

来源不同, 这些模式在某些方面仍有一定的局限性。许多国家只是偶尔才收集一些数据, 这样, 该模式跨越的数据收集期大约为10年。该模式还取决于采得样本原始数据的合理性, 由于城市数据较易收集, 所以有些国家的城市数据比农村数据多, 因此, 合并了几个国家数据的平均值。

目前, 已经能够用该模式对尚未报道过数据的国家进行估价。在放射诊断学中, 用该模式估算的世界平均值确认已能精确到 $\pm 25\%$ 。对不发达国家牙科检查频率的估算可能还不够准确, 然而, 这占总检查频数的份额是微不足道的。由于核医学和放射治疗学的数据比放射诊断学少得多, 所以在估算

这两种检查频率时, 其精确性也较差。本模式指出, 占世界人口25%的少数人群, 他们接受的医用诊断X线检查为全世界总人次数的75%, 而他们接受牙科、核医学和放射治疗这些先进技术的诊治次数却占到全世界诊治总次数的90%以上, 这是非常不均衡的。

总之, 为了估算全世界医用辐射使用的频率, 建立了几个便于选用的模式, 与医用辐射相关性较好而且多数国家又乐意选用的参数是人口数与医生数之比。应用这些参数和一些国家的原始数据, 可以估算全世界总的医用辐射使用情况。

[Health Phys 1987; 52(2):133~141]

(英文) 强永刚节译 编辑部校

按尿分析对钚全身负荷量的估算方法

Leggett RW and Eckerman KF

直至几年前, 工作人员钚全身负荷量的估算总是依据Langham氏尿排出方程 $Y_u = 0.002t^{-0.74}$, 式中 Y_u 是Pu注入后第 t 天在尿中的分数。此方程是从1945年和1946年注射了钚的某些严重病人以及少数被钚事故污染的工作人员的尿分析资料推导出的。

近年来发现, Langham氏模式常导致Pu体负荷量的明显高估, 特别是在远期。其依据来自Pu职业辐照人员尿排出资料与其死后尸体解剖资料的比较以及对曼哈顿计划工作人员预期的与观测到的长期模式之间的差异, 也来自于二例Langham氏实验对象在注入Pu后约30年所发现的未估计到的高排出率, 这些资料表明, Langham氏模式对于辐照数年后可能会有一个数量的误差。

关于人的Pu排出, 自从建立Langham氏模式后又出现了很多有价值的新资料, 包括: (1) 职业性受照人员尿分析和尸检资料的比较; (2) 注Pu人员资料的重新分析和积累; (3) 关于控制体内Pu行为的大量基

本生理和特有过程的资料。我们检验了基于这三方面的模式化方法, 表明三种方法在血液污染后多年内对尿排出率有相当一致的估算。统一了不同方法以得到一套预估的尿排出率, 实际上是考虑到这三方面的资料。只要辐照条件清楚地确定, 利用这些排出率就可简单方法来计算摄入率和全身负荷量。

一、估算全身钚尿排出的三种方法

A. 利用Pu工作人员尿和尸检资料来修正Langham氏方程

检验受照时间相当清楚的工作人员的资料, 可以大致判定Langham氏方程低估尿排出率程度。尤其是通过尸检测定的全身负荷量和该人员活着时候所收集尿的资料按该方程式所估算的全身负荷量的比较可表明, 该方程式在受照后4~8年低估尿Pu 2~3倍, 在受照后10~15年低估4~6倍。在受照后12~27年该方程式意味着尿排出率下降1.8倍, 而在1945年左右受辐照的曼哈顿计

划工作人员的资料表明,受照后12~27年间尿排出率并不下降,某些人还有所增加。因此,如果该方程在10~15年间低估尿排出率4~6倍,则在受照后27年以后就会低估一个数量级。这种结论和Langham氏的二名注射病人的观测资料相吻合,按该方程计算,这二人Pu的排出率在27年时平均低估8.9倍(6.4和11.4)。因此,我们认为,该式低估尿排出率的倍数随时间而增大。事实上,重新分析注射人员的资料表明,该式甚至在138天观测期内看来就已开始低估排出率。

由上述考虑可见,在 10^4 天内尿排出的合理估算应将该式乘上一个线性增大的校正因子。由于 10^4 天(24~28年)开始,尿排出率可能出现相当快的下降,因此这线性校正因子只适用于 10^4 天以内。要是我们承认在刚摄入的一段时期内原方程还是准确的,则这个校正因子在摄入时应为1,而且应采用 $1 + Kt$ 的形式,其中K为适当的常数,t为注入后天数。据以上估算,K值在受照后4~8年应是约0.0007,10~15年约为0.0009,在27年约为0.0008。因此,选用 $K = 0.0008$ 并得到下列函数式作为污染血液后t天的统一估算式:

$$Y_u(t) = 0.002 (1 + 0.0008t) t^{-0.74} \quad (0 < t \leq 10000 \text{天})$$

该式推导中包含的误差的重要来源可能有:经常出现关于实际受照时间和(或)方式的某种不肯定性;按尸检样品估算的全身Pu负荷量可能包含大的误差,因为骨骼负荷量已知是不均匀分布的而通常是依据少数小的骨样来估算;某些人员尿中所测到的相当一部分Pu可能来自肺或伤口缓慢而可变的活性释出,而不是全身沉积。采用平均值也许会相当地减少这些因素造成的偶然误差,而系统误差(如假设胸骨或肋骨反映平均骨骼浓度所引起的)并不可减少。

B. 由人注射资料的重分析和补充来外

推

Langham氏所作人的尿Pu排出在开始138天内多次测量,在4.5年内又作了一些补充测量,对2个病人27年后又进行了测量。依据这些测量并进行重新分析而获得了各时间的排出率。这里选用了中值而不是平均值作为每段时间的集中趋势的量度。Langham等在原始资料中一般是按24小时尿样的结束时间来报告的。在注入后起初10天内,按第t天的排出率在数值上等于其前、后24小时内尿中积分量的平均值换算出排出率,10天后排出率和24小时积分值就没有区别。

Moss WD及其同事近来发现,Langham原始报告中列出的1~138天的某些资料在发表前可能抄错了,第300~500天的某些看来有效的点被忽略了。Jones SR新近报道了他依据Pu注入人员尿排出资料重新分析以及职业受照人员排出模式相比较而导出的表示为4个指数项之和形式的尿排出函数。他在知道了Moss的发现后,又表示在其函数式中可能应在1000~10000天期间增加20~30%,本文在800天后都增加25%。

C. 生理学模式法

近来有人建立一个模式,以采纳当今关于控制可溶性Pu进入血流后滞留、转移和排出过程的放射生物学和生理学信息。

Pu的生理模式图描述了可溶性Pu沉积于骨骼表面、肝和其它软组织;从血液直接转入尿或肠道;间接地经泌尿道细胞进入尿或经胆汁进入粪。肝中Pu从肝细胞膜和细胞浆进入细胞器或胆汁,从肝细胞在其死后进入网状内皮细胞,通过血流离开网状内皮细胞,可能再循环进入肝、骨骼、软组织或被排出。设想到达骨骼的活性起初沉积于骨表面,通过骨的改造过程在皮质骨和小梁骨以不同速率离开骨表面。其活性可能进入骨实质,最终可通过骨重吸收而被除去或被破骨细胞带入骨髓。离开骨髓的活性再进入血

流或重新局部沉积于骨。这主要是打算作为一种研究的模式并设计来让人们依据各别隔室放射生物学和(或)生理学知识的进展来逐步修正各别参数值。尽管当前存在某些参数值的不肯定性,这模式从目前资料来看仍是照后各时间的以及不同年龄受照后的尿和粪排出率、尿和粪中Pu的比值的良好预估。文中也给出了利用这模式得出的估算值及其可能范围。这是按45岁时注射所相应的“基本”参数来估算的,这大致与Langham观察了多年的二个病人注射Pu的年龄相同。“基本”就是表示只是打算用作改进和应用这模式的出发点。这模式包括了控制Pu转移的重要过程随年龄的可观察的变化。文中提供了在18岁和45岁时注射Pu后注入Pu的尿排出率随时间的变化的比较。若是25岁左右受照,到50岁左右,尿排出率可以由于中年期骨生长和重吸收速率改变而引起明显增大,曼哈顿计划人员已观测到这种增大。尿排出率的范围是根据模式参数不肯定性的模式灵敏度分析。注入年龄范围是30~45岁。分析表明,用模式估算的尿排出率对于骨生长速率、由于骨异化Pu从骨中除去的速率、Pu从肝进入血液的转移速率、骨骼Pu进入小梁骨表面的分数、骨髓中局部再循环进入骨的活性分数、Pu在血液中存留时间和血液中活性每日在尿中清除的份数特别灵敏,而对模式其它参数相对不敏感。

二、由尿分析估算全身负荷量的公式

参照上述三种模式,综合为一个尿排出型式,列于附表(译者注:原表有50个间隔时间,这里仅节译一部分)。表中折衷值是上述各资料的等权平均值,在数值范围、不肯定性及个别值波动上进行了不少光滑化和化整。

表中最后一项给出了起始注入活性在给定时间估计在尿和粪中排出的总分数,这是根据第四项以及不同时期的尿与粪的排出比

表 不同方法对Pu的尿排出率和总排出率的折衷值**

(相对于原始进入血液中活性为1的数值)

间隔序 (i)	尿采样之 前时间 (天)	间 隔 天 数 [L(i)]	日平均尿 排出率* [B(i)]	间隔末排 出的分数* (尿+粪)
1	0~1	1	0.004	0.0075
2	1~2	1	0.002	0.012
3	2~3	1	0.0015	0.015
4	3~4	1	0.0010	0.017
11	10~12	2	0.00030	0.026
12	12~14	2	0.00028	0.028
16	20~25	5	0.00018	0.024
17	25~30	5	0.00016	0.036
20	40~50	10	0.00012	0.041
21	50~60	10	0.00011	0.043
31	150~200	50	0.000060	0.058
32	200~300	100	0.000050	0.064
33	300~400	100	0.000045	0.069
36	600~800	200	0.000030	0.086
37	800~1000	200	0.000025	0.092
38	1000~1500	500	0.000022	0.11
39	1500~2000	500	0.000020	0.12
42	3000~4000	1000	0.000015	0.16
43	4000~5000	1000	0.000015	0.18
45	6000~8000	2000	0.000015	0.25
46	8000~10000	2000	0.000015	0.29
47	10000~12500	2500	0.000015	0.34
48	12500~15000	2500	0.000012	0.38
50	17500~20000	2500	0.000010	0.46

* 在 $t=0$ 时注入血液量的分数

R来计算的,R按Leggett模式估算。这样,估算出的值和照后1~138、340、10 000~12 000天的实验测出值能很好地符合。

为了估算Pu的摄入量和全身负荷量,表中第四项的B(i)值可用于下列公式:

$$U = \sum_i A(i)B(i)L(i)$$

式中 U—辐照开始后某时间T时测出的Pu尿排出量;

i—表中的间隔序号;

L(i)—第i间隔的天数;

A(i)—在第i间隔内从呼吸道或消化道

或伤口Pu进入血液的平均速率,

涉及不等于零的 $A(i)$ 值的每段间隔的长短通常必须适合于实际情况,因为进入血液时间不一定正巧与表中所列时间相同。应用本式时必须记住,表中第2项所列时间必须从采样时间往后算。为了应用上式,应该对受照方式有足够了解,以使进入血液速率的函数式中减少到只有单一未知数。例如,考虑急性吸入AMAD $1\mu\text{m}$ 的Y类Pu。利用IC-RP对此类物质的呼吸道模式,我们可以得到每单位吸入在 t 时间进入血液的Pu的速率 $BL_1(t)$,如下述近似式:

$$BL_1(t) = 0.26e^{-0.01t} - 2.9 \times 10^{-5}e^{-0.0014t} + 4.7 \times 10^{-5}e^{-0.00089t}$$

这里的 t 从急性吸入时算起。如果吸入的未知活性是KBq,则作为在第 i 个间隔中进入血液速率 $A(i)$ 的近似,可采用 K 乘以第 i 个间隔的函数 $BL_1(T)$ 的均值,即:

$$A(i) = \frac{K}{L(i)} \int_{T-t_2(i)}^{T-t_1(i)} BL_1(t) dt$$

式中, T ——尿排出测量时间, $t_1(i)$ 和 $t_2(i)$ ——分别定义为第 i 个间隔的上、下时间(表中第2项)。我们利用上述 U 和 $BL_1(t)$ 的公式及附表来估算急性吸入AMAD为 $1\mu\text{m}$ 的Y类物质后直到20 000天的Pu排出率,并画出排出率曲线。

文中介绍了四个从尿分析结果估算全身负荷量的例子。

三、总 结

目前有相当多有关Pu尿排出的资料,包括注射资料、三十年前受照射后离开的Pu工作人员的尸检和尿排出资料以及关于活性在体内行为的Pu的专门资料和基本生理学资料。这三方面资料来源的模式化方法都进行了评论。由这三种方法所导出的估算比较见图示。

应该指出,这三种方法尽管长期来相互

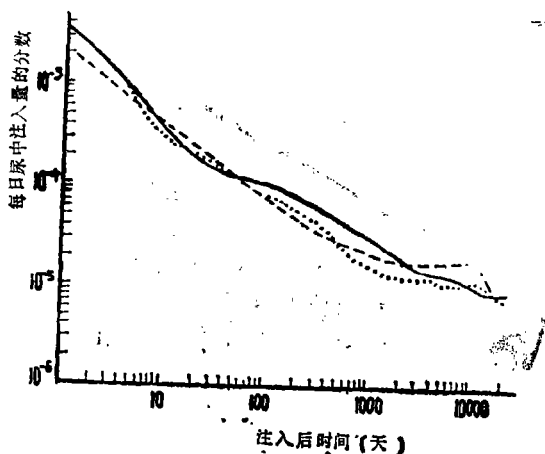


图 三种不同方法所得注入Pu估算出尿排出速率的比较

—— Leggett模式

..... Jones函数

---- 按过去Pu工作人员的新近资料对Langham曲线的修正

依赖性不大,但并不是完全独立的。Leggett模式利用了人注射后最初6天的资料,其后才独立于另二个方法。修正后的Langham方程完全依据注入人体后起始138天的资料,注入后27年的资料被用作支持我们关于Pu被工作人员排出结论的辅助资料。统一了不同的估算方法而建立了一套对血液污染后1~20 000天的尿排出率的估算。所建立的估算与所有来源的资料一致。描述了一种简单的方法,只要能查明摄入血液的方式就可利用这些排出率来估算摄入率和全身负荷量。

[Health Phys 1987, 52(3): 334~346 (英文) 褚洪达节译 史元明校]

文

摘

放射卫生学

020 日本的 ^{90}Sr 沉降[日]/葛城 幸雄//Radioisotopes, —1987, 36(4), —25A