

·剂量·防护·

X、 γ 、 β 射线和电子束所致眼晶体剂量估算方法的研究

贾德林

(中国医学科学院
放射医学研究所, 天津 300192)
中国协和医科大学

中图分类号: R144 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2000)04-0209-02

摘要: 为了放射性白内障诊断和放射工作人员辐射防护评价的需要, 进行了眼晶体剂量估算方法的研究, 以便使其规范化, 进而制定相应的标准。结果给出了 X、 γ 、 β 射线和电子束所致眼晶体剂量估算的一般原则和方法。一般可用眼表面下 3 mm 和 8 mm 深处的吸收剂量分别表示睁眼和闭眼时的眼晶体剂量。还对眼晶体剂量的监测和模拟测量提出了必要的要求。给出了对 X 和 γ 射线受照人员, 当已知其眼部位的自由空气比释动能、光子注量或照射量时得到眼晶体剂量的方法, 以及对电子束、 β 射线核素受照人员, 依据入射到眼球表面处的电子注量(或眼部污染的面密度)求得眼晶体吸收剂量的方法。

关键词: X 射线; γ 射线; β 射线; 电子束; 眼晶体剂量; 估算方法

眼晶体位于体表浅层, 是辐射敏感器官, 易于受到辐射损伤, 当受到一定电离辐射照射后, 可能发生放射性白内障。发生可查出眼晶体浑浊的剂量(率)阈值, 对急性照射为 0.5~2.2 Gy, 慢性照射为 5 Gy, 年剂量率大于 0.1 Gy·a⁻¹。而发生白内障的剂量(率)阈值, 对急性照射为 5~10 Gy, 慢性照射大于 8 Gy, 年剂量率大于 0.15 Gy·a⁻¹ [1]。

为了区分放射性白内障和非放射性白内障需要估算眼晶体剂量。此外, 由于放射性白内障的发生有一定潜伏期, 为了预测眼晶体受照后发生白内障的可能性, 也需要估算眼晶体剂量。再者, 在对放射工作人员进行辐射防护评价时, 有时也需要估算眼晶体剂量。

由于受电子平衡及体表吸收和散射的影响, 在眼晶体所在的浅表层中剂量变化复杂, 所以像皮肤剂量一样眼晶体剂量的估算也存在较大的难度, 可能存在较大的误差。此研究的目的之一就在于推荐采用合理的方法及较可靠的资料, 规范眼晶体剂量的估算, 制定相应的标准, 使眼晶体剂量的估算有可比性和相对较好的可靠性。为了适应放射性疾病临床诊断和辐射防护评价的需要, 本研究力图给出简便适用的眼晶体剂量估算方法。

1 关于眼晶体剂量估算的一般原则

为了较可靠的估算眼晶体剂量, 一般应依据实际的场所或个人剂量监测数据, 或者通过模拟测量直接得到眼晶体剂量。只是在确实无法获得上述数据时, 才可考虑采用近似的推算方法来粗略的估算眼晶体剂量。

根据眼晶体的解剖学位置和放射性白内障的发病部位, 来确定表示眼晶体剂量的深度, 按 ICRP 26 号出版物 [2] 的建议: “对于成年人, 一般认为眼晶体前表面的赤道带是最易诱发晶体浑浊的解剖区域。为了防护的目的, 赤道带可以认为位于眼球表面之后 3 mm 的地方。”上述建议也一直为人们所应用 [3,4], 所以, 一般可用眼球表面下 3 mm 深处的吸收剂量来表示眼晶

体剂量。如果受照时眼睑遮盖眼球(即闭眼时), 则用上眼睑表面下 8 mm 深处的吸收剂量表示眼晶体剂量。

对于眼晶体剂量监测, 可使用具有一定厚度覆盖物的薄的剂量计置于眼或靠近眼的部位测量。覆盖物和剂量计均应用组织等效材料构成。由于反映眼晶体剂量的适当厚度为 1 mm, 而一个合适的薄的平面剂量计应能累积深度为 2.5 到 3.5 mm 之间的剂量 [4], 所以薄的剂量计厚度应不大于 1 mm。覆盖物的前表面至剂量计的灵敏体积中心的质量厚度应为 300 mg/cm²(有眼睑遮盖时应为 800 mg/cm²)。

如果利用组织等效体模进行模拟剂量测量, 可将薄的剂量计置于体模相应于眼晶体的前表面赤道位置处进行模拟测量, 体模的眼表面至剂量计灵敏体积中心的质量厚度亦应为 300 mg/cm²(模拟有眼睑遮盖时应为 800 mg/cm²)。

只有对眼晶体剂量进行正确的场所或个人剂量监测, 或者进行正确的模拟测量, 才能进一步较准确可靠的估算眼晶体剂量。

由于放射性眼晶体的损伤不但与眼晶体剂量有关, 也不同程度的受射线的种类、射线能量、剂量率、分次照射的次数和照射间隔时间等影响, 所以, 当进行眼晶体剂量估算时, 除给出眼晶体剂量外, 还应给出上述受照条件。

针对我国的实际, 既有已逐步开展剂量监测的情况, 又存在过去大都未进行剂量监测的实际, 以及在事故发生时许多受照人员往往也未佩戴个人剂量计, 有时事后的模拟测量无论对职业照射或事故照射也无法进行, 只有这时, 才可采用近似的推算方法来粗略的估算眼晶体剂量。例如可参照最近颁布实施的《外照射慢性放射病剂量估算规范》(GB/T 16149) [5] 中第 3.3 条中给出的方法, 进行近似累积照射量、空气比释动能或粒子注量的估算。

2 眼晶体剂量的估算方法

2.1 对 X 和 γ 射线受照人员, 当已知其眼部位的辐射场的自由空气比释动能、光子注量或照射量时, 可依据下式求得眼晶体吸收剂量

$$D = C_{kp} K_a \dots\dots\dots (1)$$

$$D = C_{ep} \Phi_p \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$D = C_{xp} X \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中: D —眼晶体吸收剂量, Gy ;

C_{kp} —由空气比释动能求得眼晶体吸收剂量的转换系数, Gy/Gy ;

K_a —空气比释动能, Gy ;

C_{ep} —由光子注量求得眼晶体吸收剂量的转换系数, $Gy \cdot cm^2$;

Φ_p —光子注量, cm^{-2} ;

C_{xp} —由照射量求得眼晶体吸收剂量的转换系数, $Gy \cdot C^{-1} \cdot kg$;

X —照射量, $C \cdot kg^{-1}$ 。

表1 提供一些照射条件下的转换系数 C_{kp} , C_{ep} 和 C_{xp} 的值可根据 C_{kp} 值和 K_a 与 Φ_p , X 之间的关系计算得到^[6]。

表1 单能光子在不同的照射条件下自由空气比释动能与眼晶体吸收剂量的转换系数 C_{kp}

光子能量 MeV	转换系数 C_{kp} , Gy/Gy				
	前向照射	背向照射	侧向照射	旋转照射	各向同性照射
0.010	0.304	0.000	0.088	0.114	0.0877
0.015	0.664	0.000	0.252	0.287	0.236
0.020	0.912	0.000	0.390	0.423	0.365
0.030	1.197	0.000	0.579	0.588	0.523
0.040	1.334	0.0186	0.718	0.694	0.639
0.050	1.419	0.0521	0.838	0.793	0.742
0.060	1.492	0.0837	0.930	0.886	0.812
0.070	1.536	0.122	0.988	0.958	0.857
0.080	1.550	0.156	1.023	0.999	0.882
0.100	1.530	0.193	1.049	1.030	0.907
0.150	1.425	0.241	1.024	1.017	0.894
0.200	1.357	0.262	1.020	0.994	0.868
0.300	1.280	0.295	1.015	0.958	0.846
0.400	1.232	0.333	1.031	0.935	0.839
0.500	1.199	0.369	1.012	0.921	0.836
0.600	1.174	0.401	1.010	0.913	0.835
0.800	1.138	0.453	1.007	0.908	0.837
1.000	1.113	0.495	1.004	0.909	0.843
2.000	1.047	0.618	1.005	0.943	0.878
4.000	0.995	0.723	1.015	0.995	0.917
6.000	0.967	0.775	1.022	1.024	0.936
8.000	0.946	0.807	1.028	1.044	0.950
10.000	0.931	0.833	1.034	1.063	0.963

注:表中数据取自文献[6]

对于非单能光子的平均 C_{ep} 值, 即 \bar{C}_{ep} , 可近似依据下式求得:

$$\bar{C}_{ep} = \frac{\sum_i C_{epi} \Phi_{pi} / \Phi_p}{\sum_i C_{epi} P_i} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中: C_{epi} —对 i 种能量的光子, 由光子注量求得眼晶体吸收剂量的转换系数, $Gy \cdot cm^2$;

Φ_{pi} — i 种能量光子的注量, cm^{-2} ;

P_i — i 种能量的光子注量 Φ_{pi} 占全部光子注量 Φ_p 的百分比。

根据式(4)求得 \bar{C}_{ep} 值后, 则可依据式(2)计算眼晶体吸收剂量。

2.2 对电子束受照人员, 当已知眼晶体部位的辐射场的电子注量, 则可依据下式求得眼晶体吸收剂量

$$D = C_{ep} \Phi_e \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中: D —眼晶体吸收剂量, Gy ;

C_{ep} —由电子注量求得眼晶体吸收剂量的转换系数, $Gy \cdot cm^2$;

Φ_e —电子注量, cm^{-2} 。

文献[7]中提供垂直入射条件下的 C_{ep} 值。对于非垂直入射条件下, 由电子注量求得眼晶体吸收剂量的转换系数 C_{epa} 可依据下式求得。

$$C_{epa} = \bar{R}(3, \alpha) C_{epn} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中: C_{epn} —对于垂直入射条件下, 由电子注量求得眼晶体吸收剂量的转换系数, $Gy \cdot cm^2$;

$\bar{R}(3, \alpha)$ —由电子注量求得眼晶体吸收剂量的转换系数的入射角相关因子。文献[6]中给出 $\bar{R}(3, \alpha)$ 的参考值。

2.3 对受到外部 β 射线照射的人员, 当已知入射到眼球表面处的电子注量率, 则可依据下式求得眼晶体吸收剂量

$$D = C_{\beta} \dot{\Phi}_{\beta} t \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中: D —眼晶体吸收剂量, Gy ;

C_{β} —由 β 射线注量率求得眼晶体吸收剂量率的转换系数, $Gy \cdot h^{-1} \cdot cm^2 \cdot s^{-1}$;

$\dot{\Phi}_{\beta}$ — β 射线的电子注量率, $cm^{-2} \cdot s^{-1}$;

t —眼晶体受 β 射线照射时间, h 。

文献[8]提供了垂直入射的宽束 β 射线的 C_{β} 值。

对于非垂直入射条件下 C_{β} 值的修正可按公式(6)

的类似方法利用入射角相关因子进行修正。

2.4 对眼部受到 β 射线核素污染的人员, 可依据下式求得眼晶体吸收剂量

$$D = C_{\beta} \sigma \dot{\sigma} t \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中: D —眼晶体吸收剂量, Gy ;

C_{β} —眼部单位污染面密度所致眼晶体的吸收剂量率, $Gy \cdot h^{-1} \cdot Bq^{-1} \cdot cm^2$;

σ —眼部污染面密度, $Bq \cdot cm^{-2}$;

t —眼部 β 核素污染照射眼晶体的时间, h 。

文献[9]给出 β 核素在眼部的圆形污染面积分别为 $1cm^2$ 和 $100cm^2$ 时, 每单位污染面密度所致眼晶体的吸收剂量率, 即 C_{β} 。

3 讨论

由于在实际的眼晶体剂量估算中, 眼晶体受照的射线种类、射线的能量和受照的几何条件等可能十分复杂, 本研究不可能对各种具体受照条件都给出具体的估算方法, 而只能就眼晶体剂量估算的一般原则和方法进行必要的探讨和研究, 给出一些典型照射条件下的剂量估算方法。对于更复杂的眼晶体剂量估算问题, 特别是较严重事故的眼晶体剂量估算, 应尽可能通过模拟测量加以解决。

食品中⁴⁰K 与总β放射性比值的测定及其应用

马俊杰 焦淑芬 张 谦

(辽宁省放射卫生防护所, 沈阳 110005)

中图分类号: R144 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2000)04-0211-01

自 1980 年起, 在上级放射卫生业务部门的统筹安排下, 各省级放射卫生防护部门开展了所在地区主要食品中总β放射性检测和天然放射性核素 U、²³²Th、²²⁶Ra、⁴⁰K 等含量调查, 积累了许多宝贵的资料。然而, 如何将这些资料应用到目前正在进行的食品放射卫生检测中去, 是一个亟待解决的课题。本工作通过日前本实验室测定的辽宁省 12 种主要食品中总β及⁴⁰K 含量, 研究确定了它们之间的比值, 为现有资料的利用和各种食品总β放射性的估算提供了一种新方法。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与预处理

粮食、蔬菜、水果等样品在收获季节于主要产区采集。主食类食品脱皮, 蔬菜水果洗净去掉不可食部分, 猪肉去骨, 均取适量称鲜重烘干后炭化, 450℃灰化制成样品灰。

1.2 β放射性的测定

取 200 mg 60 目过筛的样品灰铺入φ20 mm 铝样品盘中, 用丙酮铺匀, 干后用 VA-M-14 自动定标器(接钟罩计数管)测其β放射性, 装置的最低探测限为 0.1 Bq·g⁻¹灰。

1.3 ⁴⁰K 含量的测定

以四苯硼钠共沉淀、硝酸银滴定法^[1]测定食品中钾含量, 再依据⁴⁰K 的丰度和半衰期计算⁴⁰K 的β放射性 A⁴⁰_K(Bq·kg⁻¹) = 27.54 × C_k, 式中: C_k 为每公斤鲜样中的钾含量, 单位为 g·kg⁻¹。

2 结果与讨论

2.1 食品中⁴⁰K、总β放射性水平

辽宁省 12 种主要食品中⁴⁰K、总β放射性活度值列入表 1 中, 可见大豆的⁴⁰K、总β放射性最高, 其值分别为 455.8、657.1 Bq·kg⁻¹; 苹果含量最低, 其值分别为 25.1、39.6 Bq·kg⁻¹。各种食品的总β放射性及⁴⁰K 放射性活度的大小与其灰量密切相关, 因为天然钾作为食品灰的重要成分, 以一定的比例存在其中, 而⁴⁰K 又是总β放射性的主要贡献者, 所以灰分量大的食品(如大豆, 灰量 43.35 g·kg⁻¹)的⁴⁰K、总β放射性活度明显高于其它样品。

2.2 食品中⁴⁰K 与总β放射性的比值

在未受到人工放射性元素污染的食品中, β放射性主要来自天然β放射性核素⁴⁰K、⁸⁷Rb、²¹⁰Pb 等, 尤以⁴⁰K 贡献最大。但在主要食品中, ⁴⁰K 对总β放射性的贡献究竟有多大报道甚少。由实测样品中⁴⁰K、总β放射性计算得到了⁴⁰K 与总β放射性的比值(见表 1), 可见 12 种食品的比值比较接近, 其范围值在 0.56~0.82, 总体均值和标准差为 0.67±0.09。由此可见, 食品的总β放射性活度约有 67% 是由所含天然钾中的⁴⁰K 贡献的。这一结论为估算某些没有总β放射性背景值食品的β放射性提供了一个简便、实用的方法。

3 ⁴⁰K 与总β放射性比值在估算食品β放射性活度中的应用

3.1 估算方法

几十年来, 营养卫生的研究成果为我们提供了各种食品中无机元素(包括钾)含量的详尽资料。因此, 只要知晓多组分食品的成分和相对含量, 便可以应用⁴⁰K 与其总β放射性的比值估算其总β放射性水平 A_β(Bq·kg⁻¹), 公式如下:

A_β = 27.54 × ΣW_k / 0.67

式中: 27.54 为每克天然钾中所含⁴⁰K 的 Bq 数; ΣW_k 为每公斤待估算总β放射性食品中各组分钾含量之和, 单位为 g·kg⁻¹。

例如, 待检某食品由 20% A 种成分和 80% B 种成分制成, 试估算其总β放射性。

表 1 辽宁食品中⁴⁰K、总β放射性活度(Bq·kg⁻¹)

样品名称	采样地点	样品数	⁴⁰ K x̄ ± s	总β x̄ ± s	⁴⁰ K/总β
大豆	昌图县	4	455.8 ± 12.0	657.1 ± 22.0	0.69
玉米	昌图县	4	74.5 ± 3.1	133.6 ± 8.7	0.56
大米	沈阳郊区	6	29.8 ± 0.7	51.1 ± 2.9	0.57
小米	昌图县	4	53.9 ± 4.8	93.2 ± 14.4	0.58
土豆	沈阳郊区	2	117.0 ± 8.1	169.2 ± 3.3	0.69
菠菜	沈阳郊区	4	115.6 ± 2.3	149.1 ± 21.0	0.78
茄子	沈阳郊区	4	46.2 ± 1.3	68.1 ± 2.8	0.68
萝卜	沈阳郊区	4	64.4 ± 4.0	89.5 ± 2.8	0.72
白菜	沈阳郊区	4	46.4 ± 0.4	81.8 ± 3.9	0.57
猪肉	丹东铁岭	3	37.4 ± 0.9	45.8 ± 4.4	0.82
牛奶	沈阳郊区	6	47.5 ± 3.1	60.0 ± 1.8	0.79
苹果	熊岳	4	25.1 ± 0.8	39.6 ± 11.5	0.63

首先, 由各类食品无机元素含量表查得 A、B 两种成分的钾含量, 其值分别为 4.2、1.8 g·kg⁻¹, 则由在被估算食品中的相对含量算得其总钾含量为 2.28 g·kg⁻¹, 代入公式, 得:

A_β = 27.54 × 2.28 / 0.67 = 93.7(Bq·kg⁻¹)

3.2 总β估算值的误差分析

以食品中的钾含量, 应用⁴⁰K 与总β比值估算该样品总β放射性结果的误差主要来自两个方面, 其一为各组成食品成分中的钾含量与文献值之间的差异, 估计在 20% 以内; 其二为在⁴⁰K 与总β比值计算中, 总β测定的误差, 其值约在 20%, 根据误差传递公式算得总β估算值的误差在 100% 以内。

当食品受到人工β核素污染时, 其总β放射性往往要高出正常值的几十, 甚至上百倍。因此, 将食品β放射性估算值作为背景资料, 与实测总β值相比较, 初步判断该食品是否受到人工β核素的污染是完全可行的。

参考文献:

[1] 中华人民共和国卫生部. 食品卫生检验方法放射卫生部分. 北京: 技术标准出版社. 1978. 7.

收稿日期: 2000-02-23

参考文献:

[1] ICRP Publication 60[R], 1990.
[2] ICRP Publication 26[R], 1977.
[3] ICRU Report 43[R], 1988.
[4] M. V. Clarless. Radiat. Prot. Dosim. 14(2), 1986.
[5] GB/T 16149-1995 外照射慢性放射病剂量估算规范[S].

[6] ICRP Publication 74[R], 1996.
[7] B. Grosswendt. Radiat Prot Dosim. 54(2), 1994.
[8] W. G. Cross et al. Radiat Prot Dosim. 35(2), 1991.
[9] W. G. Cross et al. Radiat Prot Dosim. 40(3), 1992.

收稿日期: 2000-01-31