

上海第一醫學院

SHANG-HAI DIYI YIXUE YUAN

放射性同位素讲义

FANG SHE XING TONG WEI SU JIANG YI

药学专业

1962级用

下 册



1960年11月(685-6169-5)

第 六 章 放射性同位素在医药上的应用

第一节 放射性同位素在诊断, 治疗, 医学科学

研究上的应用

一、概 論 1

二、各 論 7

第二节 放射性同位素在药理学上的应用

一、概 論 15

二、放射性同位素在合成药物上的应用 16

三、放射性同位素在分析化学上的应用 21

四、放射性同位素在药剂学上的应用 28

五、放射性同位素在药理学上的应用 30

六、放射性同位素在植物生药上的应用 31

第 七 章 放射性同位素药物及示踪化合物的制备

第一节 放射性同位素化合物制备的特点

一、半衰期与制备的关系 36

二、放射性比度与纯度对制备的关系 36

三、标记方法及标记位置的选择 37

四、放射性同位素本身的影响 38

五、产率计算 40

六、放射性同位素化合物制备操作的特点 40

第二节 交换法制备放射性同位素化合物

一、交换反应 41

二、交换法的机制 42

三、交换反应的制备方法 44

第三节 化学合成法

一、化学合成路线的选择	44
二、 C^{14} 化合物的合成	46
三、氮及氧的有机化合物	54
四、卤素化合物的制备	56
五、硫 35 化合物的制备	57
六、磷 32 的化合物	58

第四节 生物合成法

一、光合方法	61
二、微生物生物合成法	62
三、动物的生物合成法	62

第五节 利用核反应的标记化合物制备法

一、齐拉却满斯效应的利用	63
二、利用核反冲标记化合物	63
三、应用加速方法使 C^{14} 获得高能量的标记方法	65

第六节 放射性同位素药物的制剂

一、放射性同位素药物制剂的要求	67
二、常用的放射性同位素药物的剂型的制备	68

第六章 放射性同位素在医药上的应用

第一节 放射性同位素在诊断、治疗、医学科学研究上的应用

一、概論：

1. 同位素在医学上应用的发展：

自从1899年鐳应用于治疗紅斑性狼瘡，就开始了同位素在医学上的应用，此后鐳又用于治疗恶性肿瘤，成为近几十年来治疗恶性肿瘤的主要方法之一。放射性同位素在医学上的应用，始于治疗，这是由于早期发现的天然放射性同位素都是原子序数较高，在人体中并非以正常地可观察的量存在，所以就很少有作为示踪元素的可能。并且这些同位素产量低，价格高，极难获得，也限制了应用上的发展，虽然在1927年曾有人用鐳C注入人体以测量血流速度，但由于鐳C的衰变产物为放射性鉛，半衰期22年，且积蓄于骨组织中，所以这样用是不应当的，是违反医学道德的。

自从1933年約里奧居里夫妇发现人工放射性同位素后、与人体正常存在的元素如碳、氢、碘、硫、磷等的放射性同位素逐渐从加速器中产生而品种不断增加，但是这时同位素生产的数量仍是很少而昂贵，所以只限于少数研究机构使用，还不能普遍推广。

二十世紀四十年代，开始建成了反应堆；并且与加速器一样，很快地获得发展，同位素的种类与数量大为增加，于是放射性同位素在医学上的应用亦飞快地发展，在诊断、治疗和医学科学研究各个领域中都出现了很大的成绩，现在较常应用于生物及人体的放射性同位素已有数十

种,其中碘、磷、鈉等得到了广泛的应用。

我国同位素工作在党的正确领导及苏联的帮助下,发展速度也是很快,1958年我国第一个实验性原子反应堆及迴轉加速器建成,并生产了30余种常用的同位素,医学上的应用,也由大跃进以来在各地蓬勃发展并取得了不少成绩。鈷⁶⁰,磷³²,碘¹³¹等已广泛用于临床诊断与治疗,并开展了医学科学方面的研究,如用P³²研究电离辐射对造血机能的作用,利用放射性氢进行血浆蛋白抗原性改变的研究,利用硫³⁵,碳¹⁴,氢³研究脂肪代谢、激素代谢及药物的作用机制等的研究,都获得了成绩。

当然由于我国在这方面的工作还只是开始,前进道路上还存在一些困难,如同位素的供应特别是短寿命同位素供应的问题,测量的仪器设备问题,工作人员培养问题等,但是只要有发愤图强、攀登世界科学高峰的雄心壮志,在党的领导下,走群众路线,就能使同位素工作更快的发展,更好地为劳动人民的健康服务。

2. 放射性同位素在医学上的用途及基本原理:

前面已经讲过放射性同位素的特点之一是它能够发出射线,利用射线的可测性,人们就可以追随一种放射性同位素的踪迹,这就是一切示踪实验,包括医学研究与临床诊断在内的应用基础,另外一方面,大剂量放射线,具有破坏有机体生机的作用,特别是对增生繁殖中的肿瘤组织,因此可以用它来阻止肿瘤的增生,这就是放射治疗的原理。

放射性同位素在医学上的应用可分为(1)医学科学研究上的应用(生理、生化毒理等方面的研究及临床研究)。(2)放射治疗。(3)临床诊断三方面。

(1)医学科学研究上的应用:这方面的应用主要是以放射性同位素作为示踪剂被利用于医学科学研究上,示踪剂之基本特点有:第一,

所有一种元素的同位素在化学性质上既然是完全相同，如果所用的剂量不太大，使正常生机不致发生变化时，那么在同种同位素中一个有放射性的原子在机体内的一切活动中就完全可以代表与它同位的非放射性的原子的活动。第二，放射性同位素有特殊的物理性质，就是有可测量的放射性，因此在测定方面，物理方法就可以代替化学方法，从而大大提高了鉴定的准确性，此外，如果采用“体内”的方法，人们还可以在不损伤机体的情况下，进行放射性的测量，来达到研究的目的，这是利用通常化学分析方法所做不到的，根据这些优点，示踪剂已经应用到过去无法直接观察的一系列现象，尤其是关于整体动物的体内变化如测定体内物质原子和分子成份的更新速度（体液内 Na^+ 的更新，骨骼内部的更新情况等）以及将我们在生物体中大量观察到的动态平衡分解成为各个组成部分，以便对此进行深入的研究，同时在研究器官与组织的机能，物质在体内的新陈代谢途径，以及受外界因素影响时所引起的病理变化等问题方面，都有显著效果。

而利用某些放射性同位素，对原子能释放所产生的“分裂物质”的毒性研究，探讨其在体内堆积所在，及其代谢排泄途径使人们能够提高对于这些现象的认识，从而进一步在预防及治疗上采取有效措施，也是一个极重要的需要研究的方面。

(2)放射性同位素在放射治疗上的用途：放射性同位素在蜕变过程中，放出 α 粒子、 β 粒子及 γ 射线，它们能使组织发生电离作用而引起了不可修补的变化。造成细胞生机的破坏这是放射性同位素在放射治疗上应用的基础。

放射治疗可分为二方面，内照射治疗及外照射治疗，内照射治疗是将同位素药物引入机体内由于其参加机体的新陈代谢活动，就由机体支配了它在体内的积累与分布，这样具有高度选择性的吸收方式

是决定一种放射性同位素是否适应为内照射治疗的基本条件，因此一种放射性同位素是否可作内照射治疗，往往是以示踪实验的结果为指导原则。

利用放射性同位素为外照射治疗，是以它来代替高能放射线发生机及自然的放射镭为主要目的。由于高能射线发生机不但安装复杂，而且需要相当繁重的维护工作，而自然放射镭是自然界稀有的金属，因此就限制了它的普遍应用，而利用人工放射性同位素作为照射源，从放射源强度来讲，由于原子工业的不断发展，一些放射性同位素的大量生产已不成问题，目前，人们已可制造相当于1千多克镭的放射强度的放射性同位素，从放射性的穿透力来讲，各种放射性同位素所发出的放射线是不同的，因此可以按照实际的需要，选择能够发出具有适当穿透力的放射性同位素制成放射源。

(3)放射性同位素在诊断上的用途：实际上放射性同位素在临床诊断上的用途，就是示踪实验的一种，但是这里观察的主要目的是在病理状态下找出一种放射性同位素在某一种组织或器官内积聚的特征，从而使人们能够准确地诊断病征的性质与程度。利用“体内”方法来测定从人体发出的放射线从而诊断疾病、既简便又快速更无须从患者体内取出任何标本而使受到痛苦。这是放射性诊断的特点。

3. 医用同位素的选择原则及医用同位素简介：

医用同位素的选择，是根据生物实验的基础而采用的，然而放射性同位素应用于动物与人体的主要区别，如前者是为了实验性目的，而后者是保障健康的要求，因此在动物实验中用的同位素半衰期可长些，毒性大些，而只要能达到实验目的就可应用。但是在人体应用时，必须保证健康不受影响，否则绝对不能应用，现将选择原则简述于下：

(1)纯度问题：产生人工放射性同位素的来源，主要可为①自加速

器中以加速粒子轰击靶子而发生核反应。②在反应堆中接受中子照射而发生核反应及③反应堆中铀燃料的裂变产物。不论何种方法，均可生成放射性的杂质，尤其是裂变产物中同时存在多种放射性同位素，因此必须经过分离纯化才能得到放射化学纯的同位素。医用同位素要求放射化学纯的同位素，至少也要能满足下列二条件①不应含有危害人体健康的放射性杂质（如半衰期较长的放射性同位素）。②对实验的正确性不发生影响，包括吸收、分布、排泄，以及测量方面所产生的差异。

(2)半衰期问题：医用同位素的半衰期不宜过长，一般以不超过10—15天为佳；如果半衰期过长，而该同位素又被积蓄在体内，则机体就要受到不必要的照射，接受过多的剂量，但是有些同位素的物理半衰期虽较长，甚至很长，而在体内停留的时间却较短，则对人体的危害性亦随之减低，因此又有生物半衰期或有效半衰期之称，即放射性物质在体内活性降到一半所需的时间（包括衰变排泄等，但生物体内放射性的减少，并非按照一定的衰变率及时间指数关系的规律，故进入人体的放射性物质之有害与否，主要还是根据其所给的总剂量及生物试验的结果）。

(3)选择适宜特殊要求的同位素及化学形式与剂型，例如首先确定要具有那一射线同位素，其次要求该元素能集中于病变组织或能达到示踪目的（有时为该元素的简单化合物即能达到这些要求，如碘 131 化钠能高度集中于甲状腺，有时则要以一定的化学形式才能起同样的作用，如二碘 131 荧光素用于脑肿瘤定位）。

集中于某一组织或自某一组织排出所需要的时间亦应当考虑，在治疗上来说，某一同位素药物最好尽快集中到所需照射的部位，而在该部位经过二到三个半衰期再排出，如此可以保证放射性的绝大部分

用于所需的地方，相反作为示踪目的时则药物的排洩速度就要求在探测仪器能进行所需的测量的情况下尽可能快些，这样可减少辐射对机体的影响。

目前放射性同位素虽已有上千种，但是用在医学上的还不过几十种，现将常用的医用同位素列表于下：

元素、原子 质量数和原 子序数	辐射类型	辐射能量M.e.V		半衰期	用途
		粒子*	γ -射线		
^3_1H	β^-	0.017		12.5年	生理
$^{14}_6\text{C}$	β^-	0.154		5720年	代谢
$^{24}_{11}\text{Na}$	$\beta^- \gamma$	1.4	1.38, 2.7	14.8小时	生理诊断 治疗
$^{32}_{15}\text{P}$	β^-	1.7		14.3天	"
$^{35}_{16}\text{S}$	β^-	0.17		78.1天	代谢
$^{42}_{19}\text{K}$	$\beta^- \gamma$	2.0 3.6 (20%)(75%)	1.51	12.4时	代谢
$^{45}_{20}\text{Ca}$	β^-	0.26		152天	代谢
$^{51}_{24}\text{Cr}$	K(无 β^+) γ		0.32	27.8天	诊断 治疗
$^{59}_{26}\text{Fe}$	$\beta^- \gamma$	0.26(50%) 0.46(50%)	1.3(50%) 1.1(50%)	47天	代谢
$^{60}_{27}\text{Co}$	$\beta^- \gamma$	0.31	1.6, 1.32	5.3年	
$^{82}_{35}\text{Br}$	$\beta^- \gamma$	0.465	0.55 0.79 1.35	35.1时	代谢 治疗
$^{90}_{38}\text{Sr}$	β^-	0.54		19.9年	代谢 治疗
$^{131}_{53}\text{I}$	$\beta^- \gamma$	0.6	0.37, 0.08 0.65	8.1天	代谢 诊断 治疗
$^{137}_{55}\text{Cs}$	$\beta^- \gamma$	0.523	0.66	33年	治疗
$^{144}_{58}\text{Ce}$	β^-	0.35		275天	生理
$^{192}_{77}\text{Ir}$	$\beta^- \gamma$	0.67	0.137-0.615	74天	治疗
$^{198}_{79}\text{Au}$	$\beta^- \gamma$	0.963, 0.29	0.41-0.676	2.69天	生理 治疗
$^{199}_{79}\text{Au}$	$\beta^- \gamma$	0.46	0.05-0.62	3.15天	"
$^{239}_{93}\text{Np}$	$\beta^- \gamma$	0.288-1.18	0.057-0.275	2.33天	毒理

三 各論：

1. 放射性鈉化合物：放射性 Na^{24} ，半衰期14.8时，能放出 β 粒子和穿透組織的硬 γ 綫，因而很便于作体外測量，更由于鈉在体内分布很广，而且随着血液及体液而活动，因此利用放射性鈉可以測量身体各部血液循环的血流速度，組織血流状况和血管渗透性。血流速度，也是一种临床血液动力学的基本試驗，为了測定血流速度Блюмгард 和 Вейс在1927年提出用鐳C注入一側尺靜脉內，而測定在对側出現放射性的時間的方法，但鐳C的蛻变产物为具有毒性的鐳D，故此法不能用于临床，从自发现了人工放射性同位素，血流速度的放射測定才有了临床应用的可能，这便是使用 Na^{24} 。測定方法很简单：将放射性鈉的溶液——氯化鈉 24 溶液快速注入肘靜脉內，同时将計时器接通，将 γ 計数管放在对側手部，当放射波出現在該部时，便自动地描記在儀器的記錄紙上，由一側肘靜脉到对側的血流速度平均是13.2秒，其变动数为7—18秒，此法可用于檢查心脏血管疾病，如高血压，风湿性心脏病的血液动力学状况。掌握了这些，医生就能更好地，更客觀地估价疾病临床征象和判断治疗效果的好坏。

由相似原理还可利用 Na^{24} 作小循环血流速度的測定及肌肉或皮下組織內局部組織的血流速度的測定。

2. 放射性磷化合物：放射性磷 P^{32} 为稳定元素 P^{31} 的放射性同位素，其半衰期为14.3天能单一地放射 β 綫其能量为1.7MeV仅能穿透軟組織8毫米，故放射性磷分布于体内表皮以下数毫米时，很难于体外作正确之測量。

(1) 治疗上的应用：放射性磷在体内的分布是有选择性的，各种組織內磷的濃度不同根据下列三条件而定①該組織含磷的总量。②磷代謝的速度。③新生組織的生长速度，所以放射性磷在骨、肝、淋巴結

脾等脏器官中濃度較身体他处为高，又在新生組織如肿瘤中濃度亦較正常为高，因此可利用放射性磷来治疗骨肿瘤和淋巴結肿瘤紅血球增多症、白血病等，治疗方法为經口服或靜脉注射磷酸氫二鈉 ($\text{Na}_2\text{HP}^{32}\text{O}_4$) 溶液，或将 $\text{Na}_2\text{HP}^{32}\text{O}_4$ 制成 CrPO_4^{32} 胶体溶液注入白血球过多症时常見的肿大淋巴結內或注入不能施行手术的恶性肿瘤腔內。

此外，利用放射性磷的 β 射綫，可用于表层放射治疗，例如对很淺的基底細胞癌角化过度手足的鸡眼及海綿状血管瘤神經性皮炎、湿疹等疾病，均有很好的疗效，且不伤深部組織及脏器官，治疗方法是将一定大小的吸水紙浸于含 $\text{Na}_2\text{HP}^{32}\text{O}_4$ 溶液中，取出干后，夹于二层塑料薄板間，置于需要治疗的皮肤面上即可，根据所需剂量決定放置的时间，剂量单位是以每平方厘米的微居里小时計录。

(2) 诊断上的应用：由于磷只发出 β 粒子，所以它在诊断上的应用只限于皮肤表层的“体内”观察，可用于①对肿瘤的診斷，因磷可积聚在生长迅速的組織，包括各种不同的恶性肿瘤。将含有300—500微居里放射磷的磷酸氫二鈉注入体内，48小时后用盖革計数器可以測得吸收部分的放射强度，恶性及急性損害部分的放射性，比对比部分高25%，良性只不及25%。②脑瘤摘除的观察，放射磷在脑瘤有高度选择性的积聚，其方法为将放射磷于手术前注入体内，施行手术时将头骨打开后携带于手术者的盖革計数器，可以指出脑瘤是否完全除去。③血容量的測定，磷酸盐穿入紅血球很迅速，因此用已标记的紅血球注入体内，經過一个相当時間后，再从体内取血液标本，測其放射性，由此可計录到血的总容量。

(3) 医学研究上的应用：借助于放射磷为标记，可以观察它在人体内的新陈代謝过程，由于磷在体内的代謝甚为复杂而且牽涉的范围很广，过去用单纯的一般化学方法，企图了解整个代謝过程是很困难的，

利用放射性磷为示踪剂，我們不但可以使一般性的“体外”分析得到过去所得不到的准确度，而且可以用“体内”分析来观察进入体内的磷化合物是怎样地分布在各种不同脏器内，又怎样地分解以至重新地综合起来的，在代谢研究中，属于碳水化合物方面有磷酸化中间代谢的形成与分解；属于脂肪代谢方面有脂肪酸，磷脂及固醇的代谢，属于蛋白质代谢方面，有蛋白质、氨基酸、核酸和它的衍生物的代谢，代谢研究的应用问题包括观察磷在体内从吸收到排泄的过程与癌组织的磷代谢等问题。

3. 放射性碘化合物：

稳定性的碘 (I^{127}) 有放射性同位素 19 种，其中应用最广的为 I^{131} ，其半衰期为 8.14 天，放射 β 线及 γ 线，后者的穿透性相当高，因此可用盖革计数器作体外测量。

(1) 治疗上的应用：放射性碘在机体内各组织的分布，具有高度选择性积聚于甲状腺的浓度较其他组织超过一万倍，所以可用它的放射线来治疗甲状腺的疾病，是最有效的。

利用放射性碘来治疗甲状腺机能亢进症的结果，已经有了实验的价值，根据我国 1958 年 3 月至 1959 年 6 月在北京、上海、广州等地共用碘 I^{131} 治疗甲状腺机能亢进 150 人，获得了良好的效果，可与外科进行甲状腺次全切除相比拟，其优越性表现在以下几方面：疗效较用硫脲嘧啶迅速，且较手术治疗安全，而无痛苦，不致引起声带麻痹，付甲状腺损伤等不良现象，而年老有手术禁忌症、已经甲状腺次全切除术后复发者，施用放射性碘 I^{131} 治疗尤为合适。

治疗方法是服用或注射含放射性碘的碘化钠溶液，剂量：一般按每克甲状腺组织 100 微居里给予，并参照生物半衰期及甲状腺吸碘

百分率加以調整，凡有效半減期短及吸碘 131 百分率低者，酌量提高1—2毫居里，甲状腺所受剂量在5000—7000 rep之間，一般在一次剂量后即見疗效，少数需要第二、第三次的剂量，治疗結果，根据1958年年底結束治疗观察比較完全，随訪半年以上的47例統計，36例获得完全緩解而治愈，11例获得部分緩解須繼續进行治疗，无一例发生甲状腺机能低下，获得完全緩解的病例，基础代謝率、心率、血压恢复正常、出汗、手抖、食欲亢进消失、甲状腺摸不到或遺留輕度增大。

在治疗过程中，應該注意的是如果剂量过大，由于功能的过度压制会有引起粘液性水肿的危險，但是除此之外，并无其它的不良后果。

近年来，利用放射性碘 131 治疗甲状腺癌肿，也获得一些成績，但要有一个基本的适应条件，就是这些甲状腺癌应有高度的碘代謝——能够积聚大量的碘，因此在未进行治疗之前，必須进行正确的診斷，根据一般临床的报告，甲状腺癌的轉移性損害部分时常能够积聚大量的碘，在这个情形下用放射碘治疗是适当的因为手术摘除很不容易，此外在特殊情况下，如果甲状腺机能亢进症与甲状腺癌同时存在，用放射碘的治疗也会得到良好的結果。对于心絞痛及心瓣膜病患者也可以应用放射性碘 131 作治疗，因放射性碘能降低甲状腺的活动性，从而减少心脏的負担。

对于肝脏的原发性或繼发性恶性肿瘤，曾用四碘酚酞制剂(Tetraiodophenolphthalein- 131 Compound) 治疗，虽稍見效果，但关于这方面的研究尚不能肯定其結論，但利用放射性同位素制成各种制剂，使其有選擇性地沉积于脏器，对于这些脏器得加以照射的方法是很有希望的。

(2) 診斷上的应用；放射性碘广泛地应用在診斷檢查上，首先是碘

定甲状腺的正常及病理机能，如甲状腺机能亢进，甲状腺机能减退及其他疾病所伴有的甲状腺机能变化，也可以用 I^{131} 制成的二碘荧光素测定脑肿瘤部位，碘化血浆蛋白测定机体血容量，四碘酚酞测定肝功能，碘化脂肪测定胃肠道脂肪吸收情况等，由此可见 I^{131} 在疾病诊断方面，有着广泛的用途，这是因为 I^{131} 放射 β 粒子和 γ 射线，在组织表面测量时，亦可测得透过组织的 γ 线，另外，放射性碘的半衰期为8.14天，便于作动态观察和临床应用。

利用 I^{131} 制剂检查甲状腺机能的原理是基于甲状腺的机能是和其合成含碘激素的能力有直接关系的，因而在甲状腺机能亢进时，合成含碘激素的能力增强，而使甲状腺中碘含量增高，机能减退，则碘含量减少，这样利用含碘激素的形成率和分泌排出的速度，就可决定甲状腺机能的情况，但要确定甲状腺的含碘量，用化学方法既复杂又要切开组织，这在实际上是不可能的，而应用碘 I^{131} 作指示剂，即内服少许含有放射性碘的溶液，在1, 2, 4, 6及24小时将计数管放在甲状腺部位测定，就能得到甲状腺吸收放射性碘的吸收曲线与正常吸收曲线对比，即可查明其机能状态。

此外，放射性碘也可以用来鉴别在症状上和甲状腺疾病相似的疾患，如神经管能症的症状和甲状腺机能亢进很相似，用放射性碘可以鉴别这二种疾病，甲状腺机能亢进时，对碘的吸收能力增强，而患神经管能症时，甲状腺的吸碘指数往往是正常的。近年来有很多报导是研究其他疾病伴有甲状腺机能变化时的甲状腺机能状态，特别是在心脏血管疾病时对甲状腺机能状态的研究。

如前所述，应用放射性碘一般是可以准确地测出甲状腺机能状态的，但是若是甲状腺已被稳定性碘所饱和，则将影响其对放射性碘的吸收，因而在使用放射性碘来测定甲状腺机能的状况时，必须忌服户

戈氏液，忌用含碘甘油涂抹鼻咽或静脉注射时用大量碘酒消毒皮肤以避免稳定性碘影响甲状腺对放射性碘的吸收，相反若应用放射性碘制剂诊断或治疗其他组织或脏器的病变时，则应预先服用稳定性碘，以封闭甲状腺。

(3) 医学研究上的应用——示踪剂：由于放射碘所发出的放射性含有 β 粒与具相当穿透性的 γ 线，因此无论“体外”，“体内”或“放射自显照相”的方法都可以用作研究时测量的方法，除了应用于“体外”标本的放射性测定与上面说过应用于临床的“体内”方法外，采用“放射自显照相”来测量碘放射性是具有特别意义并且已取得一些效果，主要的原因是碘发出的 β 粒对于照相底片有高度感光性，可以从组织切片中的形态结构，看出那一部分显出放射碘积聚的所在，由上述碘的示踪作用，我们可利用以研究它在有机体内的吸收、代谢过程、分布情况等并进行研究一系列有关于甲状腺的功能及其调节的机制问题，另外关于阐明垂体前叶如何调节甲状腺激素的产生，也可以放射碘为主的示踪剂来进行研究。

4. 放射性钴，放射钴在医学上最主要的用途是在于制备具有高度穿透性的 γ 线放射源，放射钴(Co^{60})的半衰期为5.3年(小部份为10.7分)，能发出能量为0.308MeV的 β 粒及能量为1.17和1.33MeV的 γ 线，从所发出的放射性强度而言，1克的放射性钴所产生的每分钟剂量相当于1.63克镭。

放射性钴在治疗上的应用，可分为远距离治疗与组织内治疗二种，前者可以代替深度X线机或远距离镭针，后者可以代替用于植入组织内的镭针。

① 远距离治疗：把大量的放射钴集中起来，装入活动式而具有适当吸收放射性能力的金属壳中，以代替镭及超高压X线装置而作为远

距离照射源。

(2) 組織内治疗：将放射钴制成各种钴針、钴管及钴球，用于組織内种植和腔内使用，制法是用45%钴加55%鎳（使用合金可使其表面在中子冲击时不发生氧化作用），制成一根一毫米直径的金属絲折取所需的长度，在原子堆内照射使其变化为放射钴后，再包以一层很薄的不锈钢壳，即可代替通常鐳針的用途。

放射性钴的治疗效果与鐳比較在本質上并无何差異，现将二者之优缺点比較如下：①放射性钴 (Co^{60}) 的 γ 綫波长单纯 (1.17 及 1.33 MeV) 平均为 1.2 MeV，可称为一致的波长。② β 綫的最大能量低 (0.308 MeV) 而鐳蜕变物放出的最大能为 3.1 MeV，所以沪板不必象鐳那样須用白金，以銀或鎳即可沪去。③ Co^{60} 不象鐳那样产生氦，所以也沒有洩漏放射性气体的顾虑，同时一般情况因不溶于水故沒有沉滞在体内的危险。④治疗时使用范围很广，并可改变种种放射能和形状，例如綫、針、平板、圆柱小球等形均可任意使用，更因为它在放入原子核反应堆赋予放射能之前能进行調制，所以非常便利。⑤較鐳价廉，易得。⑥半衰期較短为 5.3 年，而鐳为 1590 年。

5. 放射性金： Au^{198} 和 Au^{199}

Au^{198} 的半衰期为 2.7 日， β 綫的最大能为 0.97 MeV 到达組織内的最大射程的为 4 毫米， γ 綫为 0.41 MeV，放出射綫后变为稳定的 Hg^{198} 。

Au^{199} 的半衰期为 3.3 日， β 綫的最大能为 0.32 MeV 到达組織中的最大射程的为 1 毫米， γ 綫有 6 条，最大能为 0.207 MeV。

利用放射性金治疗的方法，可分組織内注入法，体腔内注入法和靜脉内注入法，組織内注入法为將胶体金直接注入肿瘤内及其周圍，注入后大部分 (約 99%) 停留于注入部位，一部分則經過淋巴或血

流而沉积在肝及脾的表面可以对局限的小肿瘤进行强力照射及治疗初期淋巴結轉移，若肿瘤轉移到胸腔和腹腔，并有渗出液和腹水等滯留时，可将放射性金注入体腔，可使血性渗出液变成无色，且可抑制渗出液的形成。

靜脉內注入法将放射性金經靜脉注入后則通过血液沉积在肝、脾一部分进入骨髓，此法可用以治疗慢性白血病，也有于肺肿瘤的治疗，若用放射性金吸附在30—60%的木炭表面，再进行靜脉注射，則在肺毛細管里可以形成小栓塞而照射肺部，用心导管法可使其进入到指定的肺动脉中。在銀粒上面，也可复于放射 Au^{198} ，此时可发生銀的生物学作用，又可以利用 Au^{198} 的放射綫特征。

6. 其他放射性元素及其化合物：上面已經講过，目前我們已能制造放射性同位素，有一千种以上，但由于他們的化学性質，射綫特性，半衰期等因素，限制了它們在医学上的广泛应用，可是上面我們所介紹的，只是医学上常用的主要的几种，而尚有其他一些放射性同位素，它們也能用于医学，現簡述如下：

(1) 治疗方面：放射性鋇、鈣、鋅 (Ga^{72}, Ga^{67}) 由于它們能在骨中选择性地积聚，故可用于骨肉瘤的治疗。

磷 211 和磷 131 一样，它的分布积聚在甲状腺故曾試作甲状腺疾病的治疗。

(2) 医学研究方面：放射性鉄，在有机体内的分布很广，如紅血球、色素、肝、脾、骨髓等，所以以放射性鉄为示踪剂，来研究鉄的代謝是非常重要的。

研究的范围包括吸收的所在，机制、效率及正鉄、亚鉄的不同代謝，排洩路徑，各种病理状态对于鉄的吸收与代謝的影响等，在临床方面，具有重大意义的是利用鉄研究有关于血庫血液的保存問題。