

放射性同位素工作的 劳动卫生学

C. M. 高罗金斯基 著
P. M. 怕尔霍敏科 审
苏联医学科学院院士
A. A. 列塔维特教授

原書增訂第三版

孙本志 译 葉根耀 校

人民衛生出版社

內 容 提 要

本书简单扼要地阐述了放射性同位素及其对机体作用的简略知识、放射性物质对机体的最高容许浓度以及从事放射性同位素工作的防护要点；并且在预防放射性同位素的危害方面提出了具体有效的防护措施，是从事于放射性同位素的工作人员和放射医师的必备读物。

С. М. ГОРОДИНСКИЙ, Г. М. ПАРХОМЕНКО

ГИГИЕНА ТРУДА

ПРИ РАБОТЕ
С РАДИОАКТИВНЫМИ
ИЗОТОПАМИ

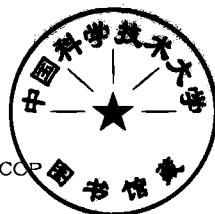
Под редакцией

действительного члена АМН СССР

проф. А. А. ЛЕТАВЕТА

Издание третье, дополненное и исправленное

МЕДГИЗ-1958-МОСКВА



放射性同位素工作的劳动卫生学

开本: 787×1092/32 印张: 17% 字数: 41千字

孫 本 志 譯

人 民 卫 生 出 版 社 出 版

(北京書刊出版業營業許可證出字第〇四六號)

·北京崇文區錢子胡同三十六號·

人 民 卫 生 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

統一書号: 14048·1069

定 价: 0.20 元

1956年11月第1版—第1次印刷

1961年5月第2版—第2次印刷

(北京版)印数: 3,801—6,800

序 言

二十世紀最偉大的發現——原子能——的和平利用問題，由於各國廣大研究隊伍的共同努力，正在順利地解決。在釋放和實際應用原子能時，主要的困難之一，就是放射性輻射對工作人員機體的危害作用，特別是放射性物質以灰塵和氣體的形式侵入體內。因此，在進行任何放射性物質工作時，合理地組織和實行防護措施具有頭等重要的意義。在進行放射性物質工作時，除了一般的防護措施外，工作人員的個人衛生和個體防護規則具有重要的意義。工作人員了解放射性物質對人體作用的方式和安全技术操作規程，這對創造安全的勞動條件和預防放射性物質工作的職業病，是一項極為重要的前提。關於這些問題，在本書第三版中都作了介紹。

本書供直接從事放射性物質工作的人員使用，同時還可以作為衛生醫師在預防方面進行衛生宣傳教育的基本材料。

這些材料主要是按著全蘇國家衛生監督局批准的“放射性物質工作的衛生法規和衛生標準”編寫而成的。本版根據放射衛生學方面最近的資料，作了較大的補充和修改。

目 录

序言

一、放射性同位素及其对机体作用的简略知识 1

(一) 放射性同位素的应用 1

(二) 放射性同位素的一些物理性质 2

(三) 放射性物质对机体作用的途径 8

(四) 在放射性物质和放射性辐射影响下所发生的职业病 10

二、放射性物质的最高容许浓度和最高容许照射限度 14

三、从事放射性物质工作的防护措施 18

(一) 放射性同位素工作室的结构和设备的要求 19

(二) 放射性同位素工作室的清洁保持 26

(三) 放射性同位素的保管与运输 30

(四) 个体防护用具 33

(五) 放射性物质工作的规则和个人卫生措施 47

(六) 剂量检查 51

(七) 医疗预防措施 52

四、对放射性同位素工作人员进行卫生指导的方法 55

一、放射性同位素及其对机体 作用的簡略知識

(一) 放射性同位素的应用

电离輻射和天然放射性物质应用于各种研究以及工业和医学部門，是从倫琴射綫和天然放射性发现时(1897—1898)开始的。可是直到人工放射性发现以前，电离輻射和天然放射性的应用范围是极其有限的。人工放射性同位素是在1934年首先由弗烈德利克和伊倫·約里奧-居里首先获得的。依靠現代的物理学和科学技术的发展，可以用人工的方法得到大量的放射性同位素。大家都知道，現在已获得大約1,000多种的同位素。

使用人工放射性同位素的研究工作，現在日益广泛地普及到各个科学技术部門中。应用最广的就是示踪原子的方法。这种方法的原理在于，放射性同位素具有特殊的物理学特性——放射性，根据这一特性，放射性同位素就很容易被发现出来，但它們在化学性質方面与通常的自然元素没有什么区别。把少量人工放射性同位素加到稳定的同位素中，或者把示踪原子加到分子中，就能追踪原子和分子在各种不同条件下的活动情况。示踪原子方法具有很高的敏感性，計数器可以测出 10^{-17} 克的极微量的放射性物质。

示踪原子方法的应用是非常多种多样的。放射性同位素可以用来测定合金結構、分子构造，檢驗工业上分离物质的方法，作某种金属的磨損試驗，研究催化过程，作标记鋼以及測

定非金屬物質夾雜在鋼中的百分比。示踪原子法同樣也在生物學和醫學中得到了廣泛的應用。

人工放射性同位素碳、磷、碘、氫、硫因為可以進入各種有機化合物中去，所以就追查動物體內同樣物質的變化情況。示踪原子方法可以研究腦組織中所進行的物質代謝過程、植物的有機物質的合成過程，研究加入土壤中或植物綠葉部分的肥料被農作物吸收同化的過程。把少量放射性物質導入機體內，可以研究物質的新陳代謝過程和各種鹽類吸收、分布以及由體內排出的過程，還可以測定血流速度、腦腫瘤的位置等。此外，放射性同位素在醫學方面還能用來治療各種惡性腫瘤、血液病和其他疾病。

放射性同位素還能作為 γ -放射源用於金屬部件探傷，也用地質勘探和放射化學中，還能用來作為敷料和醫葯制劑的消毒等。

(二) 放射性同位素的一些物理性質

放射學是物理學中的一個龐大的獨立部分，關於它的詳盡敘述可以參閱專門的文獻。在這本小冊子里，僅提供有關放射性同位素物理性質的一些基本知識。這些知識對於了解放射性同位素對機體的生物學作用方面是非常需要的。

大家都知道，原子是由原子核和在它周圍旋轉着的、帶負電荷的电子所組成的。一個电子的電荷通常作為一個單位電荷。原子核本身是由質子（帶正電荷的粒子）和中子（不帶電的粒子）所組成。原子核里的質子數決定元素的原子序數，例如，鉛的原子核有 82 個質子，在門捷列夫的周期表里占第 82 號位置。元素的原子量（或原子量的整數——質量數）決定於原子核里的質子和中子的總數。

原子具有同一原子序数而质量数不同的化学元素的，叫做同位素。同一元素的同位素其质子数相等，原子核里的中子数是不相同的。同一元素的同位素在化学性质上几乎是完全相同的。

放射性同位素与稳定同位素的区别就在于，放射性同位素的原子核不稳定而且自发地蜕变。目前几乎在所有的化学元素中都制得了人工放射性同位素。

在表 1 里列举了一些常用的放射性同位素的某些物理性质。

放射性同位素的原子核是不稳定的，在蜕变的同时，放射出 α -或 β -粒子，而各种放射性同位素均有自己完全独特的蜕变形式。许多放射性同位素蜕变时放射出 γ -射线，这是由于新形成的原子核处于激发状态，当它由激发的状态转为非激发状态时产生 γ 辐射。

人工放射性同位素通常是 β -射线放射者，其中有一些也放射 γ -射线。某些天然放射性物质是 α -射线放射者。

α -粒子是氦原子核流，这种原子核具有两个单位的正电，原子量等于 4。由放射性物质放射出 α -粒子的能量有数百万电子伏特^①。

由于 α -粒子的能量不同，其在空气中的射程计有 3—12 厘米不等。在比较厚的物质中， α -粒子的射程就减少；如在人体组织内， α -粒子能穿透千分之几到百分之几毫米，同时形成很高的电离密度（1 微米的距离有几千对离子）。在 α -粒子整个射程上，离子偶总数可达数十万个。 α -粒子整个射程所形成的离子偶数等于：

① 百万电子伏特——是在原子物理学中应用的能量单位。电子伏特是当一个电子通过电位差为 1 伏特的电场时所获得的能量。1 电子伏特 = 1.6×10^{-12} 尔格。

表 1 某些放射性同位素的性质

同 位 素	半 衰 期	射线种类	能 量 · MeV			1 毫居用相当毫克镭当量数	β-粒子的最大射程		
			β-粒子	γ-量子	γ-量子		在空气里 (厘米)	在水 里 (毫米)	在 铝 层 (毫米)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
C ¹⁴	5,568年	β-	0.155	—	—	0.23 4.5	0.26 6.4		0.12 2.3
Na ²⁴	15.06小时	β-, γ-	1.39	1.38 2.76 4.14	2.27				
P ³²	14.3天	β-	1.7	—	—	6.0	8.0		2.84
S ³⁵	87.1天	β-	0.167	—	—	0.25	0.3		0.15
Cr ⁵¹	4.4 × 10 ⁵ 年	β-	0.714	—	—	1.9	3.0		0.93
Cr ⁵³	37.29分	β-, γ-	1.1; 2.8; 5.0	1.63 2.15	0.85	19.0	29.8		9.42
Ca ⁴⁵	152天	β-	0.25	—	—	0.45	0.6		0.2
Fe ⁵⁹	45.1天	β-, γ-	0.26 0.46	1.098 1.289	0.74	1.0	1.50		0.48
Co ⁶⁰	5.3年	β-, γ-	0.306	1.171 1.332	1.57	0.62	0.8		0.28

Zn ⁶⁶	250天	β^+, γ^-	0.325	0.51 1.12	0.34	0.7	0.9	0.33
As ⁷⁶	26.8小时	$\beta^+, \beta^-, \gamma^-$	1.29, 2.49 3.04	0.55; 0.64 1.2; 1.4;	0.28	11.3	17.4	5.6
Br ⁸²	35.84小时	β^-, γ^-	0.465	2.05 0.547 0.787	1.76	1.12	1.6	0.56
Sb ¹²⁴	60天	β^-, γ^-	0.5 0.68 0.95 1.7 2.3	1.35 0.60 0.99 1.38 1.71 2.11	1.07	8.4	13	4.1
J ¹³¹	8.14天	β^-, γ^-	0.815 0.6 0.335 0.25	0.722 0.637 0.964 0.284 0.163 0.080	0.27	2.4	3.6	1.15
Cs ¹³⁷ (+ Ba ¹³⁷)	33年	β^-, γ^-	0.523	0.661	0.42	1.31	1.9	0.63

$$n = \frac{E_{\alpha}}{W}$$

式中： E_{α} — α 粒子的能量

W —形成一个离子偶所消耗的能量；在空气中
 $W=35$ 电子伏特。

β -粒子是电子或正电子流。 β -粒子在空气中和在组织中的射程决定于 β -粒子的能量。放射性物质的 β -辐射能量变动幅度较大。如果说一部分放射性物质放射出小能量低穿透力的 β -辐射，那么其余的放射性物质则有很强的 β -辐射，在空气中能穿透数米。例如，具有0.15—0.17百万电子伏特能量（放射性 C^{14} 和放射性 S^{35} 所放射出的 β -粒子能量）的 β -粒子，在空气中的射程大约为25厘米，在铝里的射程是0.15毫米，而在有生命的组织内的射程为0.3毫米。由放射性磷放射出具有1.7百万电子伏特能量的 β -粒子，其在空气中的射程等于6米，在铝里为2.84毫米，在有生命的组织内约为8毫米。

β -粒子当穿过物质时，同样能产生电离作用。 β -粒子的比电离强度较 α -粒子者低得多。例如，在1厘米的射程上， β -粒子在空气中平均产生50—70个离子偶；而在组织中，它们在1微米的距离上产生约10个离子偶。

γ -射线也如同X-射线及光线一样，是一种电磁波。根据现代的概念， γ -射线可看作是一种光子流。 γ -射线具有很强的穿透力，其穿透力的大小，取决于各该同位素所具有的 γ -量子的能量。

从表1可以看出，在所列举的放射性同位素中，下述几种具有穿透力极强（硬的）的 γ -辐射：钴(Co^{60})、铁(Fe^{59})、氯(Cl^{38})、锌(Zn^{65})、砷(As^{76})、钠(Na^{24})和一些其他元素。

每一种元素都有自己一定的半衰期，即在这一段时间内，各该同位素的原子核有 50% 蜕变。某些同位素（钴—— Co^{60} 、碳—— C^{14} 、锌—— Zn^{65} 等）有很长的半衰期。在评价这些同位素对机体的生物学作用时，是应该考虑到它们的半衰期的。

为了解决从事放射性同位素工作对机体的有害作用问题，规定物理测量单位有着重大的意义。这些物理测量单位是以最高容许剂量和最高容许照射限度来表示的。

放射性物质的放射性是用居里作单位来表示的。居里是放射性物质的放射性单位，1 居里是放射性物质在 1 秒钟内有 3.7×10^{10} 个放射性原子发生蜕变。1 居里 (C) = 10^3 毫居里 (mC) = 10^6 微居里 (μC)。把 1 毫克镭当量作为 γ -当量单位。在一定的条件下，某制剂在空气中产生的 γ -辐射剂量，恰好等于 1 毫克镭的标准源处在与该制剂相同的条件下，在镭与其蜕变产物达到平衡时，经过 0.5 毫米厚的白金滤过所产生的辐射剂量，则该制剂的 γ -辐射剂量叫作 1 毫克镭当量。1 毫克镭的点源，在上述的条件下，在距离 1 厘米远的空气里，产生的剂量率等于 8.4 伦琴/小时。

伦琴：是 X 射线和 γ -射线的剂量单位。用 1 伦琴 X 射线照射 0.001293 克空气^①，可形成正负离子电量总和为一静电单位的离子群。1 伦琴 (r) 的剂量可在上述重量的空气中形成 2.08×10^9 离子偶。在一定的条件下，当保持电力平衡时，1 伦琴剂量相当于 200 多千电子伏特能量的 γ -辐射，在 1 克空气中或 1 克肌肉组织内吸收 84—88 尔格的能量。

任何电离辐射当它在 1 克物质中被吸收的能量，等于 1 伦琴 X 射线或 1 伦琴 γ -射线在 1 克空气中引起电离所消耗

^① 0.001293 克空气，是 1 厘米³ 干燥空气，在 0℃，气压 760 毫米水银柱时的重量。

的能量时，称此辐射剂量为1物理侖琴当量(rep)。1物理侖琴当量等于1克物质吸收84—88尔格/克。

物理侖琴当量通常用来表示粒子的辐射剂量(α -和 β -粒子、质子、中子等)。

第七次国际放射学家会议(1953年)曾推荐用rad作为物理侖琴当量的单位。1rad单位相当于任何电离辐射在1克物质中吸收100尔格的能量。1物理侖琴当量=0.84rad。

生物组织吸收的能量，相当于1侖琴X射线或1侖琴 γ -射线作用时，称为1生物侖琴当量。

单位时间内的剂量(剂量以时间除)叫作剂量率。剂量率通常是用侖琴/小时、侖琴/分、毫侖琴/秒等来表示。

(三) 放射性物质对机体作用的途径

了解放射性物质对机体作用的各种途径；对于预防放射性疾病有着首要的意义。当放射性同位素侵入体内或使人体受到外部照射时，对于工作人员能引起危害作用。在某些场合下，外部照射和侵入体内的放射性物质对机体同时发生作用。在开放的情况下或在包装不严密时，使用放射性同位素的各个操作中，特别是在粉末和气体物质的操作过程中，可能使放射性物质侵入体内。

工作房间空气中的放射性物质能够直接侵入人的呼吸道和消化道内，或者落到地板、牆和设备上，能使工作服污染；而工作服又成为污染身体和手的污染源。由于手被污染，当吃东西和吸烟时，能使大量放射性物质进入胃内。当手、皮肤、脸等部位被某些放射性同位素污染时，放射性物质能直接渗透到血液中去。但是，放射性同位素侵入体内的所有可能的途径中，以经呼吸器官侵入的危害性最大。侵入到体内的放

射性物质变成机体内部的照射源。在放射性物质存在体内的整个期间,这种“内部”照射要一直持续发生。在这种情况下,半衰期长的放射性物质、自体内排出很慢的放射性物质或者有选择地集聚在体内个别器官的放射性物质其危害最大。

例如,放射性钴储留在造血器官以及肾上腺和肾脏里;放射性磷主要是集聚在骨骼里;放射性碘集聚在甲状腺里。所以,存集放射性同位素的那些器官经常地遭到照射。照射延续的时间,取决于各该化学元素的同位素自体内排出的速度和各该化学元素同位素的半衰期。

根据 A. A. 列塔维特氏提出的分类,放射性同位素可以分作三个组。

属于第一组的,是具有长半衰期、在体内有选择性储存的、自体内排出很慢的同位素(Sr^{90} 、 Ca^{45} 、 Fe^{55} 、 Bi^{210}),以及 α -放射源(如 Ra^{226} 、 Po^{210})。由于这组放射性同位素有上述特点,当侵入体内时,对健康有很大的危害。

属于第二组的,是具有长半衰期但自体内排出很快的放射性同位素(C^{14} 、 Sr^{89} 、 Cs^{137} 、 P^{32} 、 Co^{60}),或者在体内储存但具有短半衰期而能很快失掉其放射性的同位素。

属于第三组的,是具有短半衰期的、在体内平均分布的放射性同位素,如 Na^{24} 、 K^{42} 。

外部照射和内部照射不同,前者消除放射源以后,放射作用便停止。当机体受到具有低穿透能力的 α -或 β -粒子的外部照射时,其照射停留在皮肤表层。高能量的强 β -辐射,能够引起皮肤和眼睛粘膜疾患。由于放射性同位素放射出 γ -射线,如 Co^{60} 、 Na^{24} 、 Ra^{226} 等,当外部照射时,能穿透到组织深部。

非常明显,侵入体内同位素的量或外部照射时的照射剂

量，是确定放射性同位素作用的决定因素之一。只有在放射性物质的量或照射剂量超过最高容許标准时，才能对机体发生有害作用。

电离辐射的生物学作用还取决于获得某种剂量的时间。在照射中，接受的一定剂量愈分散，照射之間的时间间隔愈长，其辐射的危害作用就愈小。

放射性物质对机体作用的性质决定于以下几个因素：

(1)射线的种类和能量以及放射性物质的半衰期；(2)侵入体内的途径；(3)侵入体内同位素的量或外部照射剂量；(4)同位素在体内分布、蓄积以及自体内排出的特点；(5)机体的个体感受性。

应当指出，当大量放射性同位素侵入体内时，其中某些放射性同位素(如 Br、J、重金属等)，除了象放射源那样具有电离作用外，还能因其本身的化学性质，对机体的生活活动引起某种影响。电离辐射对生物机体的原发作用，根据现在的观点，主要是使机体组织内所含的水发生活化(即离解作用)，而水是保证能量吸收和转换的介质。由于水的离解而产生的具有化学活性的化合物，能对机体的生活物质发生影响。由于以上的结果，电离辐射对于溶解物质产生直接作用，而蛋白质分解的中间产物、有机酸和一些其他化合物亦产生有害影响，而对机体生活能力有多种破坏作用。

(四) 在放射性物质和放射性辐射影响下 所发生的职业病

人体由于放射性物质和电离辐射的作用，能够发生急性和慢性放射病。

在从事放射性物质工作的实验室内，只有在运输和分装

等工作中发生意外事故时，或是严重地违反安全操作规程时，由于放射性同位素超量照射或放射性同位素侵入体内（吸入或吞咽），才可能发生急性放射病。

放射性物质长期地侵入体内，或者经常在超过最高容许剂量的外部照射条件下工作，以及在上述二者共同作用的条件下工作，能引起机体生活活动各个过程的损坏，并能使工作人员的健康状态呈病理变化。

应当指出，从事放射性物质工作的人员，能够同时遭到几种放射因素的作用。例如，在作镭的工作时，人可以遭到氢、镭的粉尘和 γ -辐射的作用。这时空气中每一种物质的浓度和 γ -辐射剂量虽然不超过最高容许浓度，但是由于它们的总和（相加）作用，以致总剂量超过最高容许浓度的3倍。因此，由于没有考虑到各种因素的总和作用，按剂量测定资料来看虽然似乎没有什么问题，但对工作人员却可能产生超量照射。实际上，这种超量照射在长时间作用下，就能发生慢性放射病。

慢性放射病的初期阶段，临床上的表现是许多对生命很重要的器官发生机能障碍而出现各种症状，而这些症状并不是该病所特有的症状。

现在把慢性放射病分作三期。各期的临床症状表现程度是不一样的，它不仅取决于放射作用的剂量，而且在很大程度上还取决于机体的一般状态、个体感受性等。

慢性放射病的初期症状是由于神经系统机能障碍而起的某种健康状态失常，这时主诉最多者为疲乏、烦躁、头痛、失眠。有的时候工作人员往往不去就医，而且在定期健康检查时也没有什么主诉。可是对工作人员详细询问和检查时，能够发现各种症状，同时根据对劳动条件的分析，就可以把这些

症狀推測為慢性放射病的早期病象。如果以往從來沒有出現過這些症狀，那麼把健康狀態失常現象與職業性因素聯繫起來，更是特別令人信服的。患者常有食欲不振、消瘦、記憶力減退等。

當客觀檢查時，可以看到皮膚紅色划痕症，腱反射增強或不對稱，心臟活動不穩定，呼吸困難，血管緊張度降低。往往有官能性胃酸過少。在電離輻射作用時，最常見的和最重要的標志之一，就是造血作用的改變。機體的造血系統對電離輻射的反應主要表現在，正常造血機能降低。在初期，這些改變極不明顯，而只有把現有血象分析資料和過去的血象分析資料對比，才能發現這些改變。這就是說，醫師應當經常地注意每立方毫米中白血球數由 7,000 降到 5,000 以下的情况，其中最主要的是淋巴細胞的絕對數的降低；同時能看到血小板數減低(180,000 以下)和網狀紅血球有某種增加。

疾病的初期，上述各種改變很容易恢復常態，所有這些症狀經過及時的治療，可以不留痕迹地消失掉。工作人員常常在休假後，自覺症狀消失，勞動能力完全恢復。但是在不及時採取措施的情況下，就可以由第一期轉到第二期。還應當指出，由於分期並非是很嚴格的，往往有些人有很高的敏感性，或者受到比較大劑量的作用，當初次健康檢查時，就發現按其嚴重情況應屬於第二期放射病的症狀。

第二期放射病的全部臨床症狀都很明顯，而且難以恢復常態。在血液方面的改變，表現為白血球和血小板更明顯地減少。紅血球在每立方毫米血液中 3,000,000—3,500,000 以下。頭痛、失眠急劇增進，記憶力顯著減退，往往還可看到出血性綜合病征。慢性放射病第二期的特點是間腦綜合病征。當有這種病征時，可看到陣發性心動過速的發作、各種代謝違

到破坏、体温呈微热、四肢发冷。

第三期慢性放射病最为严重，病征很少回复常态，并可看到病理征象进一步发展。在神经系统方面常常看到类似播散性脑脊髓炎的症状。血液方面的改变和出血性综合病征常更为明显。可能有心肌出血、蜘蛛膜下腔出血等。在血液方面可看到血液有形成分（即血球）显著降低，网状细胞减少，红血球大小不均。常常发生显著的无力症，血压降低。遇有混合感染可使体温升高。由于性器官的营养不良性改变，生殖系统异常现象在第三期表现的比较明显（往往在慢性放射病第一期和第二期也表现出来）。

当放射性物质侵入体内时（尤其是长半衰期的物质和自体内排出缓慢的物质），放射性损害的各种症状能长时间存在，并且由于放射性物质的蓄积，可能出现全身状态的周期恶化。

最近几年，在文献里有很多的著作证明，眼睛对放射性辐射作用有很大感受性。据记载，有些病例是由于中子、伦琴射线和 γ -射线对眼睛作用而发生内障。病人的晶状体在不知不觉中逐渐地发生改变，当健康检查时常常首先被眼科医师发现；过不久晶状体有模糊不清的各种各样的小点子，接着这些小点子互相融合在一起，造成严重的视力障碍。放射性内障，在达到一定发展阶段以后，有更加恶化的趋势，而且甚至在工作人员与电离辐射停止接触的情况下，也能导致失明。所以及时发现初期内障，在避免继续与电离辐射接触和在预防疾病恶化方面有着极为重要的意义。

大剂量的电离辐射能引起皮肤病。在轻的情况下，出现皮肤发红、发痒、烧灼、有时出现浮肿和轻微的肿胀，经过2—3周，皮肤变色并脱皮。在严重的情况下（大剂量），皮肤反应