

# 第一章 总 论

核医学 (nuclear medicine) 作为一门年轻的综合性边缘学科是现代医学的重要组成部分, 它既是从事生物医学研究的一门新技术, 又是拥有自身理论和方法, 并能反映脏器或组织的血流、受体密度和活性、代谢和功能变化而具有独特优势的用于诊治疾病的临床医学的重要分支, 在医学领域中有着特殊的地位和其它学科不可取代的作用, 已成为举世公认的独立学科。

第一节 核医学的定义、内容和特点      第二节 放射性药物      第三节 核医学仪器      第四节 核医学诊断与治疗原理      第五节 核医学发展与展望

## 第一节 核医学的定义、内容和特点

一、核医学的定义 核医学 (nuclear medicine) 是一门研究核素和核射线在医学中的应用及生物医学理论的学科。

二、核医学内容 实验核医学 (experimental nuclear medicine) 和临床核医学 (clinical nuclear medicine) 两部份。



图1-1 核医学内容

实验核医学利用核技术探索生命现象的本质和物质变化规律, 已广泛应用于医学基础理论研究, 其内容主要包括核衰变测量、标记、示踪、体外放射分析、活化分析和放射自显影等。临床核医学是利用开放型放射性核素诊断和治疗疾病的临床医学学科, 由诊断和治疗两部分组成。诊断核医学包括以脏器显像和功能测定为主要内容的体内 (in vivo) 诊断法和以体外放射分析为主要内容的体外 (in vitro) 诊断法; 治疗核医学是利用放射性核素发射的核射线对病变进行高度集中照射治疗。

## 核医学的特点

核医学功能代谢显像是现代医学影像的重要组成部分之一，其显像原理与 X 线、B 超、计算机体层摄影 (CT) 和核磁共振 (MR) 等检查截然不同 (表 1-1)，它通过探测接收并记录引入体内靶组织或器官的放射性示踪物发射的  $\gamma$  射线，并以影像的方式显示出来，这不仅可以显示脏器或病变的位置、形态、大小等解剖学结构，更重要的是可以同时提供有关脏器和病变的血流、功能、代谢甚至是分子水平的化学信息，有助于疾病的早期诊断。

表 1-1 现代医学影像学技术及成像原理

影像学技术	成像原理	性质
CT	衰减系数 (CT 值)	形态 解剖
B 超	超声波反射 (回声)	形态 解剖
MR	质子密度 (T1 T2)	解剖 功能
$\gamma$ 照相机	放射性浓度 (平面)	血流 功能
SPECT	放射性浓度 (半定量)	血流 代谢 功能
PET	放射性浓度 (定量)	血流 代谢 功能

放射性核素显像为无创性检查，所用的放射性核素物理半衰期 (physical half life,  $T_{1/2}$ ) 短，显像剂化学量极微，病人所接受的辐射吸收剂量 (absorbed dose) 低，因此发生毒副作用的几率极低。

但本法受引入放射性活度及仪器分辨率的限制，其影像的清晰度不如 CT、MR，影响对细微结构的精确显示。近年来图像融合 (fusion imaging) 技术可将 CT、MR 解剖结构影像与核医学 SPECT 和 PET 获得的功能代谢影像相叠加，更有利于病变精确定位和准确性诊断。

## 第二节 放射性药物

### 放射性药物基本概念

放射性药物 放射性药物 (radiopharmaceutical) 指含有放射性核素供医学诊断和治疗用的一类特殊药物。

显像剂或示踪剂 诊断用放射性药物通过一定途径引入体内获得靶器官或组织的影像或功能参数, 亦称为显像剂 (imaging agent) 或示踪剂 (tracer)。

放射性药物除和一般药物一样必须符合药典, 如无菌、无热源、化学毒性小等要求, 还应根据诊治需要而对其发射的核射线种类、能量和  $T_{1/2}$  有一定要求。

2

### 3 诊断与治疗用放射性药物

#### (一) 诊断放射性药物

核射线中以  $\gamma$  光子 (能量以 100~300 keV 为宜) 穿透力强, 引入体内后容易被核医学探测仪器在体外探测到, 从而适用于显像; 同时  $\gamma$  光子在组织内电离密度较低, 从而机体所受电离辐射损伤较小, 因此, 诊断用放射性药物多采用发射  $\gamma$  光子的核素及其标记物。

1.  $^{99m}\text{Tc}$  标记放射性药物  $^{99m}\text{Tc}$  核性能优良, 为纯  $\gamma$  光子发射体, 能量 140 keV,  $T_{1/2}$  为 6.02 h、方便易得、几乎可用于人体各重要脏器的形态和功能显像。 $^{99m}\text{Tc}$  是显像检查中最常用的放射性核素, 目前全世界应用的显像药物中,  $^{99m}\text{Tc}$  及其标记的化合物占 80% 以上, 广泛用于心、脑、肾、骨、肺、甲状腺等多种脏器疾患的检查, 并且大多已有配套药盒供应。

2.  $^{131}\text{I}$ 、 $^{201}\text{Tl}$ 、 $^{67}\text{Ga}$ 、 $^{111}\text{In}$ 、 $^{123}\text{I}$  等放射性核素及其标记药物 这类  $\gamma$  光子的核素及其标记药物也有较多应用, 在临床中发挥着各自的特性和作用。

3. 正电子放射性药物  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  和  $^{18}\text{F}$  等短半衰期放射性核素 (表 1-2) 在研究人体生理、生化、代谢、受体等方面显示出独特优势, 其中氟 [ $^{18}\text{F}$ ] 脱氧葡萄糖 ( $^{18}\text{F}$ -FDG) 是目前临床应用最为广泛的正电子放射性药物。

表 1-2 常用正电子放射性核素核反应过程

核素	半衰期	核反应式
$^{15}\text{O}$	2.05 min	$^{14}\text{N}(\text{d}, \text{n})^{15}\text{O}/^{15}\text{N}(\text{p}, \text{n})^{15}\text{O}$
$^{13}\text{N}$	9.96 min	$^{16}\text{O}(\text{p}, \alpha)^{13}\text{N}$
$^{11}\text{C}$	20.34 min	$^{14}\text{N}(\text{p}, \alpha)^{11}\text{C}$
$^{18}\text{F}$	110 min	$^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}/^{20}\text{Ne}(\text{d}, \alpha)^{18}\text{F}$

注:  $^{14}\text{N}(\text{d}, \text{n})^{15}\text{O}$  中,  $^{14}\text{N}$  为靶材料,  $^{15}\text{O}$  为生成的正电子放射性核素, (d, n) 为氘核, 中子核反应, 加速粒子为氘核。

#### (二) 治疗放射性药物

适宜的射线能量和在组织中的射程是选择性集中照射病变组织而避免正常组织受损并获得预期治疗效果的基本保证，各种常用治疗放射性药物的理化性能见表1-3。

发射纯  $\beta^-$  射线的放射性治疗药物  $^{32}\text{P}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{90}\text{Y}$  等

发射  $\beta^-$  射线时伴有  $\gamma$  射线的放射性治疗药物  $^{131}\text{I}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{186}\text{Re}$ 、 $^{117}\text{Sn}$ 、 $^{177}\text{Lu}$  等

$^{131}\text{I}$  目前仍是治疗甲状腺疾病最常用的放射性药物； $^{89}\text{SrCl}_2$ 、 $^{153}\text{Sm-EDTMP}$ 、 $^{117}\text{Sn-DTPA}$  和  $^{177}\text{Lu-EDTMP}$  等放射性药物在骨转移癌的缓解疼痛治疗中也取得了较为满意的效果。近年来可由  $^{188}\text{W-}^{188}\text{Re}$  发生器获得  $^{188}\text{Re}$  作为治疗用放射性药物受到重视，它发射的  $\beta^-$  射线能量为 2.12 MeV； $\gamma$  射线能量为 155 keV， $T_{1/2}$  为 16.9 h。通过发射  $\beta^-$  射线产生电离辐射生物效应破坏病变组织，并可利用其发射的  $\gamma$  射线进行显像，估算内照射吸收剂量和评价治疗前后病变范围变化。目前  $^{188}\text{Re-HEDP}$  已用于治疗恶性肿瘤骨转移骨痛、 $^{188}\text{ReO}_4^-$  治疗或预防血管成型术后再狭窄和  $^{188}\text{Re}$ -碘油介入治疗肝癌等。

表1-3 各种常用治疗放射性药物的理化性能

核素	标记化合物	$T_{1/2}$	$\beta^-$ - 最大能量 MeV	$\gamma$ , keV(%)	组织内最大射程 (mm)	主要临床应用
$^{32}\text{P}$	磷酸盐	14.3d	1.71	-	8	真红，原发性血小板增多
	胶体磷酸铬					腔内治疗
	玻璃微球					肝癌动脉栓塞
$^{131}\text{I}$		8.0 6d	0.6 1	365 (81)	2-3	甲亢，分化型甲癌及转移灶
	MIBG					嗜铬细胞瘤
$^{153}\text{Sm}$	EDTMP	40.6h	0.8	103 (28%)	3.4	骨转移癌疼痛
$^{89}\text{Sr}$		50.5d	1.46	-	2-3	骨转移癌疼痛
$^{186}\text{Re}$	HEDP	3.8d	1.07	137 (9%)	4.7	骨转移癌疼痛
$^{188}\text{Re}$	HEDP	19.6h	2.12	155 (10%)		骨转移癌疼痛

117mSn	DTPA	13.6d	CE	159 (86%)	0.3	骨转移癌疼痛
117Lu	EDTMP	6.75d	0.497	113 (6.4%)		骨转移癌疼痛
90Y	EDTMP	2.67d	2.27	-	10	骨转移癌疼痛
	玻璃微球					肝癌动脉栓塞

## (二) 我国放射性药物

自1985年以后一批<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>标记的放射性药物的研制和合成，如<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-sestamibi、<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-ECD、<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-DTPA等已成为心肌灌注显像、脑血流灌注显像和肾动态显像的常用显像剂，此外，<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-N(NOEt)<sub>2</sub>、<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-HL91、<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-TRADOT-1等一批新型放射性药物也即将应用于临床。

### 二、医用放射性核素来源

临床应用的放射性核素可通过加速器生产、反应堆生产、从裂变产物中提取和放射性核素发生器淋洗获得。



图1-2 临床应用的放射性核素的来源

1. 加速器能加速质子、氘核、α粒子等带电粒子，这些粒子轰击各种靶核，引起不同核反应，生成多种放射性核素。医学中常用的加速器生产的放射性核素有：<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O、<sup>18</sup>F、<sup>123</sup>I、<sup>201</sup>Tl、<sup>67</sup>Ga、<sup>111</sup>In等。



图1-3 IBM 医用回旋加速器

图1-4 GE 公司医用回旋加速器

2. 反应堆是最强的中子源，利用核反应堆强大的中子流轰击各种靶核，可以大量生产用于核医学诊断和治疗的放射性核素。医学中常用的反应堆生产的放射性核素有： $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{113}\text{Sn}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{133}\text{Xe}$ 、 $^{186}\text{Re}$ 、 $^{153}\text{Sm}$  等。

3. 核燃料辐照后产生400多种裂变产物，有实际提取价值的仅十余种。在医学上有意义的裂变核素有： $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{133}\text{Xe}$  等。

4. 放射核素发生器是从长半衰期的核素（称为母体）中分离短半衰期的核素（称为子体）的装置。放射性核素发生器使用方便，在医学上应用广泛。医学中常用的发生器有： $^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器（图1-3）、 $^{188}\text{W} - ^{188\text{Re}}$  发生器、 $^{82}\text{Sr} - ^{82}\text{Rb}$  发生器、 $^{81}\text{Rb} - ^{81\text{m}}\text{Kr}$  发生器等。



图1-5  $^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器工作示意图



图1-6  $^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$  发生器

### 三、放射性药物质量控制

放射性药物的质量控制（quality control, QC）至关重要，它直接影响其有效性和安全性。检测内容主要有：

(一) 物理性质

1

性状(澄明度、颜色、颗粒度);

放射性核纯度(指特定放射性核素的放射性活度占总放射性活度的百分数, radionuclide purity);

放射性活度(单位时间内原子核衰变数, radioactivity) 检定等。

(二) 化学性质检测

pH

化学纯度(指以某一形式存在的物质的质量占该样品总质量的百分数)

放射化学纯度(是指以特定化学形态存在的放射性活度占总放射性活度的百分比, radiochemical purity, RCP 或 Rp) 检定等, 其中放射化学纯度对于放射性药物非常重要, 有些放化杂质会浓集于血液和非靶器官, 影响图像质量甚至影响结果判断。放射化学纯度测定包括各成分的分离和放射性测量两个步骤, 主要方法有放射色谱法(如纸色谱和薄层色谱)、高效液相色谱法(HPLC)、电泳法等。

(三) 生物学性质检测

无菌;

无热原;

毒性检定;

生物分布试验。

#### 四、放射性药物正确使用、不良反应及其防治

放射性药物是一类特殊药物, 引入体内会使受检者接受一定的辐射, 应用时应予以考虑。

(一) 放射性药物正确使用

在决定是否给病人使用放射性药物进行诊断或治疗时, 首先要作出正当性判断, 即权衡预期的需要或治疗后的好处与辐射引起的危害, 得出进行这项检查或治疗是否值得的结论;

医用内照射剂量必须低于国家有关法规的规定;

若有几种同类放射性药物可供诊断检查用, 则选择所致辐射吸收剂量最小者; 对用于治疗疾病的放射性药

物，则选择病灶辐射吸收剂量最大而全身及紧要器官辐射吸收剂量较小者；

诊断检查时尽量采用先进的测量和显像设备，以便获得更多的信息，提高诊断水平，同时尽可能降低使用的放射性活度；

采用必要的保护（如封闭某些器官）和促排措施，以尽量减少不必要的照射；

对恶性疾病患者可以适当放宽限制；

对小儿、孕妇、哺乳妇女、近期准备生育的妇女应用放射性药物要从严考虑。

## （二）放射性药物的不良反应

### 1

定义 放射性药物的不良反应是指注射了一般皆能耐受而且没有超过一般用量的放射性药物之后出现的异常生理反应。

放射性药物不良反应的发生率和类型 放射性药物不良反应的发生率很低（仅万分之二左右），远低于X线检查常用的碘造影剂的不良反应率，主要为变态反应、血管迷走神经反应，少数为热原反应。

### 2

## （三）不良反应的防治

注射室和检查室应备有急救箱及氧气袋；

对不良反应较多的药物可稍加稀释，使体积稍大，并慢速注入；

当发生不良反应时，根据情况及时处理。

## 五、临床常用的诊断与治疗放射性药物

用于放射性核素显像（radionuclide imaging）和放射性核素治疗（radionuclide therapy）的药物种类繁多，新研发的放射性药物不断涌现，目前临床核医学常用的放射性药物见表1-3。

表1-3 临床常用的放射性药物

分类	放射性药物	临床应用
神经系统显像剂	<sup>99m</sup> Tc-ECD、 <sup>99m</sup> Tc-HMPAO	脑血流灌注显像



	99Tcm-DTPA	脑池显像
	99Tcm-DTPA, 99Tcm-GH	脑血管显像
	18F-FDG, 15O 2	脑代谢显像
心血管系统显像剂	201TlCl, 99Tcm-MIBI, 99Tcm-PS3	心肌灌注显像
	99Tcm-RBC, 99Tcm-HSA	心室显像
	99Tcm-PYP	急性心肌梗塞灶显像
	99Tcm-MAA, 99Tcm-血小板	血栓显像
	18F-FDG, 11C-乙酸盐, 11C-PA  123I-MIBG	心肌代谢显像 心肌受体显像
肺显像剂	99Tcm-MAA	肺灌注显像
	99Tcm-DTPA气溶胶, 133Xe, 127Xe, 81Kr	肺通气显像
消化系统显像剂	99Tcm-PHY, 99Tcm-SC	肝显像
	99Tcm-PHY, 99Tcm-变性 RBC	脾显像
	99Tcm-RBC	肝血池显像
	99Tcm-EHIDA	肝胆显像

	99Tcm-DTPA, 99Tcm-SC	胃排空显像、胃食道反流显像
	99TcmO - 4	异位胃黏膜显像
内分泌系统显像剂	99TcmO - 4	甲状腺显像
	123I 或131I-NaI	吸碘试验, 甲状腺显像, 功能性甲癌转移灶显像
	201TlCl, 99Tcm-MIBI, 99Tcm-P53	甲状腺显像
	131I-胆固醇	肾上腺皮质显像
	131I 或123I-MIBG	肾上腺髓质显像
骨显像剂	99Tcm-MDP, 18F	骨显像
泌尿系统显像剂	99Tcm-DTPA	肾动态显像及肾小球滤过功能测定
	123I 或131I-OIH, 99Tcm-MAG, 99Tcm-EC 3	肾动态显像及肾小管分泌功能测定
	99Tcm-DMSA, 99Tcm-GH	肾静态显像
炎症显像剂	67Ga-枸橼酸铋, 111In 或99Tcm-白细胞	炎症显像
淋巴显像剂	99Tcm-硫化锝, 99Tcm-ASC, 99Tcm-DX	淋巴显像
肿瘤显像剂	67Ga-枸橼酸铋, 201TlCl, 99Tcm-MIBI	肿瘤非特异显像
	18F-FDG, 11C-MET	肿瘤代谢显像

	放射性核素标记的单克隆抗体	放射免疫显像
	$^{123}\text{I}$ 、 $^{111}\text{In}$ 或 $^{99\text{Tc m}}$ -奥曲肽	肿瘤受体显像
放射性核素治疗药物	$^{131}\text{I}$ -NaI	甲亢与甲癌治疗
	$^{32}\text{P}$ -CrPO <sub>4</sub> 胶体	腔内治疗, 组织间介入治疗
	$^{32}\text{P}$ -Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	治疗真性红细胞增多症和原发性血小板增多症
	$^{32}\text{P}$ 或 $^{90\text{Y}}$ -微球、 $^{188}\text{Re}$ -碘油	肿瘤动脉栓塞治疗
	$^{89\text{SrCl}}_2$ 、 $^{153\text{Sm}}$ -EDTMP、 $^{188\text{Re}}$ -HEDP	骨转移癌骨疼治疗
	$^{125}\text{I}$ 、 $^{103}\text{Pd}$ 、 $^{198}\text{Au}$ 籽源	肿瘤粒子植入内照射治疗
	$^{131}\text{I}$ -MIBG	嗜铬细胞瘤治疗

### 第三节 核医学仪器

核医学仪器一般由两大部分组成, 即辐射探测器 (radiation detector) 及电子测量装置和/或计算机装置, 最后以一定的方式进行显示。

#### 一、 $\gamma$ 闪烁探测器

$\gamma$  闪烁探测器 ( $\gamma$  scintillation detector) 实际上是一种能量转换器, 其作用是将探测到的射线能量转换成可以记录的电脉冲信号。主要部件由碘化钠 (铯) [NaI (Tl)] 晶体、光电倍增管 (photomultiplier, PMT) 和前置放大器组成 (图1-7)。

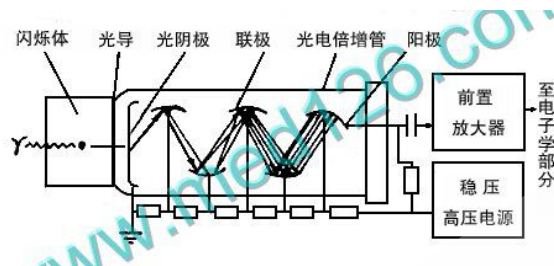


图1-7  $\gamma$  闪烁探测器的工作原理

## 二、核医学显像仪器

(一)  $\gamma$  照相机  $\gamma$  照相机 ( $\gamma$  camera) 是核医学最基本的显像仪器, 它由探头及支架、电子线路、计算机操作和显示系统组成 (图1-8)。



图1-8  $\gamma$  照相机

(二) 单光子发射型计算机断层仪 单光子发射型计算机断层仪 (single photon emission computed tomography, SPECT) 是一台高性能的  $\gamma$  照相机的基础上增加了支架旋转的机械部分、断层床和图像重建 (reconstruction) 软件, 使探头能围绕躯体旋转360°或180°, 从多角度、多方位采集一系列平面投影像 (图1-9)。通过图像重建和处理, 可获得横断面 (transverse section)、冠状面 (coronal section) 和矢状面 (sagittal section) 的断层影像 (tomogram)。



图1-9 SPECT

近年来用互成180° 无准直器的双探头 SPECT 对正电子湮没辐射产生的两个方向相反的511 keV  $\gamma$  光子进行符合探测成像, 称之为符合线路 SPECT (coincidence circuit SPECT) 或 SPECT/PET (图1-8), 其有较好的性价比 (effective cost), 适合临床推广应用; 兼备单光子和  $T_{1/2}$  较长的正电子 $^{18}\text{F}$  断层成像, 具有

一机两用的功能。

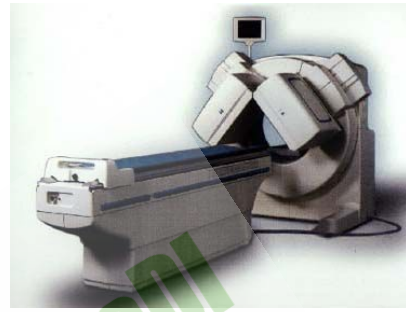


图1-10 符合线路 SPECT- Phelipes 公司 Forte

图1-11 符合线路 SPECT-Macroni 公司 Axis



图1-12 符合线路 SPECT -GE 公司 HawKey



图1-13 符合线路 SPECT Seimens 公司 e..Cam duet

(三) 正电子发射型计算机断层仪 PET 主要由探测系统包括晶体、电子准直、符合线路和飞行时间技术，计算机数据处理系统，图像显示和断层床等组成 (图1-14a)。

目前最先进的PET是探头多环型、模块和3D结构，其中探头晶体除外经典的锗酸铋 bismuth germinate, BGO) 晶体 (图1-14b)，现已推出硅酸镧 (lutetium oxyorthosilicate, LSO) 和硅酸钆 (gadolinium orthosilicate, GSO) 等新的晶体，大大提高了探测效率，图像分辨率为 $3 \sim 5 \text{ mm}$ ，与 SPECT 比较，它具有：①空间分辨率高；②探测效率高；③能准确地显示受检脏器内显像剂浓度提供的代谢影像和各种定量生理参数等优点 (图1-14c)。



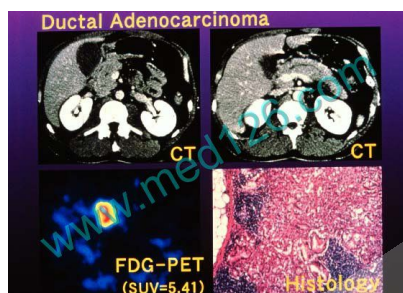


图1-14a PET

图1-14b PET 显像原理

图1-14c PET FDG 显像

此外,在 PET、SPECT/PET 基础上通过添加 CT 和/或 MR 成像系统,即目前新推出的 PET/CT(图1-15-17),实现了衰减校正( attenuation correction) 与同机图像融合,可同时获得病变部位的功能代谢状况和精确解剖结构的定位信息,已成功用于临床(图1-18)。



图1-15 GE PET/CT



图1-16 Phelipe PET/CT

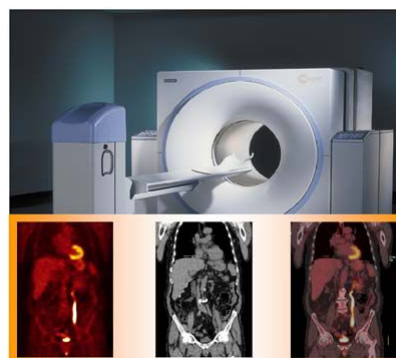


图1-17 Seimens PET/CT

图1-18 PET/CT 融合图像

### 三、功能测定仪

功能测定仪由一个或多个探头、电子线路、计算机和记录显示装置组成（图1-19）。其对射线的探测原理见上述 $\gamma$ 闪烁探测器。常用的有甲状腺功能测定仪、肾图仪、局部脑血流测定仪和心功能仪等。



图1-19 肾图仪

### 四、其它

（一） $\gamma$ 井型计数器  $\gamma$ 井型计数器（ $\gamma$  well counter）主要用于血、尿等各类样品放射性相对测量。仪器的组成部分与功能测定仪相同，目前 $\gamma$ 井型计数器主要用于体外放射分析（图1-20）。此外，近年来适用于大批量体外分析测定的时间分辨仪（图1-21）已广泛应用。



图1-20  $\gamma$ 计数器



图-21 时间分辨仪

（二）液体闪烁计数器 液体闪烁计数器（liquid scintillation counter）是使用液体闪烁体（闪烁液）的放射性测量仪（图1-22）。液体闪烁测量的能量传递过程为射线与闪烁液相互作用产生的荧光光子从闪烁液内部透过闪烁液和容器壁传到光电倍增管，因而避免样品的自吸收。主要测量 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 等发射低能 $\beta$ 射线的放射性核素，常用于 $^{14}\text{C}$ -尿素呼气试验和实验核医学研究。



图1-22 液体闪烁放射性测量仪

(三) 活度计 活度计 (radioactivity calibrator) 是用于测量放射性药物或试剂所含放射性活度的一种专用放射性计量仪器 (图1-23)。它主要由探头、后续电路、显示器及计算机系统组成, 其探头为封闭式井型电离室, 采用弱电流测量系统组成的测量装置, 用来测量放射源发出的射线所产生的电离电流。



图1-23 活度计

(四) 污染、剂量监测仪 这类仪器主要用于放射防护。表面污染监测仪是用于对工作人员体表、衣物表面和工作场所有无放射性沾染和沾染多少的检测 (图1-24)。剂量监测仪用于测量工作场所的照射剂量和放射性工作人员的吸收剂量。





图-1-24污染监测仪

#### 第四节 核医学诊断与治疗原理

核医学诊断包括体内和体外二种检查方法。体内法是将开放型放射性核素引入体内，实现脏器、组织、病变的显像和功能检查的方法，又分为放射性核素显像 (radionuclide imaging) 和非显像检查法即功能测定。体外检查法是在实验室试管内完成生物样品测量的一种超微量检测技术。放射性核素治疗 (radionuclide therapy) 是利用放射性核素在衰变过程中发射出来的射线 (主要是 $\beta^-$ 射线) 的辐射生物效应来抑制或破坏病变组织的一种安全、经济且疗效肯定的有效治疗方法。

##### 一、放射性核素显像

定义 将放射性核素及其标记化合物引入体内，实现脏器、组织、病变的显像检查的方法。

##### (一) 放射性核素显像原理

放射性核素显像是利用放射性核素示踪技术在活体内实现正常和病变组织显像的核医学检查法。放射性核素或其标记化合物与天然元素或其化合物一样，引入体内后根据其化学及生物学特性有其一定的生物学行为，它们选择性地聚集在特定脏器、组织或受检病变部位中的主要机制有：① 细胞选择性摄取 (包括特需物质、特价物质和代谢产物或异物)；② 特异性结合；③ 化学吸附；④ 微血管栓塞；⑤ 简单在某一生物区通过和积存等。

##### (二) 放射性核素显像类型

根据显像的部位、影像采集的时间、方式以及所有核素发射核射线的种类，将显像分为以下几种类型。

平面与断层显像

平面显像 (planar imaging) 是将  $\gamma$  照相机的探头置于体表一定位置, 采集脏器放射性分布而获得的影像, 为脏器内放射性在探头投影方向上前后叠加的影像 (图1-25 下排影像)。

断层显像 (tomography) 是将 SPECT 探头绕体表旋转采集信息, 或用 PET 在躯体四周同时进行三维信息采集, 经处理并重建横断、冠状和矢状断层图像 (图1-25 上排影像)。断层影像能比较确切地显示脏器内放射性分布情况, 是临床核医学常规的显像方法。

#### 静态与动态显像

静态显像是将显像剂引入体内, 待其在脏器、组织或病变内的浓度处于相对稳定状态时进行显像 (图1-26a)。由于放射性在一定时间内变化不大, 所以允许采集能满足统计学要求的放射性计数用以显像, 故所得影像清晰、质量好。

动态显像 (dynamic imaging) 是将显像剂引入体内后, 随血流流经脏器或被脏器不断摄取和排泄、或在脏器内反复充盈和射出。上述过程造成脏器内放射性计数及位置随时间而不断变化, 用显像仪器以一定的速度 (如1 s/帧、1 min/帧等) 连续自动采集信息, 得到反映上述动态过程的系列影像, 即为动态显像 (图1-26b)。将其影像快速而连续地显示则为电影显示。还可利用计算机勾画感兴趣区 (region of interest, ROI) 技术, 提取每帧影像中同一 ROI 内的放射性计数生成时间-活性曲线, 据此曲线可对上述动态变化过程进行定量分析并计算动态过程的多项定量参数。

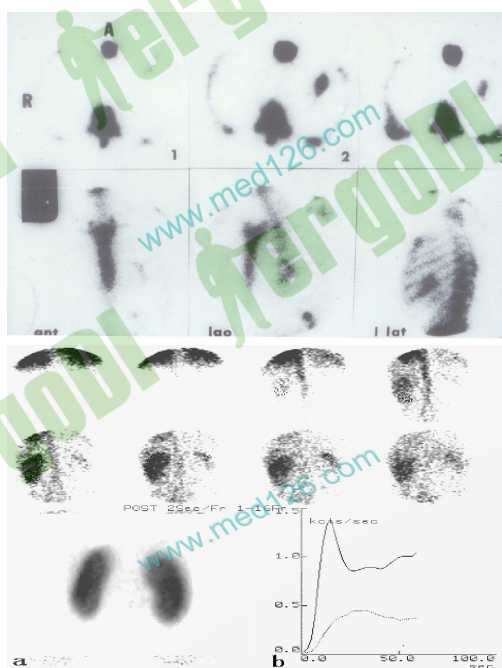


图1-25 平面与断层影像

图1-26 静态 (a) 与动态 (b) 影像

#### 局部与全身显像

局部显像 (regional imaging) 显像的范围为某一脏器或躯体的某一部分 (图1-27 右上下图像)。

全身显像为 $\gamma$ 照相机的探头沿体表从头至足做匀速移动，采集全身各部位的放射性并显示为一幅平面全身影像（图1-27 左侧图像）；或用 PET 或符合线路 SPECT 行全身断层显像，按探头视野范围，逐段依次采集信息，图像经重建、连接等技术获得全身断层影像。

阳性与阴性显像 这类显像是根据显像剂对病变的亲和能力来分类的。

阳性显像（positive imaging）是以病灶对显像剂摄取增高为异常的显像方法。由于病灶放射性高于正常脏器、组织，故又称“热区”显像（hot spot imaging）（图1-28B），如放射免疫显像、急性心肌梗死灶显像、肝血管瘤血池显像等。

阴性显像（negative imaging）是以病灶对显像剂摄取减低为异常的显像方法。正常的脏器、组织因摄取显像剂而显影，其中的病变组织因失去正常功能不能摄取显像剂或摄取减少而呈现放射性缺损或减低，故又称“冷区”显像（cold spot imaging）（图1-28A）。

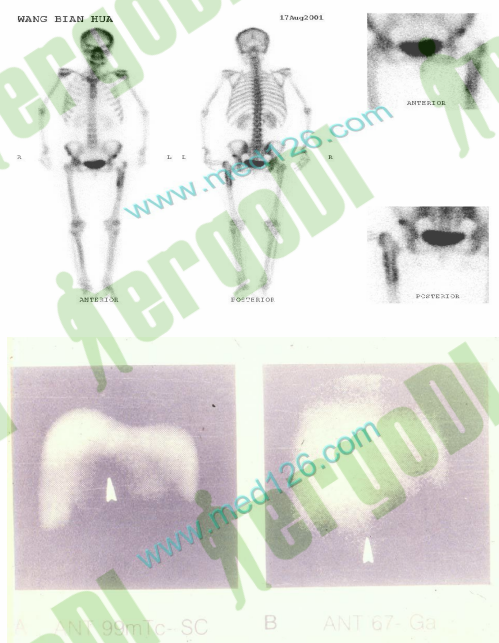


图1-27局部与全身影像

图1-28 阳性与阴性显像

#### 静息与负荷显像

静息显像（rest imaging）是受检者处于安静状态下将显像剂引入体内一定时间后进行影像采集的显像方法（图1-29 下排）。

负荷显像（stress imaging）指受检者在生理活动或药物干预状态下将显像剂引入体内进行影像采集的显像方法（图1-29 上排），亦称为介入显像（interventional imaging）。本法有利于探测静息状态下不易发现的病变，常用于检查心脑血管脏器的储备功能。

## 早期与延迟显像

早期显像 (early imaging) 是将显像剂引入体内2 h 以内进行的显像 (图1-30 左侧影像)。

延迟显像 (delay imaging) 是将显像剂引入体内2 h 以后进行的显像 (图1-30右侧影像)。

单光子与正电子显像 是根据显像剂发出核射线的种类来分类。

单光子显像 (single photon imaging) 显像剂中的放射性核素发射单光子 (如 $^{99}\text{Tcm}$ )，需用探测单光子的显像仪器 (如 $\gamma$  照相机、SPECT) 进行显像 (图1-31B)，为临床上最常用的显像方法。

正电子显像 (positron imaging) 显像剂中的放射性核素发射正电子 (如 $^{18}\text{F}$ )，需用 PET、符合线路 SPECT 或带有超高能准直器的 SPECT 进行显像 (图1-31A)。主要用于心、脑、肿瘤的代谢研究及神经递质受体显像。

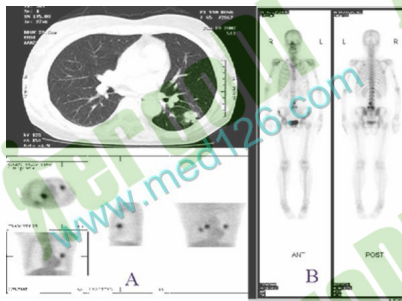


图1-29 心肌负荷与静息影像  
子显像影像

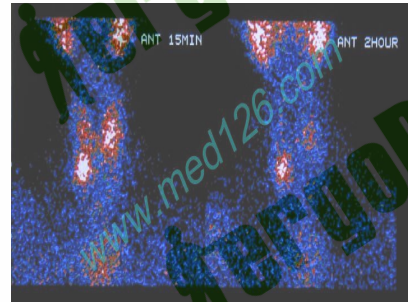


图1-30 早期与延迟影像

图1-31 单光子与正电  
子显像影像