho)_a] * C_{H',Ka}(E)$$

 $i/4\pi$ (4)

其中: $C_{H^*,Ka}(E)$ 是空气比释动能率与周围剂量当量的换算系数;

$C_{H',Ka}(E)$ 是空气比释动能率与定向剂量当量的换算系数;

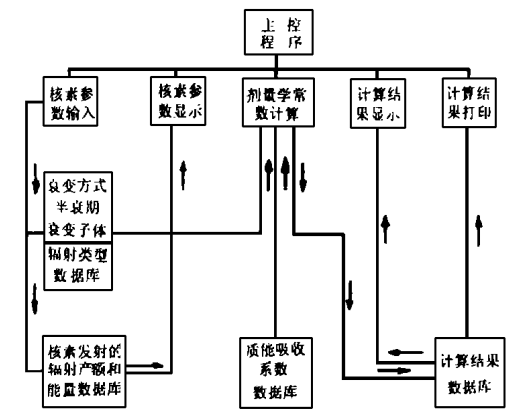
其它参数意义同公式(1),(2)。

计算 $\Gamma_{\hat{a}H^*}$ 和 $\Gamma_{\hat{a}H'}$ 的值的使用条件是位置与点源的距离 $r > 1m$ 。

2.3 计算的程序设计

为了完成上述计算,我们设计了一套计算机软件,该软件包括一个主控程序,五个子程序和三个数据库。五个子程序分别为

核素参数输入、参数显示、剂量学常数计算、结果显示和结果打印;三个数据库分别为:一,核素衰变参数库,其中含核素的名称及其原子序数和质量数、半衰期、衰变方式,辐射类型和子体;二,核素的辐射产额和能量库;三,计算结果数据库。整个程序设计由附图所示:



附图 程序设计方框图

2.4 计算结果

利用上述计算机软件,对ICRP 38号报告中列出的每一种核素(计820种)都作了相应的计算,表1列出了其中某些核素的计算结果。

表1 发射光子的各向同性点源的剂量学常数

母体		放射活性子体		$\Gamma_{\hat{a}Ka}$	$\Gamma_{\hat{a}X}$	$\Gamma_{\hat{a}H^*}(10)$	$\Gamma_{\hat{a}H'}(0.07)$
核素 (半衰期)	衰变 方式	子体 (半衰期)	产额	$Gym^2/(Ci \cdot h)$	$Rm^2/(Ci \cdot h)$	$Svm^2/(Ci \cdot h)$	$Svm^2/(Ci \cdot h)$
Co-60 (5.27la)	Bata(-)			1.126E-02	1.283E+00	1.304E-02	-
*Sc-137 (30a)	Bata(-)	Ba-137m (2.552m)	9.460E-01	2.833E-03	3.234E-01	3.404E-03	5.065E-05
Tc-99m (6.02a)	I T	Tc-99 (213000y)	1.000E+00	6.764E-04	7.721E-02	8.693E-04	9.095E-04
I-131 (8.04d)	Bata(-)	Xe-131m (11.9d)	1.110E-02	1.912E-03	2.183E-01	2.415E-03	5.528E-05

表1中列出了一部分发射光子的放射性核素的数据,包括母体核素的名称、半衰期和产额。各剂量学常量的单位分别为 $\Gamma_{\hat{a}Ka}, Gym^2/(Ci \cdot h)$; $\Gamma_{\hat{a}X}, Rm^2/(Ci \cdot h)$; $\Gamma_{\hat{a}H^*}(10), Svm^2/(Ci \cdot h)$; $\Gamma_{\hat{a}H'}(0.07), Svm^2/(Ci \cdot h)$ 。如果母体核素不发射光子,而其发射光子的短寿命子体与它能达到放射平衡,则母

体核素前打*号。

3 讨论

将本文对 $\Gamma_{\hat{a}X}$ 和 $\Gamma_{\hat{a}Ka}$ 的计算结果与《辐射剂量学常用数据》^[5]一书中给出的相应值比较,可见大部分放射性核素的 $\Gamma_{\hat{a}X}$ 和 $\Gamma_{\hat{a}Ka}$ 值都发生了变化,现列举一部分见表2。

(下转第133页)

从不同组别和照后不同天数测定结果看, 常温组和寒冷组外周血 MN 稳定一致, 计数 1000 个双核细胞有 7~9 个微核细胞。常温照射组和寒冷照射组在照后 14 天内 3 次测定各 1000 个双核细胞中分别有 34, 52, 55, 30, 38, 44 个微核细胞, 同前两组相比有明显差异($P<0.01$), 而这两组之间, 虽然寒冷照射组要比常温照射组 MN 个数少, 但统计学上无差异。

3 讨论

寒冷低温环境通常使机体放射敏感性降低, 称为温度效应或冰冻效应, 这可能是机体代谢变慢所致。黄岩等^[3]最近报告鼻腔疾病放疗时含冰块会使口腔疼痛发生耐受剂量提高, 但很少见到从血液指标来说明这一问题。本文观察到大鼠在 -1~5℃ 下冷适应 14 天后再受照射要比常温饲养受照射后 WBC、Hb 等下降少恢复快的现象, 提示冷适应使机

体对射线增强了抵抗力, 降低了敏感性。尹旭辉等^[3]报道冷适应过程中机体免疫系统的作用在受冷开始后 1 周内降低, 2~3 周增高。本文结果, 或许对核辐射病人的救治和临床放疗有一定的提示意义。

参考文献

1 彭涛, 宋聚忠, 谢怀江, 等. 用 CB 微核法研究离体血辐射剂量与微核率的量效关系 辐射研究与辐射工艺学报, 1997, 15(1): 48.
2 黄岩, 杨建征, 刘永臣, 等. 口腔降温对放射线防护作用的初步观察 中华放射医学与防护杂志, 1994, 14(4): 224.
3 尹旭辉, 姜再福, 徐杨, 等. 冷适应过程中神经内分泌与免疫双重调节机理的研究 军事医学荟萃—第 31 届军事医学大会论文选编, 1996 年 10 月.

(1998 年 1 月 5 日收稿)

(上接第 130 页) 表 2 本文与《辐射剂量学常用数据》中剂量学常数值的比较

核素	$\Gamma_{\alpha X}(\text{Rm}^2/(\text{Ci}\cdot\text{h}))$		$\Gamma_{\alpha Ka}(\text{Gym}^2/(\text{Ci}\cdot\text{h}))$	
	本文	文献 5	本文	文献 5
¹¹ C	5. 882E-01	5. 906E-01	5. 153E-03	5. 060E-03
²² Na	1. 179E+00	1. 191E+00	1. 034E-02	1. 050E-02
³⁸ Cl	6. 767E-01	6. 843E-01	5. 958E-03	7. 680E-03
⁴² K	1. 354E-01	1. 359E-01	1. 191E-03	1. 220E-03
⁶⁰ Co	1. 283E+00	1. 292E+00	1. 126E-02	1. 150E-02
⁶⁶ Ga	1. 143E+00	1. 119E+00	1. 006E-02	8. 120E-03
¹³¹ I	2. 183E-01	2. 167E-01	1. 112E-03	1. 920E-03
¹³⁷ Cs	3. 234E-01	3. 259E-01	2. 833E-03	2. 820E-03
²⁴¹ Am	2. 480E-01	1. 186E+00	2. 172E-03	5. 500E-04

如表 2 所示, 本文 $\Gamma_{\alpha X}$ 和 $\Gamma_{\alpha Ka}$ 的计算结果与文献 5 比较有明显差别, 其差值与文献 5 中数据的比值, 一般可达 2% 左右。

同时, 我们根据 ICRU-47 号报告给出的换算系数计算了放射性核素各向同性点源的 $\Gamma_{\alpha H^*}$ 和 $\Gamma_{\alpha H'}$. ISO (国际标准化组织) 4037^[6]一文给出了关于 Co-60、Cs-137、Am-241 点源的比值 H^*/Ka 和 Am-241 点源的比值 H'/Ka . 表 3 列出 ISO 和按本文结果求得的相应核素点源 H^*/Ka 和 H'/Ka 值。

表 3 本文与 ISO-4037 关于 H^*/Ka 和 H'/Ka 值的比较

核素	$H^*(10)/Ka$		$H'(0.07)/Ka$	
	ISO	本文	ISO	本文
⁶⁰ Co	1. 16	1. 16	-	-
¹³⁷ Cs	1. 20	1. 20	-	-
²⁴¹ Am	1. 74	0. 40	1. 60	1. 03

比较可见, Co-60、Cs-137 点源的 H^*/Ka 值, 本文与 ISO 符合甚好, 而 Am-241 本文与 ISO 差异显著, 这是因为, ISO 将 Am-241 作标准点源计算时只考虑了 59. 5keV 能量的光子, 此时在公式(3)中与 59. 5keV 对应的 $yi=1$, 而本文为了与文献 5 中的数据作比

较, 计算中包括了能量大于 10keV 的全部光子, 因而我们的计算结果不仅计入了 59. 5keV 的光子(此时与 59. 5keV 对应 $yi<1$), 而且还考虑了其低能光子对 H^* 、 H' 的贡献, 由于与低能光子的对应的剂量换算系数与 59. 5keV 不尽相同, 因此造成了我们关于 Am-241 的计算结果 ISO 与的差别。

综上所述, 重新计算各向同性 T 点源剂量学常量对正确估算外照射剂量有重要意义。

参考文献

1 ICRU Rep. 47(1992). 国际辐射单位与测量委员会
2 ICRU Rep. 39(1985). 国际放射防护委员会
3 ICRP Pub. 38. Radionuclide Transformations Energy and Intensity of Emissions(1983).
4 I. H. Hubbell. Photon Mass Attenuation and Energy-absorption Coefficients from 1keV to 20keV. Int. J. Appl. Radiat. Isot. 33, 1269~1280(1982).
5 中国计量测试学会电离辐射专业委员会. 辐射剂量学常用数据. 计量出版社(1987).
6 ISO 4037 Part III Reference Photon Radiations; Calibration of Areand Personal Dosimeters and the Determination of their Response as a function of Photon Energy and Angle of Incidence(1995).
(1998 年 4 月 18 日收稿, 1998 年 5 月 25 日修回)