

原子能知识丛书



放射性同位素在医学上的应用

7-51



原子能知识丛书

放射性同位素在医学上的应用

〔美〕 E. W. 费伦

雨 田 译

原子能出版社

放射性同位素在医学上的应用

〔美〕 E. W. 费伦

雨田 译

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

张家口地区印刷厂印刷

(张家口市建国路八号)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $1^{3/4}$ ·字数 35千字

1982年3月第一版·1982年3月第一次印刷

印数001—3,000 统一书号: 15175·380

定价: 0.22元

出 版 说 明

一提到原子能，就要和不可捉摸的放射性联系在一起，一些人往往望而生畏，敬而远之，这说明原子科学领域对于许多人来说还是陌生的。其实原子能既不可怕，也不神秘，它在我们的生活中正在起着愈来愈大的作用。

为了介绍原子能的基本知识和应用情况，我们有选择地翻译出版美国当代原子能学者和专家编写的原子能知识丛书（Understanding the Atom Series）。这套丛书取材广泛，内容丰富，语言生动，深入浅出，具有中等文化水平的读者，花一些气力，读懂它是不成问题的。

在科学技术的急速发展的今天，书中引用的有些材料稍嫌过时，但是这些材料对于理解基本概念还是有价值的。

目 录

第一章 引言.....	(1)
1. 历史的回顾.....	(1)
2. 什么是辐射?	(6)
3. 什么是放射性?	(6)
4. 什么是放射性同位素?	(6)
5. 如何利用放射性同位素?	(8)
6. 什么是“示踪原子”?	(9)
第二章 诊断.....	(11)
1. 放射性同位素诊断疾病.....	(11)
2. 砷-74.....	(15)
3. 铬-51.....	(16)
4. 钴-60.....	(19)
5. 碘-131	(20)
6. 铁-59.....	(25)
7. 磷-32.....	(26)
8. 钠-24.....	(27)
9. 锝-99m.....	(28)
10. 铥-170 和 γ 射线照相.....	(29)
11. 氟.....	(31)
12. 活化分析.....	(32)
13. 结论.....	(33)

第三章 医疗	(33)
1. 一个成功的病例	(33)
2. 一般原理	(34)
3. 碘-131和碘-132	(35)
4. 硼-10	(35)
5. 磷-32	(38)
6. 金-198	(40)
7. 镭管和治疗器	(41)
8. 深部治疗	(44)
第四章 结论	(46)
第五章 附录	(47)
1. 测量仪器	(47)
2. 电离室	(47)
3. 正比计数器	(48)
4. 盖革-弥勒计数管	(48)
5. 闪烁计数器	(48)
6. 固体计数器	(49)
7. 扫描机	(49)

第一章 引言

1. 历史的回顾

放射性同位素应用在医学上的历史，已载满荣获诺贝尔奖金的伟人名字。对于这些伟人如何敲开令人迷惑不解的神秘大自然之门，进而为他们所观察到的现象找到理论和实际根据，最后获得科学上至高无上荣誉的历史，今天回顾起来仍然令人振奋不已。

例如，德国物理学家伦琴于1895年发现置于高真空放电管附近的某种晶体，具有发光性质。在管子和晶体之间放置某种物体，即可部分挡住引起发光效应的不可见辐射。他发现，所放置的物体密度越大，屏蔽效应越好。他称这种新发现

的辐射为X射线，因为X是表示未知量的一种标准代数学符号。这项发现使他于1901年荣获第一届诺贝尔奖。



图1 伦琴

法国物理学家，当时新被任命的巴黎理工学院物理系主任贝克勒耳认为，伦琴的发现为科学研究开辟了一个新的领域，因而开始了一系列新的研究。在发射X射线的过程中，有一个明显的现象，那就是

当X射线产生时，真空放电管的玻璃壁也会同时发出淡绿色的磷光。因此，有些物理学家认为：在可见光的照射下能发出磷光的物质，在其发出磷光的同时也可能伴随有X射线。

贝克勒耳根据这种设想做了实验。他将各种各样的晶体置于太阳光下照射，并在每一个晶体底下放置一张外面用黑纸包起来的未曝光的照相底片。他想，如果真有X射线产生的话，它们就会穿透黑色包装纸，使底片产生曝光点。令他高兴的是，在他用硫酸铀、钾的晶体作发光物质时，确实发现了这种效应。后来他又发现了一件令人迷惑不解的事情。接连好几天没有出太阳，磷光物质得不到太阳光的照射。有一天，贝克勒耳没有什么特别理由，只是出于无事可做，把与含铀物质接触过的底片从黑暗的抽屉里拿出来冲洗时，竟然发现底片已曝光，而当时抽屉里并没有磷光。然而，曝光底片上的黑点却指示出了矿物所在的位置。因此，贝克勒耳的结论是，铀元素在正常状态下能放射出X射线或类似的射线。

这个时候，贝克勒耳的朋友，巴黎的一位物理学教授皮埃尔·居里建议他年轻的妻子玛丽（也是他的研究生）对这种新现象进行研究。玛丽发现，铀和钍都具有放射性这种特征，而且，使人吃惊的是，有些铀矿物比铀本身的放射性还要强。通过长时间连续的而又令人十分乏味的化学分离之后，她终于从沥青铀矿中分离出少量的新元素钋和镭。她指出，这两种元素比铀本身的放射性要强得多。为表彰这一科学成就，贝克勒耳和居里夫妇于1903年共同被授予诺贝尔物理奖。

一开始的时候，伦琴就指出，X射线通过人体组织时，



图2 贝克勒耳

虽然不会使人立刻有什么感觉，但它对人体的皮肤和皮下细胞确实会产生一定影响。经X射线照射后不久，很明显，皮肤会出现红肿、起泡，甚至溃疡。不论是单次照射还是反复多次小剂量照射，都会出现这种现象。尽管X射线对人体会带来一定的危害*，但早期的实验已能证明，X射线破坏癌组织的速度较之破坏

健康组织的要快。因此，很快便确立了将X射线用于治疗癌症或遏制癌细胞生长的理论。

居里夫妇的发现激起了人们研究放射性效应的热情。不久，研究人员了解到，天然放射性元素（如镭）也可用于癌



图3 居里夫妇

* 早期在使用X射线过程中出现的各种危害，都是由于对X射线不了解，加之屏蔽不当而造成。目前已可避免这种危险。

症治疗。这些天然放射性元素放射出 γ 射线^{*}，这种射线与X射线类似，但穿透力更强，应用时往往比X射线更容易控制。经过几年的研究，逐渐发明了一些用放射源诊断疾病的可靠方法，也设计出了测量病人所接受的辐射剂量大小的仪器。

另一项重大发现是法国化学家，居里夫妇的女儿伊伦娜和她的丈夫弗雷德里克·约里奥共同作出的。1934年，他们发现，铝受到 α 粒子^{**}轰击会发射正电子，甚至在移走 α 射线源之后许久，正电子仍持续不断地被发射出来。这就是人工感生放射性的第一个例子。它激起了整个科学界又一阵新发现的热潮。弗雷德里克和伊伦娜于1935年因此共同获得了诺贝尔化学奖。

继约里奥-居里夫妇的发现之后，又有一些人研究出了



图4 弗雷德里克·约里奥-居里夫妇

^{*} γ 射线是高能电磁辐射。

^{**} α 粒子是大的带正电荷的粒子，它就是氦原子核。

产生人工放射性的新方法，他们是：两个美国人 理查德·克兰和C.C.劳里森，英国科学家约翰·科克罗夫特和沃尔顿，以及美国人罗伯特·范德格拉夫。另一位美国物理学家欧内斯特·劳伦斯发明了回旋加速器（或称原子击破器），这是一部强大的高能粒子产生器，它可以使受到轰击的任何物质的靶产生放射性。意大利物理学家恩里科·费米利用刚刚建立不久的中子（一种电中性的粒子）理论，发现了用中子轰击靶物也能产生放射性。科克罗夫特、沃尔顿、劳伦斯和费米等人因而全都获得了诺贝尔奖金。

不断地应用这些新的轰击粒子源，使我们获得了数百种性质互不相同的微量放射性同位素。此外，我们还研制出了将放射性同位素用于诊断、治疗和医学研究方面的许多方法。到目前为止，在美国已有三千多家医院持有原子能委员会发给的使用同位素的许可证。另外，还有成千上万的医生、牙医和医院都拥有X射线设备，用于多种治疗。因此，几乎每个月都有应用同位素的新方法被研制出来。

现在每年都有越来越多的人在接受放射性同位素使用方法的训练，而且承担生产和包装放射性物质的单位也越来越多。这本小册子仅就放射性物质在医学上应用所取得的成就作简要的介绍。



图5 索迪

2. 什么是辐射?

辐射系指以波或粒子形式传播辐射能的现象。它既包括从普通的无线电波、红外线、可见光、紫外线以至X射线到 γ 射线等电磁波的辐射,又包括我们所熟知的电子、正电子、中子、质子、氦核和 α 粒子等粒子束。

3. 什么是放射性?

自从贝克勒耳和许多探索者发现一些基本现象之后,经过了若干年,人们才对放射性这种现象有了一个系统的认识。放射性就是某些物质具有不稳定的原子核,当其衰变时,会自发地放射出 α 粒子、 β 粒子或 γ 射线的现象。

4. 什么是放射性同位素?

十九世纪英国人道尔顿提出了原子理论的假说,他认为,“同一元素的所有原子都完全相同”。这个理论维持了一百年之久,一直到英国化学家索迪通过一系列实验才打破了这个理论。索迪确定无疑地证明了氦元素有两种不同类型的原子,它们的化学性质相同,原子量却不相同——一种为20,另一种为22。他创造了“同位素”这个词,用来描述两种或更多种原子序数相同而原子量不同的原子*。

所谓放射性同位素就是不稳定的或带有放射性的同位素,它们能自发地放射出辐射。现在有许多放射性同位素是

*一种类似的说法是,同位素的原子核具有同样数目的质子,但中子数不同。

在反应堆内用中子轰击适当的靶物产生的。但是，用回旋加速器或类似的加速器产生的高速质子、氘核和其它高能粒子轰击靶物，能创造出更令人满意的同位素。

放射过程实际上不受任何因素（如温度和压力）的影响，故可用来控制化学反应的速率。放射性衰变的速率看来只受不稳定（衰变的）核结构的影响。每一种放射性同位素都有它自己的半衰期，所谓半衰期就是原子的数目衰变到它原来的一半所需的时间。半衰期因原子的不同而各异，从零点几秒到数百万年的都有。下面我们将看到，在选择某种同位素作某特定用途时，半衰期是我们需要考虑的因素之一。

大部分人造放射性同位素的半衰期都较短，这就使它们有两种特殊用途。首先，只需要使用极少量放射性同位素就可获得大量的放射性衰变。这显然是因为对于任何特定数目的放射性原子，每秒钟的衰变数与半衰期成反比。其次，经过十个半衰期后，每秒钟衰变的次数将降至原来值的 $1/1024$ ，此时放射性物质的含量非常少，通常可忽略不计（请注意图中曲线的递减）。

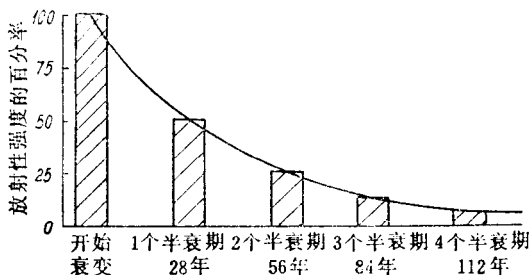


图6 碘 90的半衰期

5. 如何利用放射性同位素?

放射性同位素既可作为一种辐射能源（衰变过程中总是释放能量的），又可作为示踪剂。所谓示踪剂就是一种很容易探测的用来标记物质的标记物。示踪剂在使用过程中的具体位置，能用适当的仪器探测出来，即使其用量极微，且与其它物质混杂在一起，也可探测到。下面我们将讨论同位素在医学上的应用——先讨论用作示踪剂的情况，然后讨论辐射能的利用问题。一般地说，示踪剂用于化验分析和诊断过程，而辐射能放射体用于治疗过程。

使用放射性同位素有两个优点：其一，使用量极微，即使少到十亿分之一克，也可用适当的仪器探测出来；其二，能按照要求输送到人体任何确定的部位。比如，放射性碘化钠在人体内的表现与一般家用碘化钠完全一样。碘浓集在甲状腺中转变成一种激素甲状腺素。其余的放射性原子，或称“标记”原子，则跑到骨髓、红血球、肺、肾脏里面去，或者滞留在血液中。这些放射性原子都可用仪器探测出来*。

在三种辐射中， α 粒子（氦核）的穿透力最低，不能作体外测量。 β 粒子（电子）有一定的穿透能力，因此，在电子逸出的范围内能产生一定的治疗效果，而且这些粒子能用灵敏的探测器检测出来。 γ 射线的穿透能力极强，可用计数器（或辐射测量装置）作体外测量。这里，我们可用下图作一比较。一张纸能挡住 α 粒子，一块木头能挡住 β 粒子，而要用一堵厚厚的混凝土墙才能挡住 γ 射线。

* 参阅“放射性探测器的类型”部分。



图7 α、β和γ辐射穿透力的比较

一般说来，使用放射性同位素的关键在于辐射能量的大小。射线用于治疗疾病时，人体吸收的能量要么用来破坏组织（特别是癌细胞），要么用来抑制身体某部分的机能。使用计算出来的剂量适当的辐射，可获得令人满意的疗效，副作用也极小。假如用通常的“功”或“热”的单位（尔格或卡）来表示与辐射剂量有关的能量的话，那是微乎其微的。但重要的是，这种能量一旦释放出来，可使人体细胞的分子成分发生重大变化。

6. 什么是“示踪原子”？

用放射性同位素作示踪剂时，射线的能量触发计数器，每个原子衰变产生的能量能准确地被测定出来。通过对能量的测定，就能区别示踪物质与存在的天然物质。

即使是化学家也不可能将同一种元素的两个原子区别开来，这是显然的。比如，一旦普通食盐进入血液，人们通常找不出它有什么特殊的性质能借以解决钠原子到底来自何处，新进入血液的是何种钠原子，以及哪些原子是原来血液中就有的这样一些问题。

这里有一个例外。如果加进去的原子附有放射性标记的话，就很容易识别出来，其数量也能用计数器测定出来。

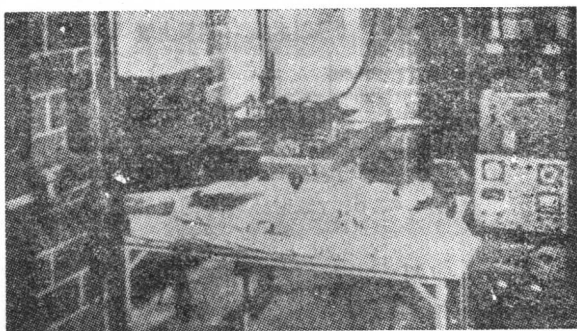


图8 这是第一台照相扫描机，1954年由宾夕法尼亚大学制造，1963年不再使用。病人体内示踪同位素放射出来的 γ 射线打在扫描机上，发出的闪光使照相底板上出现小点。闪光强度的大小与计数率有关。因此，正常组织与非正常组织通过其摄取同位素的多寡而被区分开来。

显然，放射性示踪剂的使用与被它所示踪的物质的化学性质和性能有关。实际上，人体本身对待标记过和没标记过的物质都是一样的。含有放射性铁原子的血红蛋白分子仍然是血红蛋白。人体对待标记血红蛋白与对待未标记的血红蛋白是一样的，所不同的是，科学家能用计数器来追踪放射性的标记分子。

在诊断疾病和检查身体各器官的功能时，示踪剂的使用量极其微小，对人体几乎没有什么危害。它们对人体造成的影响和我们每个人经常不断地受到的体内或体外天然放射性的影响一样，是微不足道的。但是（如果要控制病人的某种疾病，也就是需要破坏那些不正常的细胞或组织时，那就要给病人一定的治疗剂量。在这种情况下，得依靠医生的技术和经验，在不伤害人体健康组织的前提下，将有害影响减至最低。



图9 照相扫描机拍摄的扫描图。黑带部分显示病人颈部瘤内放射性强度。

这本小册子主要介绍放射性同位素在诊断和治疗两方面的应用情况。利用放射性这种工具进行医学研究的范围是如此的广泛，必须分别加以论述。

第二章 诊 断

1. 放射性同位素诊断疾病

彼得先生三十五岁，已经是四个孩子的爸爸了，家住芝加哥市西北部。经常不断的头疼折磨得他痛苦不堪。于是，在冬季的某一天，他来到芝加哥一所医院求医。经过多种常规检查并没有发现头部有什么异常。医生决定让他到该院同