

放射性同位素毒理学手册

〔苏联〕Д.И.扎庫金斯基等 編

閔效珊 譯



中国科学院原子核科学委员会編輯委员会編輯
中 国 工 业 出 版 社 出 版

放射性同位素毒理学手册

〔苏联〕Д.И.扎庫金斯基等 編

閔效珊 譯

吳德昌 校

王世真

中国工业出版社

本书系统地归纳了放射性物质毒理学的一些参考资料。这些资料均列成表格。书中引用了一些放射性元素的物理和化学性质的资料，也列出了它们在体内的代谢资料。

书中所列的有关“标准人”和动物的资料，对于计算放射性物质的最大容许浓度是有用的。

于本手册之首列出了放射性物质毒理学中一些常用名词的定义。

本书适用于从事放射学工作的医生、生物学家和科学工作者。

Д.И.Закутинский Ю.Д.Парфенов Л.Н.Селиванова

СПРАВОЧНИК ПО ТОКСИКОЛОГИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ

Государственное издательство медицинской литературы
Москва 1962

* * *

放射性同位素毒理学手册

閻效珊 譯 吳德昌 王世真 校

*

中国科学院原子核科学委员会编委会编辑

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/5}$ ·印张 $3^{1/5}$ ·插页3·字数100,000

1965年6月北京第一版·1965年6月北京第一次印刷

印数0001—3,260·定价(科六)0.75元

*

统一书号: 15165·3925(核委-44)

序 言

目前已經积累了大量有关放射性物质毒理学的实验資料。这类資料刊载于各种书刊——专論、杂志及其他著作中。因此，研究工作者为了得到某些参考資料就不得不遍覽許多文献。

本书作者认为，給研究放射性物质毒理学的讀者提供这一学科的某些簡要資料是有益的。

在本手册中并未納入所有放射性元素及其同位素的資料，而仅仅列出了那些对毒理学和卫生学最有意义，而且已有充足实验数据的放射性同位素的資料。

本手册对所用資料作了适当的选择，以便讀者对放射性物质毒理学中的个别問題能找到所需要的資料。为了便于利用本手册，作者认为有必要給出毒理学中最常用的一些术语的定义。

一些概念的定义是按照不久以前所施行的“ГОСТ 8848-58”^①确定的，該标准确定：“吸收剂量”是指被吸收的电离輻射能量。这就引起了一个問題：是否还可以采用放射性物质毒理学中慣用的一些名詞，例如表示放射性同位素注入机体的数量（放射性强度单位/克体重）的名詞——“注入剂量”、“致死剂量”、“最小毒性剂量”、“示踪剂量”。

① ГОСТ8848-58 是1958年第8848号国家标准的縮写。——譯者

IV

鉴于这些名詞在实践中还广泛应用，同时采用新名詞也有困难，我們在本手册中保留了“剂量”这一名詞，在应用时它有两种意义：表示吸收能量（如ГОСТ的定义），和表示放射性同位素注入机体的剂量（如目前毒理学中所采用的）。

众所周知，放射性元素的毒性取决于放射性同位素的物理和化学性质以及它們在体内的代謝特点。因此，本手册中包含了这些問題的必要資料。有关放射性元素在組織中的蓄积的資料，基本上是以国际放射性輻射防护委员会建議书所采用的数据为根据的，但其中有一些按照苏联学者的实验資料作了修改。

由于放射性物质毒理学資料对于計算最大容許浓度也可能有用，作者援引了国际放射性輻射防护委员会建議书中所采用的有关“标准人”的一些資料，也援引了有关几种实验动物的一些資料。

手册最后所列参考文献，仅指主要文献，而未包括制定各表格时采用的所有文献。

目 录

序 言

一、在放射性同位素毒理学中所采用的一些名詞	1
二、放射性同位素及其輻射的基本性质	11
关于放射性同位素的概述	11
一些元素的物理和化学性质	20
一些放射性同位素的衰变特征	24
天然放射性同位素	42
放射性同位素的重量与其放射性强度之间的关系	44
β 粒子的最大射程	45
α 粒子在各种介质中的射程	47
各类輻射的相对生物效应(ОБЭ)	47
各类輻射的相对生物效应(ОБЭ)与平均电离密度的关系	48
三、放射性同位素在机体中的代謝	49
放射性元素按其分布类型的一般分类	49
机体对放射性同位素的吸收和排出	49
机体个别脏器和組織对放射性同位素的蓄积和排出	54
放射性同位素經各种途径进入机体后随尿和粪之排泄	65
四、放射性同位素毒理学特征	69
判定 LD_{50} 的公式	69
引起50%实验动物死亡的放射性物质致死剂量(LD_{50})	72
放射性物质的绝对致死剂量(LD_{100})	78
放射性物质对各种实验动物和人的致肿瘤剂量	82
五、有关人及实验动物的一些資料	89
“标准人”	89
“标准人”的器官和組織	89
“标准人”的身体成分	91
“标准人”机体内各元素的平均含量	91

VI

“标准人”脏器中一些元素的含量	94
人体对各元素的每日平均需要量	102
“标准人”的水代謝	102
“标准人”的气体代謝	103
細微顆粒在“标准人”呼吸器官中的分布	104
“标准人”的胃腸道	104
几种生物組織的密度	105
有关实验动物的一些資料	105
一些实验动物主要器官的重量	106
六、放射性同位素剂量学	107
进行剂量計算的基本公式	107
用于幂函数公式的一些同位素的 C_1 、 b 常数值	112
物理当量伦琴及拉特单位在能量当量(尔格/克)上的差異 (根据H.Γ.古謝夫資料)	114
計算放射性同位素最大容許浓度(全身的)时所采用的放射 性同位素“有效能量”	114
有关放射性同位素的一些剂量学資料	116
e^{-x} 及 e^x 数值表	122
七、人体所受的本底輻射	130
对人体得自天然輻射本底的照射量的估計	130
天然輻射本底对人体的照射剂量	131
天然輻射本底对人的性腺、肺和骨骼的照射	132
八、放射性同位素的最大容許 浓度	133
电离輻射的最大容許水 平(ΠДУ-1960年)	133
內、外照射的最大容許剂量	134
在地面水和飲水水源中、工作房間的空气中、卫生防护 带与居民点的大气中,放射性物质的最大容許浓度 (居里/升)	135
参考文献	149

一、在放射性同位素毒理學中 所採用的一些名詞

放射性同位素的絕對致死劑量 (Абсолютно смертельная доза радиоактивного изотопа) —— 于一定之期限內，能使所有實驗動物死亡的放射性同位素的最小實驗劑量。

放射性強度 (Активность) —— 衡量放射性物質數量的尺度，以單位時間內放射性衰變的數目表示之。

α 輻射 (Альфа-Излучение) —— 氦原子核流。

β 輻射 (Бета-Излучение) —— 電子流或正電子流。

“生物”排出 (Биологическое выведение) —— 由於物質代謝的不斷進行而形成組織內、器官內和全身內放射性同位素濃度的減少過程。

生物當量拉特 (БЭР) —— 將有關的輻射相對生物效應 (ОБЭ) 計算在內的吸收劑量單位。

生物當量拉特 (бер) = 拉特 (рад) $\times$ 相對生物效應 (ОБЭ)

必須與以前曾經採用過的，而且也是以 бер 表示的生物當量倫琴相區別。

在國外文獻中 бер 以 rem 表示之。

同位素注入劑量 (Вводимая доза изотопа) —— 按動物每一克體重計算，經任一途徑注入體內之同位素數量 (放射性強度)。一般以毫居里/公斤 (мс/кг) 或微居里/克 (мс/г) 表示之。

同位素注入量 (Вводимое количество изотопа) —— 給一只动物注入的同位素总量 (放射性强度)。一般以毫居里 (mc) 和微居里 (μ c) 表示之。

內照射 (Внутреннее облучение) —— 由进入器官和組織內的放射性同位素的衰变所引起的电离輻射对机体的照射。

γ 輻射 (Гамма-Излучение) —— γ 量子流, 即波长很短的一种电磁輻射 (波长为 $1 \text{ \AA}$ 或更短)。

γ 常数 (Гамма-Постоянная) (K_γ) —— 同位素 γ 輻射的一个特征, 它表示距放射性强度为 1 毫居里的点状源 1 厘米处, 未经过滤的 γ 輻射的剂量强度, 以伦琴/小时表示之。

“热点” “热斑” (Hot spot) —— 在国外文献中用以表示亲骨性同位素在骨骼中由于不均匀分布而形成的趣显微沉积点的名詞。

克-拉特 (Г·Рад) —— 积分吸收剂量的单位, 等于 100 尔格。

容許照射剂量 (Допустимой дозой облучения) —— 指电离輻射的这样一个最大剂量, 它于人的一生及其后代中, 無論在照射后的近期或远期均不致引起损伤。

在此剂量照射下, 机体仍能“調整”因照射所引起的变化。

同位素“子体” (Дочерний изотоп) —— 由于另一个称作“母体”的放射性同位素之衰变而形成的放射性同位素。

天然放射性同位素 (Естественные радиоактивные изотопы) —— 存在于自然界中的放射性同位素。

自然界中存在着三个天然放射系 (鈾系、錒系、釷系) 以及一些未构成系的天然放射性同位素 (K^{40} 、 Rb^{87} 、 In^{115} 、 La^{138} 、 Sm^{147} 等等)。

自然本底 (Естественный фон) ——在沒有附加的放射源的情況下，由宇宙輻射和土壤、建築物及生物體中的放射性輻射所形成的某一地區放射性輻射的劑量強度。

放射性衰變定律 (Закон радиоактивного распада) ——一定量的某放射性同位素的衰變速度是它所具有的原子數和反映該同位素特徵之衰變常數的函數。

放射性衰變常數是用以表示該放射性同位素特性的常數值。它與原子的平均壽命（與半衰期密切相聯）成反比。

$$\lambda = \frac{0.693}{T}$$

同位素 (Изотопы) ——具有相同的原子序數而質量數不同的各化學元素。

放射性物質示踪劑量 (Индикаторная доза радиоактивного вещества) ——為了用標記原子的方法研究各種生理過程而注入體內的放射性同位素的劑量。

積分吸收劑量 (J_t) (或稱體積吸收劑量) (Интегральная поглощенная доза) ——於全部照射時間中，整個受照射的組織或機體所吸收的任何類型電離輻射的總能量。

電離輻射 (Ионизирующее излучение) ——能夠與物質相互作用而直接或間接產生帶電的原子或分子（即離子）的電磁輻射或粒子輻射（如 α 輻射、 β 輻射、 γ 輻射、中子輻射）。

組織中放射性同位素的濃度 (Концентрация радиоактивного изотопа в ткани) ——在單位重量組織中沉澱的放射性同位素數量。

最常用的放射性濃度單位是微居里/克 ($\mu\text{Ci/g}$)。

鉴别系数 (Коэффициент дискриминации) ——表示机体对化学元素 (体内原有成分) 或其放射性同位素滞留的相对优先程度 (与其化学类似元素之放射性同位素的滞留程度相比较)。例如Ca、Sr⁹⁰的蓄积比例; 或K、Cs¹³⁷的蓄积比例。

鉴别蓄积系数 (КДН) ——于一克指定之器官或组织中蓄积的放射性浓度与注入或摄入的放射性剂量 (以动物每克体重计算之剂量) 之比值。

$$\text{КДН} = \frac{\text{组织中的放射性浓度 (微居里/克)}}{\text{放射性注入剂量 (微居里/克)}}$$

当放射性物质系每日不断进入机体时, 则取与每日注入或摄入的放射性剂量的比值。

同位素吸收系数 (Коэффициент резорбции изотопа) ——由注入部位进入血液的放射性同位素注入机体的份量。以吸收的百分率表示。

蓄积倍数 (Кратность накопления) ——在每日不断摄入的情况下, 蓄积于全身之放射性同位素总量与每日摄入量之比值。

“危象器官” (Критический орган) ——经受着最大危险的器官, 这是由于它本身对辐射具有较高的敏感性, 或者是由于同位素在其中优先蓄积以致形成大量照射所致。

每个同位素在体内均有其特殊分布情况。那些优先蓄积于具有重要功能以及具有较高放射敏感性的器官中的, 同时半排出期又长的同位素, 具有最大危险性。

居里 (Кюри) ——测量放射性同位素放射性强度的单位, 它是指该同位素制剂于1秒中发生 3.700×10^{10} 衰变的放

射性强度 (ГОСТ8848-58)。

符号:

居里—— c

毫居里—— mc

微居里—— μc

$1c = 10^3 mc = 10^6 \mu c$

$1\mu c = 10^{-3} mc = 10^{-6} c$

潜伏期 (Латентный период) ——从辐射作用开始到出现效应之间的时期。

LD₅₀ (50%致死剂量) (50%Смертельная доза) ——造成50%实验动物死亡的放射性同位素制剂的实验剂量。50%实验动物死亡的时间注明于LD₅₀符号之后, 例如LD₅₀30天; LD₅₀100天等等。

能量的线性损失 (ЛПЭ) ——穿过物质介质的电离粒子, 在单位长度途径上其能量的线性耗损速度。以千电子伏/微米为单位表示之。

此值与通常采用的线性电离密度是一致的。

射线的致癌作用 (Лучевой канцерогенез) ——电离辐射的致癌效应。

同位素“母体” (Материнский изотоп) ——是一种放射性同位素, 由于它的衰变能产生称为“子体”的另一元素之放射性同位素。

标记物质 (Меченое вещество) ——一种物质, 在其所含的化合物或分子中, 有一种或多种原子被其放射性同位素所代替。

亚稳定状态 (Метастабильное состояние) ——同位素的原

子核所处的一种受激状态（这种状态下的同位素即所谓同质异能素），这种状态所以能长期保持是由于原子核过渡到更低能量状态的或然率减小所致。

在同位素表中受激的同质异能素以字母“m”表示之，此字母标于同位素质量数旁。

毫克镭当量（Миллиграмм-эквивалент радия）——放射性制剂的 γ 当量，此系指：用与苏联国家镭标准源同样的滤片并于相同的测量条件下，该制剂 γ 辐射所产生的剂量强度和1毫克苏联国家镭标准源用0.5毫米厚的铂片过滤后所产生的剂量强度相同（ГОСТ8848-58）。表示符号为МГ·ЭКВ·Радия。

和衰变子体处于平衡状态的1毫克镭点状源，经厚为0.55毫米铂片过滤后，于距离点源1厘米处的空气中的剂量率为8.4伦琴/小时。

放射性物质的最小毒性剂量（Минимальная токсическая доза радиоактивного вещества）——能引起最初损伤征象的放射性同位素最小注入剂量。

吸收剂量率（ P_t ）（Мощность поглощенной дозы）——于单位时间中被单位质量的被照射物质所吸收的任何种类电离辐射的能量。

其单位为单位时间内的拉特数。

中子辐射（Нейтронное излучение）——中子流（中子为具有与质子相似的质量但不带电的基本粒子）。

放射性物质的最佳致癌剂量（Оптимальная опухолевая доза радиоактивного вещества）——因其辐射作用能引起实验动物肿瘤最大发生率的放射性物质注入剂量。

亲骨性同位素 (Остеотропные изотопы) —— 进入机体以后优先蓄积于骨骼中的那些放射性同位素。

急性照射 (Острое облучение) —— 此名词表示在短时间内的辐射作用，一般都是指大剂量照射。

放射性损伤的远期后遗症 (Отдаленные последствия лучевого поражения) —— 因以往曾遭受过的放射性损伤而引起的某种机体状况。

白血病、肿瘤、白内障及遗传性损伤为远期后遗症的表现。

相对生物效应 (ОБЭ) —— 是一个相对指标，它可用于比较不同种类的辐射对同一生物体所造成的吸收剂量的效应。100—200千电子伏的伦琴辐射或 Co^{60} 的 γ 辐射（其平均能量大约为1兆电子伏）的ОБЭ被用作为一个单位的相对生物效应。

由于ОБЭ指标的有条件性和不固定性，所以它的应用范围便局限于全身照射防护标准这样一些问题上。

生物半排出期 (Тбиол) (Период биологического полувыведения) —— 由于生物排泄过程而使蓄积于体内的同位素放射性强度减少一半所需的时间。

半衰期 (Тфиз) (Период полураспада) —— 由于放射性衰变而使同位素原来的放射性强度减少一半所需的时间。

组织吸收剂量 (D_t) (Поглощенная тканевая доза) —— 在整个照射期间受照射组织单位质量所吸收的任何类型致电离辐射的能量。

阈剂量 (Пороговая доза) —— 能引起损伤效应的最低照射剂量。

放射性衰变常数 (λ) (Постоянная радиоактивного ра-

спала) ——于单位時間內发生衰变的放射性原子的分数。

最大容許浓度 (ПДН) ——某一同位素的最大容許浓度系指：于該浓度下这一同位素进入机体的量在危象器官中或于整个机体中所形成的照射剂量均在容許剂量的范围之内。同位素最大容許浓度是在同位素随水被摄入体内或随空气以气溶胶或气体状态被吸入机体的情况下而确定的。

最大容許浓度以每公升 (指空气或水——譯者注) 中的居里数表示之 (с/л)。

体内的最大容許含量 (Предельно допустимое содержание в организме) ——在整个机体内所含有的同位素的放射性的量，其所造成的照射是在最大容許剂量范围以内。

拉特 (РАД) ——辐射的吸收剂量单位，它相当于1克被照射物质吸收100尔格的能量 (ГОСТ8848-58)。

在外国文献中拉特的符号是rad。

放射性物质 (Радиоактивное вещество) ——于其組成中含有天然的或人工的放射性同位素的物质。

放射性輻射 (Радиоактивное излучение) ——放射性同位素释放出的致电离輻射。

放射性平衡 (Радиоактивное равновесие) ——同位素母体与其子体或与其放射系各成分之間在数量比例关系上处于不变的状态 (尽管它們在不断的衰变)。

放射系 (Радиоактивные семейства) ——由于放射性衰变而依次形成的放射性同位素的系列。

放射性同位素 (Радиоактивный изотоп) ——具有放射性衰变性质的同位素。它的特征表现在以下几方面：輻射类型、射

线能量、每个原子衰变时释放出的粒子数或量子数、半衰期。

放射性衰变(Радиоактивный распад)——原子核的自发裂变过程，可发射出粒子和（或）光子。在进行自发的衰变时，同位素的原子核可转变成其他元素的原子核。

抗辐射能力(Радиорезистентность)——细胞、组织、器官和机体对致电离辐射损伤作用的相对抵抗能力。

伦琴(r)(Рентген)——伦琴射线或 γ 射线在空气中的剂量单位。在这种剂量下，每克空气的发射在0.001293克空气中可产生各为一个静电单位正负电荷的离子(ГОСТ8848-58)。

0.001293克是1毫升空气在 0°C 和压力为760毫米水银柱时的质量。

伦琴辐射(Рентгеновское излучение)——短波(0.06~20 Å)电磁辐射。它是当高速电子于物质中受到阻滞时产生的。

β 射线平均能量($\overline{E}_{\beta}$)(Средняя энергия β -излучения)——是放射性同位素 β 能谱的特点，它表示一次衰变时 β 射线所具有的平均能量。

β 射线的能量是以电子伏计量的。

稳定性同位素(Стабильный изотоп)——不具有放射性衰变的同位素。

“标准人”(Стандартный человек)——用以表示人体各参数平均数值的综合性概念。以70公斤体重的人作为标准人。

镭单位(c.e.)(Стронциевая единица)——用以表示在生物物质中与该处钙含量成比例的 Sr^{90} 浓度。

1. 镭单位相当于在1克钙中含有1微微居里(即 10^{-12} 居里)的 Sr^{90} (即 $1 \mu\text{mc Sr}^{90}/\text{克Ca}$)。

比放射性(放射性比度)(Удельная активность)——在单位重量的某化学元素中含有放射性同位素的放射性强度。

这一名词也被用来表示放射性同位素溶液中的放射性浓度，即在单位容积溶液中的放射性强度。

比电离(电离密度)(Удельная ионизация)——物质中电离粒子在其单位长度的径迹上(线性的)或在单位容积中(体积的)所形成的离子对数。

组织剂量不均匀因素(Фактор неравномерности тканевой дозы)——由于同位素的不均匀分布所造成的，在器官或组织中最大剂量强度与平均剂量强度之比。

物理当量伦(Фэр)——以往曾被采用作为各种类型辐射的辐射吸收剂量单位。在此剂量下，一克被照射物质吸收的能量相当于1伦的伦琴辐射或 γ 辐射在1克空气中引起电离所消耗的能量。

在国外文献中物理当量伦写作гер。

目前已不采用物理当量伦，而以拉特(рад)单位代替。

$$1 \text{ фэр} = 0.93 \text{ рад.}$$

$$1 \text{ рад} = 1.07 \text{ фэр.}$$

慢性照射(Хроническое облучение)——用以表示长时期经常性的辐射作用的名词。

电子伏(Электрон-вольт)——能量单位，相当于一个电子通过电位差为1伏特的两极时所获得的能量。以эв表示之。

$$1 \text{ 电子伏} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ 尔格.}$$

有效半排出期(Тэфф)——由于放射性衰变和生物排出而使身体内放射性同位素原始放射性强度减少一半所需的时间。