

第三章 放射性核素显像

核医学成像是一种以脏器内外之间、正常组织与病变组织之间的放射性浓度差别为基础的脏器或病变的显像方法。放射性核素成像过程是将标记好的放射性药物引入人体内（口服、静脉、皮内注射），在体外用成像设备对体内放射性药物的分布进行探测，可以从不同角度反映人体脏器内细胞的功能、脏器的血流供应及分布、脏器的代谢过程、抗原或受体的分布特性等，即所谓功能成像和代谢成像。一般情况下，疾病引起的功能性改变早于形态学改变，核医学成像有利于疾病的早期诊断和基础医学研究。

一、核医学成像设备分类

常用的显像仪器为 γ 照相机和发射型计算机断层扫描仪（emission computed tomography, ECT），后者又分为正电子发射断层显像/X线计算机体层成像仪（positron emission tomography-computed tomography, PET-CT）和单光子发射计算机断层扫描（single photon emission computed tomography, SPECT）。按显像的方式分为静态和动态显像两种。

（一） γ 相机

1. γ 相机组成

- （1）闪烁探头：包括准直器、闪烁探测器、光电倍增管等。
- （2）电子线路：包括前置放大器、单脉冲高度分析器、校正电路等。
- （3）显示装置：示波器、照相机等。
- （4） γ 相机附加设备。

2. 特点

- （1）通过连续显像，追踪和记录放射性药物通过某脏器的形态和功能进行动态研究。
- （2）由于检查时间相对较短，方便简单，特别适合儿童和危重患者检查。
- （3）由于显像迅速，便于多体位、多部位观察。

(4) 通过对图像相应的处理,可获得有助于诊断的数据或参数。

(二) 单光子体层成像设备

1. 成像原理

利用 γ 照相机围绕着诊断感兴趣的人体区域,采集各种不同角度上放射出的 γ 光子并计数,然后利用 X-CT 中所使用的图像重建方法,得到人体某一体层上的放射性药物浓度的分布,即可得到多层面的各方位的体层图像或三维立体像。

目前 SPECT 核医学成像设备的能量测量范围为 50 ~ 600 keV,空间分辨率 6 ~ 11 mm。

2. 与 X-CT 的区别

- (1) 图像粗糙,空间分辨率低。
- (2) 属发射型体层摄影。

(三) 正电子发射体层成像设备

1. 使用发射正电子的放射性核素,如 C、N、O 都是人体组织的基本元素,易于标记各种生命必需的化合物及其代谢产物或类似物而不改变其生物活性,且可参与人体的生理、生化代谢过程;这些核素的半衰期都比较短,检查时可给予较大的剂量,从而提高图像的对比度和空间分辨力。因此它所获得的图像是反映人体生理、生化或病理及功能的图像。

2. 由于采用的是发射正电子的放射性核素,电子在物质中射程短并只能瞬间存在,不足以穿透较厚的脏器或组织,故测定正电子的基本方法是测量湮没辐射产生的 γ 光子。

3. PET 核医学成像设备在推广应用方面受到以下两点的制约:①由于发射正电子的放射性核素半衰期短,且都是由回旋加速器生产的,故使用 PET 的单位附近,应有生产这些短半衰期放射性核素的医用回旋加速器;②应有快速制备这些短半衰期核素标记放射性药物的设备和实验室。

二、核医学成像的过程和基本条件

1. 先把某种放射性核素标记在药物上,形成放射性药物并引入人体内,当它被人体的脏器和组织吸收后,就在体内形成了辐射源。

2. 用 γ 射线检测装置可以从体外检测体内放射性核素在衰变过程中放出的 γ 射线,从而构成放射性核素在体内分布密度的图像。

由于放射性药物与一般天然元素或其他化合物一样，能够正常地参与机体的物质代谢，因此核医学成像的图像不仅反映了脏器和机体组织的形态，更重要的是提供了有关脏器功能及相关的生理、生化信息。

三、核医学成像特点

1. 核医学成像是以脏器内、外，或脏器内各部分之间的放射性浓度差别为基础，显示的静态和动态图像，该图像不仅反映了人体组织、脏器和病变的位置、形态、大小，而且还提供了包括整体或局部组织功能，以及脏器功能的每个微小局部变化和差别。

2. 核医学成像具有多种动态成像方式。由于脏器对放射性药物的摄取、吸收、排泄等作用，使脏器、病变的血流和功能情况得以动态且定量地显示出来，同时提供多种功能参数以反映机体及组织的血流功能、代谢和受体等方面的信息。

3. 一些放射性核素具有向脏器或病变的特异性聚集，由此而获得的核素成像具有较高的特异性，可显示不同组织类型的肿瘤、各种神经受体、炎症、转移灶等组织器官的影像，而这些单靠形态学检查常常难以实现。

四、核医学临床应用

1. **^{131}I 一次性治疗甲亢** 是成人甲亢的首选疗法，治愈率达 90%，2 天可完成诊断和治疗，只需一次服药。

2. **甲状腺癌 ^{131}I 治疗** 可清除残存甲状腺组织和远处转移灶，凡甲状腺癌术后，应常规用 ^{131}I 去除残留组织和远处转移灶。

3. **放射性核素治疗骨转移癌** 核素对骨转移癌的治疗目标有两个方面：一是止痛，二是消除减少病灶。 ^{89}Sr 治疗骨转移癌，在短期内病灶缩小或消失、疼痛缓解，总有效率在 80% 以上，有效时间 3 ~ 10 个月，明显提高生存质量。

4. **肾动态及肾小球滤过率测定** 利用放射性核素作为示踪剂引入人体，观察肾脏及上尿路的检查方法，肾动态显像简便、无创、无任何禁忌证，肾动态显像对肾脏疾病、术前评估均可提供很好帮助。

5. **全身骨显像** 全身骨显像常用于一些肿瘤的骨转移，还常用于一些不明原因的骨痛，如碱性磷酸酶增高的患者，且对于微小的骨折、隐匿性骨折以及代谢性骨病、移植骨的判断都有重要的意义。

核医学是一门新兴的学科，有很多的先进性和优越性。核医学成像设备伴随

着核医学这门学科的飞快的速度向前发展。核医学成像设备与核医学本身是共生的，它渗透在整个核医学治疗的过程中，无论是过去单功能的测量仪还是现在综合大型检测仪，以及最新发展起来的各种核医学成像设备都推动着核医学的发展。

第一节 ECT

ECT 是一种利用放射性核素的检查方法。ECT 成像的基本原理：放射性药物引入人体，经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，将探测到这些差异，通过计算机处理再成像。ECT 成像是一种具有较高特异性的功能显像和分子显像，除显示结构外，着重提供脏器与病变组织的功能信息。

ECT 的显像方式十分灵活，能进行平面显像和断层显像、静态显像和动态显像、局部显像和全身显像。除此之外，它还能提供脏器的多种功能参数，如时间-放射性曲线等，为肿瘤的诊治提供多方位信息。主要用于甲状腺癌、骨骼等部位肿瘤的检查，尤其常用于骨转移性肿瘤的检测，比普通 X 线片可提前 3 ~ 6 个月发现病变。因此，对一些较易发生骨转移的癌症，如乳腺癌、肺癌、前列腺癌、食管癌等，即使没有骨痛，也可作术前或术后检查，以期早期发现转移灶。但必须注意，骨的炎症、血流改变、骨折修复，关节退行性变、骨畸形性病变以及代谢性骨病变也可出现阳性结果，这些应该予以鉴别。

一、ECT工作原理

ECT 结构和工作过程：它有专门探测核射线（ γ 射线）的探头、固定探头并能向各方位转动的支架、装有系统程序的中心控制台（能高速运行和进行大量数据处理和存贮的高性能电子计算机，16 ~ 64 位）。在采集程序控制下，探头收集到从靶器官发射出来的 γ 射线，经晶体光放大（变成可见光）导向光电倍增管的阴极（矩阵排列于晶体表面的光导面上，常有 50 ~ 107 支），转变成电脉冲信号，按位置译码器指定位置输送到计算机，计算机将信号经模 / 数（A/D）转换成数字存贮起来。在处理程序控制下，计算机将进行数 / 模（D/A）转换，按信号来源座标方位上的像素（pixel）点在屏幕上投射成图像。这种图像是一种单一平面图像（二维），信息重叠、模糊度大，只适用于小脏器显像或动态显像，对深层结构观察较困难。若探头以靶器官为中心旋转，多平面采集时，则可获得三维图像，

即 ECT 图像。这种图像按一定厚度切层，可观察不同方位、不同深度平面的显像剂分布图像。根据成像的结果不同，又可分为断层成像和立体三维成像。

二、ECT 分类

1. SPECT 它利用发射单光子的核素药物如 ^{99m}Tc 、 ^{133}I 、 ^{67}Ga 、 ^{153}Sm 等进行检查。SPECT 的基本结构分 3 部分，即旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。SPECT 除显示肿瘤病灶外，尚可显示局部脏器功能的变化，如化疗后左心功能、肾功能的改变等。

2. PET-CT 它是用发射正电子的核素药物进行检查。常见的核素有 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 等。PET 主要用于病灶组织的葡萄糖代谢、蛋白质代谢和氧代谢的研究，在肿瘤学领域应用最为广泛。应用最多的是肿瘤的早期诊断和治疗后残留肿块的鉴别。脑肿瘤和鼻咽癌放疗或淋巴瘤化疗后残存肿块及肺部和纵隔肿块的鉴别等十分困难，但利用 ^{18}F -FDG 进行 PET 显像，区分其性质则十分容易。如病灶摄取 ^{18}F -FDG，表明病灶残留存活的癌细胞，提示为复发；如 ^{18}F -FDG 检查为阴性则为纤维化。

三、ECT 检查方式

按临床要求选择方法，有静态与动态显像、平面与断层显像、局部与全身显像、运动与静息显像。

1. 静态显像 指采集某一观察面在一定时间内的总放射性分布图像。多用于小器官显像和粗略观察某器官的形态、位置、大小及放射性分布、占位性病变的分析。如：甲状腺显像，泪腺显像，脑、肺、心、肝、盆腔、脾、肾的静态平面显像，胃肠道出血定位，梅克尔憩室、淋巴结、移植器官、胰腺、肾上腺、睾丸、前列腺等脏器的显像等，因为其方法简便，适用范围较广泛。

2. 动态显像 指对某器官的某一观察面进行连续分时采集，获得不同时间的动态平面图像，这些图像可以提供不同时间的感兴趣区（ROI）信息，还可以电影显示靶器官活动情况。由于引入了“时间-放射活性曲线”的概念，非常适用于脏器功能判断，如甲状腺、脑、心、肝、肾、胃排空、骨摄取、肝胆等的功能指标。

心血池门电路控制 R 波触发（简称门控）显像亦属动态显像的一种，即用 R 波触发采集一个心动周期内不同时期点的放射性信息，用傅里叶函数拟合成心脏

容积曲线。从此曲线可以分别获得心脏收缩和舒张功能的一系列指标。最近有报道将此方法用于肺显像获得呼吸运动周期肺功能图。

3. 平面显像 二维显像是与断层(三维)显像相对而言,只能一次观察一个面。应包括静态平面、动态平面、局部平面、运动平面和静息平面显像,因为尚不能进行一次性全身断层,因此全身显像就叫“全身XX”,如“全身骨显像”就不要叫“全身骨平面显像”。

4. 断层显像 是对靶器官进行 360° (或 180°)旋转采集多平面信息,用计算机进行图像处理(重建、切层、放大、投影)得到一定厚度的不同观察面和深度的断面图像。这种图像计算机可将它们组合成一个立体图(按不同方向旋转,按不同速度旋转,以便观察)。最适用于大器官显像,如脑、心、肺、肝等,分析占位性病变、供血情况、脏器容积测量等。脑血流灌注断层显像诊断脑缺血性疾病和癫痫具有独特的优越性;心肌血流灌注断层显像诊断“冠心病”、心肌梗死及预后判断等,是最接近于导管检查效果的一种无创性检查方法。

5. 局部显像 是与全身显像相对而言,其包括范围很广,局部平面显像、凡是分辨各脏器的各种检查方法均叫局部显像。

6. 全身显像 指显像剂进入人体后,进行全身采集放射性的分布信息,获取全身性分布图像,如全身骨显像、全身血池显像、全身淋巴显像、全身软组织显像、全身肿瘤标志物显像及动物实验中药物全身分布显像等。进行“全身普查”,对寻找恶性肿瘤的转移灶十分有价值,全身骨显像对鼻咽癌、肺癌、乳癌、肠癌、前列腺癌等最易骨转移的患者,能早期查出转移灶。在帮助外科治疗(如截肢术)方案决策中亦起到不可忽视的作用。

7. 运动显像 运动显像即负荷显像,就如同心电图的“运动试验”,是一种采集靶器官(主要是心脏)在负荷状态下核素显像剂的分布信息成像的方法。就心脏来说,有心血池门电路控制显像和心肌门控显像;心肌、心血池断层显像;心肌、心血池门控制层显像。后者由于信息量太大,处理烦琐,资料存贮量大,有些得不偿失,难被广泛应用。最常用的是“心血池门控平面显像”和“心肌血流灌注断层显像”。这两组资料加上运动与静息对照已够全面,还有的使用药物对照,更能提供一些有效参数,如对心肌梗死可恢复心肌细胞(存活心肌)的判定很有临床价值。

8. 静息显像 显示在患者处于休息状态下心脏对核素显像剂的摄取和分布情况。它常与运动显像匹配使用。

四、ECT临床应用

1. **脑** 大脑是人体重要的神经中枢和主管意识形态的器官。应用 PET 最大的注意力是大脑。用 PET 研究区域脑血管流量和氧的利用，它可获得区域脑血流量定量的图像和脑组织的代谢状况，这是一种在人体活体内研究脑功能的无损方法。

2. **心脏** PET 可用于诊断心肌梗死，从 PET 图像能计算出心肌梗死的大小。

3. **肿瘤** 当患者脑部病变在中线或接近颅底时，用常规 γ 照相机不容易发现病灶。如使用 PET，位于上述部位的病灶则容易被检出。

4. **其他实质性脏器** 如肝、肾肿瘤，用 ECT 检查效果优于常规 γ 照相机。有报道用 ^{11}C 标记的色氨酸，做胰腺部 PET 显像，所得结果比原 ^{75}Se - 蛋氨酸要好。

第二节 PET-CT

PET-CT 将 PET 与 CT 融为一体，由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息，而 CT 提供病灶的精确解剖定位，一次显像可获得全身各方位的断层图像，具有灵敏、准确、特异及定位精确等特点，可一目了然地了解全身整体状况，达到早期发现病灶和诊断疾病的目的。PET-CT 的出现是医学影像学的又一次革命，受到了医学界的公认和广泛关注，堪称“现代医学高科技之冠”。PET-CT 是最高档 PET 扫描仪和先进螺旋 CT 设备功能的一体化融合，临床主要应用于肿瘤、脑和心脏等领域重大疾病的早期发现和诊断。

一、PET-CT工作原理

PET 与 CT 两种不同成像原理的设备同机组合，不是其功能的简单相加。而是在此基础上进行图像融合，融合后的图像既有精细的解剖结构又有丰富的生理、生化功能信息，能为确定和查找肿瘤及其他病灶的精确位置，定量、定性诊断提供依据，并可用 X 线对核医学图像进行衰减校正。

PET-CT 的核心是融合，图像融合是指将相同或不同成像方式的图像经过一定的变换处理，使它们的空间位置和空间坐标达到匹配，图像融合处理系统利用各自成像方式的特点对两种图像进行空间配准与结合，将影像数据配准后合成为一个单一的影像。PET-CT 同机融合（又叫硬件融合、非影像对位）具有相同的定位

坐标系统，患者扫描时不必改变位置，即可进行 PET-CT 同机采集，避免了由于患者移位所造成的误差。采集后两种图像不必进行对位、转换及配准，计算机图像融合软件便可方便地进行 2D、3D 的精确融合，融合后的图像同时显示出人体解剖结构和器官的代谢活动，大大简化了整个图像融合过程中的技术难度、避免了复杂的标记方法和采集后的大量运算，并在一定程度上解决了时间、空间的配准问题，图像可靠性大大提高。

PET 在成像过程中由于受康普顿效应、散射、偶然符合事件、死时间等衰减因素的影响，采集的数据与实际情况并不一致，图像质量失真，必须采用有效措施进行校正，才能得到更真实的医学影像。核素校正得到的穿透图像系统分辨率一般为 12 mm，而 X 线方法的穿透图像系统分辨率为 1 mm 左右，图像信息量远大于核素方法。用 CT 图像对 PET 进行衰减校正使 PET 图像的清晰度大为提高，图像质量明显优于核素穿透源校正的效果，分辨率提高了 25% 以上，校正效率提高了 30%，且易于操作。校正后的 PET 图像与 CT 图像进行融合，经信息互补后得到更多的解剖结构和生理功能关系的信息对于肿瘤患者手术和放射治疗定位具有极其重要的临床意义。

二、PET-CT 临床应用

PET-CT 提供的预测和治疗处理信息比单独 PET 和 CT 多得多，它超越了单独 PET 和单独 CT 的现有领域，既能完成超高档 CT 的所有功能，又能完成 PET 的功能——20 min 能完成全身 CT 扫描，比单纯 PET 的效率提高了 60% 以上，还能提供比 CT 更为准确、快速的心肌和脑血流灌注功能图像。PET-CT 融合图像能很好地描述疾病对生物化学过程的作用，鉴别生理和病理性摄取，能在疾病得到解剖证据前检测出早期发病征兆，甚至能探测到小于 2 mm 的亚临床型的肿瘤，为临床正确确定放疗的计划靶区（临床靶区与生物靶区相结合）、检测治疗过程中药物和放疗效果提供最佳的治疗方案和筛选最有效治疗药物。

1. 癫痫定位 对脑癫痫病灶准确定位，为外科手术或伽玛刀切除癫痫病灶提供依据。

2. 脑肿瘤定性和复发判断 脑肿瘤的良恶性定性、恶性胶质瘤边界的确定、肿瘤治疗后放射性坏死与复发的鉴别、肿瘤活检部位的选择等。

3. 痴呆早期诊断 早老性痴呆的早期诊断、分期并与其他类型痴呆如血管性痴呆进行鉴别。

4. 脑受体研究 帕金森病的脑受体分析，进行疾病的诊断和指导治疗。

5. 脑血管疾病 PET-CT 可以敏感地捕捉到脑缺血发作引起的脑代谢变化，因此可以对一过性脑缺血发作和脑梗死进行早期诊断和定位，并进行疗效评估和预后判断。

6. 药物研究 进行神经精神药物的药理学评价和指导用药，观察强迫症等患者脑葡萄糖代谢的变化情况，为立体定向手术治疗提供术前的依据和术后疗效随访等。

7. 高级健康体检 早期肿瘤是可以得到治愈的，但大部分肿瘤发现时已经是中晚期了，故肿瘤的常规筛查不可忽视，PET-CT 简便、安全、全面、准确，是人群健康体检的最佳手段。

8. 肺癌检查 70% 肺癌确诊时已到中晚期，错过了最佳治疗期，能够在早期发现肺癌病灶的最先进的影像学仪器显然是 PET-CT。PET-CT 的超高灵敏度使得探测人体神经系统微量功能代谢变成可能，不仅提高了病灶的清晰度和特异性，更大大提高了微小病灶的检出能力和确诊率，使定位更加准确。

9. 血液淋巴系统肿瘤性疾病的临床应用(图 1-3-1) PET-CT 作为一种无创性、功能性代谢显像和形态显像合二为一的影像技术，对大多数病理类型的淋巴瘤均具有较高的敏感性及特异性，一次成像能够了解全身主要脏器的代谢情况和病变累及的部位，对淋巴瘤病灶的检出、分期、治疗方案的选择和制订均有很高的临床价值。

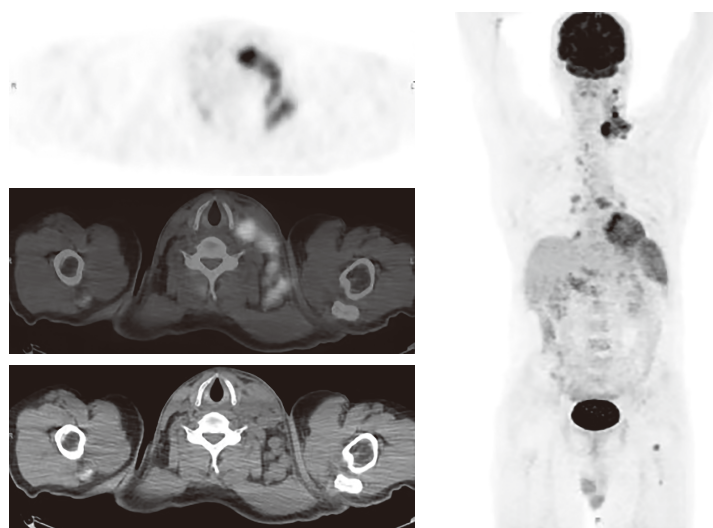


图 1-3-1 颈部淋巴瘤

目前，PET 及 PET-CT 在白血病多器官浸润中的应用还较少，目前主要应用的方面有白血病多器官浸润病灶检出及分期、白血病病程监测、自体干细胞移植

后复发灶监测、鉴别诊断及假阳性。PET-CT 通过一次扫描可以全身成像，同时兼备 PET 检测灵敏度高、CT 定位精确的双重优点，在白血病多器官浸润的检查和治疗监测中有着较大的潜力，值得进一步研究和积累经验。

三、PET-CT 特色优势

1. 能早期诊断肿瘤等疾病 由于肿瘤细胞代谢活跃，摄取显像剂能力为正常细胞的 2 ~ 10 倍，形成图像上明显的“光点”，因此在肿瘤早期尚未产生解剖结构变化前，即能发现隐匿的微小病灶（大于 5 mm）（图 1-3-2）。

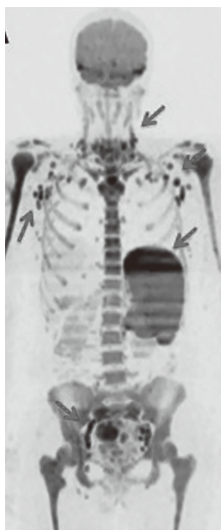


图 1-3-2 多部位淋巴瘤

2. 安全检查安全无创 检查所采用的核素大多数是构成人体生命的基本元素或极为相似的核素，且半衰期很短，所接受的剂量较一次胸部 CT 扫描的剂量稍高，安全高效，短时间可以重复检查。

3. 准确检查结果更准确 通过定性和定量分析，能提供有价值的功能和代谢方面的信息，同时提供精确的解剖信息，能帮助确定和查找肿瘤的精确位置，其检查结果比单独的 PET 或 CT 有更高的准确性，特别是显著提高了对小病灶的诊断能力。

4. 快速进行全身快速检查 其他影像学检查是对选定的身体某些部位进行扫描，而 PET-CT 一次全身扫描（颈、胸、腹、盆腔）仅需 20 min 左右，能分别获得 PET、CT 及两者融合的全身横断面、矢状面和冠状面图像，可直观地显示疾病在全身的受累部位及情况。

5. 性价比高 可早期发现肿瘤，确定性质，其治疗费用较晚发现的减少 50% 以上，生存时间提高 1 ~ 5 倍，甚至 10 倍；一次检查就可准确判断大多数肿瘤的良好恶性、是否有转移，避免了多种检查延误疾病诊断或者制订错误的治疗方案；可准确对肿瘤进行分期，评价治疗效果，减少不必要的治疗方法和剂量；能准确判定肿瘤治疗后的肿瘤复发，虽单一检查费用略高，但实际上避免了不必要的手术、放化疗和住院，总体性价比突出。

四、PET-CT 特点

PET-CT 是将 PET 和 CT（计算机体层显像）有机结合在一起，使用同一个检