

根据K和Ca代谢理论测定人体中¹³⁷Cs和⁹⁰Sr生物半衰期的方法

Szabo' AS et al; Radiochem Radioanal Letters 43(4): 193~201, 1980 (英文)

引言

从放射生态、剂量和生理学的观点看来,了解放射性同位素的生物半衰期是非常重要的。根据K和Ca的代谢测定¹³⁷Cs和⁹⁰Sr的生物半衰期是可能的,因为K与Cs以及Ca与Sr各自有共同的传递系统;K与Cs在代谢过程中是一起的,Ca与Sr亦同样是一起的。K和Cs大部份见于肌肉系统,而Ca和Sr主要积储于骨骼系统。由于K与Cs有相同的化学性质,Ca和Sr亦有相同的化学性质,因此K是¹³⁷Cs的非活性载体,Ca是⁹⁰Sr的非活性载体。

生物半衰期的计算

假定在机体中K、Ca、Cs、Sr的元素总量是不变的,亦即每日吸收和排出的量是等同的。

a表示体内需测定元素的总量,b表示每天需要量,即每天体内组织积蓄量。那么,物质a每天减少量如下:

$$1\text{天} \quad a - \frac{a \cdot b}{a + b} = \frac{a^2}{a + b}$$

$$2\text{天} \quad \frac{a^2}{a + b} - \frac{a^2 \cdot b}{(a + b)^2} = \frac{a^3}{(a + b)^2}$$

$$3\text{天} \quad \frac{a^3}{(a + b)^2} - \frac{a^3 \cdot b}{(a + b)^3} = \frac{a^4}{(a + b)^3}$$

⋮

$$t\text{天} \quad \frac{a}{2} = \frac{a^{t+1}}{(a + b)^t}$$

t是生物半衰期(天),

$$t = \frac{\ln 2}{\ln \frac{a + b}{a}}$$

实验资料获得关于人体¹³⁷Cs生物半衰期见表1。

作为¹³⁷Cs非活性载体的K是人体必需的大量元素。在机体中总K量大约是100~160克,机体每日需K量为1.0~1.5克。

假定平均K量是140克,而每日需K量为1.2克,生物半衰期为:

$$t = \frac{\ln 2}{\ln \frac{140 + 1.2}{140}} = 81.2 \text{ (天)}$$

由函数的含义,表示原始K量的衰减如下:

$$y = 140e^{-0.0085349023x}$$

x为时间(天)。

表1 ¹³⁷Cs的生物半衰期

平均值	最大值	最小值	参考文献
115	—	—	1
84	104	52	2
82	194	35	3
64	—	—	4

生物半衰期取决于性别、年龄和体重的不同而有明显的差异。表2中列出了K量于80~170克之间,每日需K量为0.8~1.6克的计算结果。

每日从食物中摄入的平均K量一般大于机体需K量,其值约为2~3克。过剩的K量没有被吸收而直接通过消化系统从粪便中排出,因此不影响生物半衰期,亦不影响机体中K交换的特性。

结果表明了根据K量计算的生物半衰期的值与根据Cs量而是用Cs量计算出来的值相一致。那么,如我们假定人体中平均总Cs量为1.5毫克及每天摄入Cs量约20~30微克——这是实际的Cs量,每天从肠道吸收进入肌肉组织的仅是此值的一半(这与K代谢情况相同),这大约是0.010~0.015毫克。就每天吸收0.010毫克Cs而言,生物半衰期是104.3天;而就0.015毫克而言是67.7天。

需要指出,生物半衰期的值不仅取决于K含量的绝对值,而且取决于他们的比例。例如,就100克总K量和1.0克需K量而言,其半衰期与110克总K量和1.1克需K量是等同的。

人体中⁹⁰Sr半衰期的计算

人体⁹⁰Sr生物半衰期较¹³⁷Cs长得多,有几年之久。

表2 K和Cs的生物半衰期

每日 需K量 (克)	人体中总K量(克)									
	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
0.8	70	78	87	96	104	113	122	130	139	148
0.9	62	70	77	85	93	100	108	116	124	131
1.0	56	63	70	77	84	90	97	104	112	118
1.1	51	57	63	70	76	82	89	95	102	107
1.2	47	52	58	64	70	75	82	87	93	99
1.3	43	48	54	59	64	70	75	80	86	91
1.4	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1.5	37	42	47	51	56	60	65	70	75	79
1.6	35	39	43	48	52	56	61	65	70	74

人体的总Ca量一般为1000~1500克，而每天需Ca量约0.3~0.6克。

假定机体平均总量为1200克，每天平均需Ca量为0.5克，Ca的生物半衰期可计算如下：

$$t = \frac{\ln \frac{2}{1 - \frac{0.5}{1200}}}{\ln 2} = 1663.9 \text{ (天)}$$

根据函数含义，表示原始总Ca量的衰减如下：

$$y = 1200e^{-0.0004165798x}$$

x为时间(天)。

在表3中列出的Ca(Sr)生物半衰期计算值取决于给出的人体总Ca量和每日需Ca量。

平均每天Ca的摄入量也是一般比每日需Ca量大

表3 Ca和Sr的生物半衰期(天)

每日 需Ca量 (克)	人体中总Ca量									
	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
0.2	2773	3120	3466	3813	4159	4506	4852	5199	5546	5892
0.3	1849	2080	2311	2542	2773	3004	3235	3466	3697	3928
0.4	1387	1560	1733	1907	2080	2253	2426	2600	2773	2946
0.5	1109	1248	1387	1525	1664	1803	1941	2080	2218	2357
0.6	925	1040	1156	1271	1387	1502	1618	1733	1849	1964
0.7	793	892	991	1090	1189	1288	1387	1486	1585	1684
0.8	693	780	867	953	1040	1127	1213	1300	1387	1473

得多，约为1.0克。

如果根据Sr量计算，生物半衰期的值亦是相同的。假定每日摄入Sr量约1.5~2.0毫克，每天食物中Ca量(Ca和Sr是共同的离子传递系统)约为需Ca量的两倍，Sr,Ca的鉴别因数约为0.25，因此骨组织每天从肠道吸收的Sr量约0.18~0.25毫克。那么，如果我们考虑人体平均总Sr量~320毫克，就0.18毫克Sr/天吸收而言，⁹⁰Sr的生物半衰期为1233天，而就0.25毫克Sr/天吸收而言为888天。

Sr的鉴别因数值为：

$$D_1 = \frac{\frac{\text{人组织中Sr/人组织中Ca}}{\text{食物中Sr/食物中Ca}}}{\frac{\text{人组织中}^{90}\text{Sr/人组织中Ca}}{\text{食物中}^{90}\text{Sr/食物中Ca}}}$$

可看出，动物和人体对Sr的鉴别是很好的，因此Sr/Ca比值在动物和人组织中明显低于食物和饲料。

对Cs来说，鉴别因数的影响很小，

$$D_2 = \frac{\frac{\text{人组织中Cs/人组织中K}}{\text{食物中Cs/食物中K}}}{\frac{\text{人组织中}^{137}\text{Cs/人组织中K}}{\text{食物中}^{137}\text{Cs/食物中K}}}$$

根据参考资料，我们采纳 $D_2 = 1.0$ ，没有考虑鉴别。

可用公式：
$$t = \frac{\ln 2}{\ln \frac{a+b}{a}}$$

如果生物半衰期和平均每日尿中排出量已知，可计算机体内需测定元素的总量。从组织中排出已吸收和积蓄的量主要通过尿。那么，例如生物半衰期是1500天，每天尿中平均Ca含量是0.4克，在机体中总Ca量至少是865克。

(苏龙能译 王燮华校 徐海超审)