

人的天然内照射剂量估算

引言

本文对由于天然和长寿命放射性同位素体内沉积而引起的标准人平均剂量率进行了估算。这里说的天然放射性同位素包括 α 、 β 和 γ 发射体。对各同位素的K俘获和内转换伴随的X线,内外韧致辐射及 α 反冲原子等对剂量小的贡献也进行了考虑。体内某一特定放射性同位素的数量是通过其元素在体内的总量来计算的。为估算各放射性同位素在体内的数量,表1列出了元素在体内的百分含量(Diem and Lentner, 1970)和放射性同位素的天然相对丰度。

人体不能将同一元素的各个同位素区分开,只以元素为基础参与代谢。假设某一元素的任一同位素在体内的相对丰度与天然的相同。这是一个合理的假设,因为主要天然放射性同位素是通过吸入,摄入和扩散等途径从自然环境进入人体的。这种形式的分析可以深入地了解那些特别的天然放射性同位素的危害,这些同位素随地点而改变;例如,铀,钍和镭的富集地区。对全身计数实验这些计算结果也提供了有用的指导。

β 和 α 的辐射剂量估算方法

我们认为 β 和 α 发射的放射性同位素在体内是均匀分布的。这似乎是真实的,因 ^3H 、 ^{14}C 和列举的一些同位素是亲骨元素* (mohindra, 1975)并贮藏在整个

骨骼中。天然放射性同位素发射的 α 和 β 粒子在体内的射程很小,几乎全被身体吸收。除特别说明外,粒子能量和其它资料主要采用 Lederer 等人(1968)所提供的资料。

用C代表放射性同位素的浓度(单位,微居/克),E表示平均能量(单位,百万电子伏),f代表每次衰变中特定衰变方式的发射系数,进而可以从拉德的定义计算平衡剂量率(Spiers, 1968)

$$\text{粒子发射数/秒/克} = 3.7 \times 10^4 fC$$

$$\text{剂量/秒} = 5.92 \times 10^{-4} fCE$$

γ 剂量的估算

低能 γ 射线将被身体有效的吸收,但一些高能 γ 射线能穿透出体外,仅部份对内照射剂量有贡献。也假设 γ 发射体在体内是均匀分布的。因而,可按下列式计算 γ 射线的剂量:

剂量率 = $0.877 \times 10^{-3} C \times L \times \rho_0 \times G$
拉德/小时,其中C为初始放射性浓度(单位,微居/克), Γ 是核子的特徵 γ 线常数(单位为离源1厘米处伦/毫居/小时), $\rho_0 = 1.05$ 克/厘米³为身体的密度,G是依赖于体重和身高的几何因子。用圆柱代表人体,并且认为自然沉积的 γ 发射同位素在体内均匀分布是一种好的近似。G值在110~140厘米之间。本文中采用的G值(对70公斤,170厘米标准人)是126厘米

* ^3H 、 ^{14}C 并非亲骨元素而是全身分布元素,原文可能有误——译者注

(Spiers, 1968)。

起的小剂量也列在表2中。

β 韧致辐射的贡献

伴随 α 发射的反冲电子

Evans 估算了体内外韧致辐射引起的几种典型情况下的小贡献,并列在表2中。内韧致辐射剂量可以忽略,大约为β剂量的1/137。

对α发射的放射性同位素,由于体原子反冲能量引起的剂量计算值也列在表2中。反冲原子的品质因数是20 (Spiers, 1968)。

K俘获 (EC) 和内转换 (IC)

K俘获X线,内转换电子及其X线引

计算的放射性强度值,以及由此推得的各自的剂量值摘要列在表2中。

表1 体内放射性同位素资料

放射性同位素	相对天然丰度 (同位素的)	T _{1/2} (年)	占体重的百分数 (元素的)	总放射性强度 (居里)
³ H	10 ⁻¹²	12.28	10	6.81×10 ⁻⁷
¹⁴ C	—	5700	18	8×10 ⁻⁸
⁴⁰ K	0.0118	1.3×10 ⁹	2.0×10 ⁻¹	1.136×10 ⁻⁷
⁴⁸ Ca	0.18	2×10 ¹⁶	1.5	7×10 ⁻¹³
⁵⁰ V	0.24	6×10 ¹⁴	3×10 ⁻⁵	6.01×10 ⁻¹⁶
⁸⁷ Rb	27.85	4.7×10 ¹⁰	1.7×10 ⁻⁸	1.947×10 ⁻⁸
⁹⁰ Sr	—	28	—	3.125×10 ⁻⁹
¹³⁷ Cs	—	30	—	5×10 ⁻⁹
²⁰² Pb	—	2.852×10 ⁵	1.1×10 ⁻⁴	1.27×10 ⁻¹⁷
²⁰⁴ Pb	1.48	1.4×10 ⁶	—	1.42×10 ⁻¹⁷
²⁰⁵ Pb	—	3.0×10 ⁷	—	1.7×10 ⁻¹⁷
²¹⁰ Pb	—	22	—	1.4×10 ⁻¹⁷
²²⁶ Ra	—	1620	1.4×10 ⁻¹³	75×10 ⁻¹²
²²⁸ Ra	—	6.7	—	50×10 ⁻¹²
²³⁴ U	0.0057	2.48×10 ⁵	3×10 ⁻⁸	7.38×10 ⁻¹³
²³⁵ U	0.720	7.31×10 ⁸	—	3.22×10 ⁻¹³
²³⁸ U	99.27	4.5×10 ⁹	—	6.28×10 ⁻¹²

讨 论

表中列的大多数同位素在自然界以及人体内都能确定其存在。在自然界还发现其它很多寿命非常长的同位素 (Diem and lentner, 1970; Lederer et al, 1968), 如, ¹¹⁵In, ¹³⁸La, ¹⁴²Ce, ¹⁴⁴Nd, ¹⁴⁷, ¹⁴⁸, ¹⁴⁹Sm, ¹⁵²Gd, ¹⁷⁸Lu, ¹⁷⁴Hf, ¹⁸⁷Re, ¹⁹⁰, ¹⁹²Pt, ²³⁰, ²³²Th和²³¹Pa, 等, 他们在体内的存在没多大意义, 所以

估算剂量时可以忽略。

估计体内 ¹⁴C 的放射性强度为 0.08 微居 (Spiers, 1968), 由核沉降带来的人工放射性同位素 ¹³⁷Cs 和 ⁹⁰Sr 对剂量贡献有意义。Cohn 等人 (1969) 实验发现体内的 ¹³⁷Cs 放射性强度为 5 毫微居, Shukla 等人估算也得出了这个数值。⁹⁰Sr 在体内的量可由 ⁹⁰Sr/¹³⁷Cs 放射性强度比值得到, Lalit (1974) 引证其值为 0.625。²²⁶Ra和²²⁸Ra 的天然相对丰度还

表2 估算剂量 (毫雷姆/年)

放射性同位素	γ 剂量 (X^* —线)	α 和 β	反冲原子	外韧致辐射
^3H	—	1.1	—	8×10^{-5}
^{14}C	—	1.04	—	5×10^{-4}
^{40}K	1.29	13.3	—	4.6×10^{-3}
^{42}Ca	—	7.5×10^{-6}	—	—
^{60}V	$\text{EC}(X^*-5 \times 10^{-4}), 5.4 \times 10^{-8}$	—	—	—
^{87}Rb	—	0.5	—	3.8×10^{-4}
^{90}Sr	—	0.15	—	2.5×10^{-4}
^{137}Cs	$\text{IC}(e-0.1, X-0.02^*), 0.234$	0.31	—	5×10^{-4}
^{202}Pb	—	2×10^{-10}	—	—
^{204}Pb	—	$1 \times 10^{-7} (\alpha)$	4×10^{-11}	—
^{205}Pb	—	2×10^{-10}	—	—
^{210}Pb	2.08×10^{-12}	3×10^{-11}	—	—
^{226}Ra	9×10^{-8}	$0.94(\alpha)$	3.4×10^{-3}	—
^{228}Ra	3.7×10^{-8}	2.3×10^{-4}	—	—
^{234}U	1.1×10^{-8}	$9 \times 10^{-3}(\alpha)$	3.13×10^{-5}	—
^{235}U	3×10^{-8}	$3.5 \times 10^{-3}(\alpha)$	1.22×10^{-4}	—
^{238}U	3×10^{-8}	$7 \times 10^{-2}(\alpha)$	2.39×10^{-3}	—
总 计	1.7	17.4		

不清楚, 这里采用测量的放射性强度 (Spier, 1968), ^{226}Ra 为 75 微微居和 ^{228}Ra 为 50 微微居。

用 ^{204}Pb (1.48%, $T_{1/2} = 1.4 \times 10^{17}$ 年) 在人体中的量, 按这四个长寿命同位素半衰期的正比关系计算了 ^{202}Pb , ^{205}Pb 和 ^{210}Pb 在体内的数量。

计算的总内照射剂量大约 19 毫雷姆/年是与国家研究委员会报告 (BEIR—1972) 中较早列出的数字——18 毫雷姆/年相当

一致的。

由许多表列的体内元素钾百分数值看, 可说明只少有 10% 的分散。再从各种表列的剂量又可清楚地看出 ^{40}K 的贡献大约为总剂量的 70%。从我们近似人体的数学模型和公式所引起的误差应是比较小的。内照射剂量的估算精确度大约在 20% 以内。

(Manocha KK 等: Health phys 30 (6): 485~847, 1976 (英文) 张良安译 张景源校)

辐 射 对 造 血 基 质 的 影 响

造血作用不仅需要造血干细胞的群体, 而且需要为干细胞提供增生和分化场

所的微环境。

Till 及 McCulloch (1961) 的脾集