

1. 由 X-光透视到正电子照相

20 世纪以来,原子物理、核物理与核化学及基本粒子物理的研究成果不断应用到医学领域,逐渐形成核医学的独立分支,对人类健康作出了重大贡献,其中有关核医学诊断方面的成就非常突出。

X-射线的发现,在医学上产生了 X-光机,经几十年的发展,现在已很普及。X-光透视的原理是

比较简单的: X-光有大的穿透力能透过人体,穿透光的强弱与人的各器官组织及骨骼的组成元素和密度相关,在显像屏上或照相底片上成像能够反映人体内部形态构造。当然,普通 X-光机把人的立体形态投影在二维平面上,不免引起各器官骨骼影像的前后重叠模糊。为了克服此一缺点,七十年代有人把计算机技术运用进来,设想一束 X-光对准人体一定宽度某横段,垂直于人体纵轴旋转取下许多角度的透过 X-光强,根据这些数据,计算机便可重建出该段人体无重叠模糊的断层图像,多张断层图连起来,便是人体的立体照相。此项技术称为 XCT (计算机化的 X-射线断层照相术)。在技术先进的国家 XCT 已相当普及,此项技术的发明者汉斯费尔德 (Hounsfield) 为此获诺贝尔医学奖金。

另一方面,人工放射性的发现,人们把放射性示踪技术运用到医学诊断上也是很有成效的。例如,碘有浓积到人体甲状腺的生理作用,医生们把放射性碘制剂置入人体,在体外用 γ -射线探测器扫描测量碘在体内分布来诊断甲状腺瘤。后来,更多具有优良核性质的放射性核素 (^{99m}Tc , ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{123}I 等) 用于更广泛目的,以及改用多探测器探头等,逐渐发展为一代放射性同位素式的 γ -照相技术。值得注意的是, X-光照相是透射 (射线源在体外) 式照相,提供人体解剖 (形态) 图像,而 γ -射线照相是发射 (射线源在体内) 式照相,提供的图像具有人的生理或功能方面的意义。这是一个重要差别。

在医生使用的放射性同位素中,有一类是 β^+ 衰变的核素,由此发展出很有意义的正电子照相术。五十年代美国麻省总医院的布朗耐尔 (Brownell) 使用 β^+ 衰变的 ^{74}As (半衰期 17.5 天) 制剂置入人体来探测脑瘤,他用一对碘化钠闪烁计数器相对置于患者头部两侧来测量 β^+ 在内部湮灭放出的 2γ -射线的符合计数,逐点扫描推定砷的分布来达到诊断目的。这也许可以

称为最早医用的正电子照相装置 (当然,它实际是扫描装置)。 β^+ 是核衰变放出的高速正电子,是人工最易获得的反粒子,它在人体内几毫米路程可减速至热能,而后和一个电子湮灭,主要放出两个反向共线 ($\sim 180^\circ$) 的能量 0.511 兆电子伏的 γ -射线。图 1 是湮灭 2γ -符合测量的示意图。

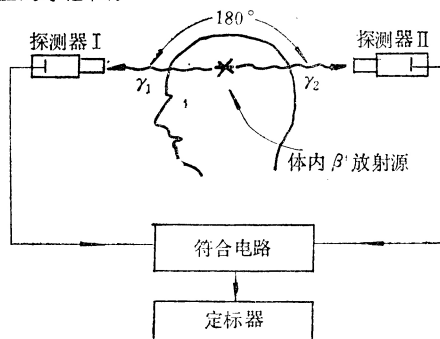


图 1 湮灭 2γ -符合测量法原理图

湮灭 2γ -符合测量法与前述单 γ -测量法相比的主要优点是: 单 γ -测量时需在探测器前加准直器限定视野以减少其它方向射线的干扰, 用多探测器探头时, 总视野面积只与探测器数目成正比; 在湮灭符合测量中, 利用 2γ -射线 180° 角关联的关系, 一般不加准直器, 可本能地排除两探测器连线以外的射线源干扰, 当探测器数目增大时, 任何两探测器之间因无人为准直器的妨碍均可构成符合测量对, 相当于装置的视野与探测器数目的平方成正比, 可望照相灵敏度大大提高。

随着探测装置的改进, 人们很自然地把注意力集中于几个短寿命 β^+ 衰变核素 (^{11}C , 半衰期 20 分钟, ^{13}N , 10 分钟; ^{15}O , 2 分钟; ^{18}F , 1.8 小时) 上。碳、氮和氧是人体基本元素, 氟的化学性质与氢有相似之处且是许多化学药物的组成元素。随着小型医用加速器的发展, ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 可以很方便地产生出来, 人们快速地把它们标记在各类有生理作用的制剂和药物中, 置入人体使之参与人的各种生理代谢而不产生附加影响, 在体外用正电子湮灭探测装置获取它们的走向信息, 于是人们模仿 XCT 技术把计算机技术运用进来, 使探测装置获取的巨量信息瞬间能够重建为放射性在人体内分布的立体图像。显然, 这样的图像具有人体解剖的和人体生理的双重意义。

因此可以说, 随着射线探测技术的改进、医用加速器和各种标记化合物快速制备技术的发展以及计算机技术的采用, 正电子照相术以其快速、动态、无创、定量及生理与形态兼具的立体照相技术为人的生化生理研究, 病理药理研究以及临床诊断开辟了广阔领域。正电子照相术 (PCT) 是当代核医学的重要成就之一。

2. 正电子照相装置

实验室产品的正电子照相装置中的射线探测用碘

化钠(铯)探测器,数目可以多至几百,它的脉冲分辨时间较好,一般作到10毫微秒,它对0.511兆电子伏的 γ -射线探测效率也较高。商品化的正电子照相机中多用光峰探测效率高得多而分辨时间略逊的BGO($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, 锗酸铋)探测器。以上两类装置的符合计数速率可达每秒几万次,照相速度为秒量级,空间分辨率为1厘米左右。一些实验室用高能物理实验中发展起来的多丝正比室来做正电子照相装置,其空间分辨率好,可达几毫米,在正比室前加多层铅制蜂房式转换体可以提高探测效率,但因转换体引渡电子的时间分散大,故装置的时间分辨较差(~ 100 毫微秒),符合计数速率仅每秒数千次,照相速度为分钟水平,适于静态观察。最近有人设想用发光时间极短的塑料闪烁体和无机闪烁体氟化铯来作正电子照相装置,如果成功的话,照相速度预期为秒以下。

探头为多探测器阵列排布,基本式样分块状和环状两种。块状探头为两块,相对置于人体两侧,一块中的某探测器可与对面块中的每一探测器都构成符合计数对,符合连线密布如网。块状探头可以很方便地产生体内放射性分布的积分式平面照相——类似于普通X-光机的作用,也可以借计算机程序解出人体纵剖一组平面的放射性分布(立体照相),或旋转探头取不同角度的数据由计算机解出一组横切断层面上的放射性分布(立体照相)。不过用块状探头作立体照相常使人们感到数据量不充足,所得结果粗糙不唯一。环状探头一般用准直缝限制照相视野于人体很窄的一段,产生该段的横切断层照相——类似XCT的作用,称为PETT(正电子发射式横切断层照相术)。PETT的照相速度快,所得图像清晰效果好。多环探头的PETT是单环探头的量的扩展,可同时获得若干断层照相,是立体照相。以上所述各装置均需配备中型的在线计算机。图2是一个单环PETT示意图。

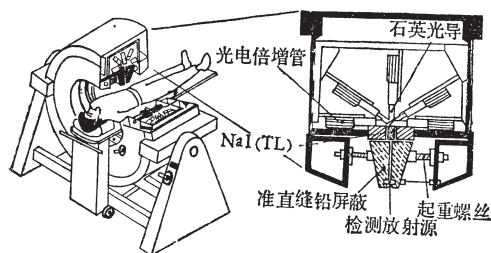


图2 戴伦索 (Derenzo) 等人设计的单环 PETT 装置示意图

3. 应用示例

目前,人们的兴趣集中在人类健康最重要的几个方面,即人体心血管系统生理研究功能检查和疾病早期诊断、大脑的生理和功能研究以及肿瘤诊断。正电子照相术对这三方面问题的研究和应用都可作出贡献。

例如 ^{14}C 标记的脂肪酸可以研究心肌对脂肪酸的代谢,同时还可以使心肌显像;用 ^{18}F 标记的 Na^{18}F 可以诊断心肌梗塞,可以从图像上计算梗塞的大小。

C^{15}O_2 对心脏左右分流诊断有特异性。 C^{15}O_2 吸入人体后,透过肺泡膜,在碳酸脱水酶的作用下, ^{15}O 在肺静脉血中迅速(几分之一秒)形成 H_2^{15}O ,随血流进入左心房,其速度与肺血流有关,于是可以观察心脏有无左至右的分流。 H_2^{15}O 随血液进入脑后,可以观察中风病人的脑血栓形成的部位并计算它的大小。图3a是一个正常人的脑的正电子照相,图3b是一个中风患者的脑的照相。图中明亮部分表示有放射性分布的地方,中风患者的血栓形成部位出现黑影,表示这里没有血液流动,不会有放射性存在。

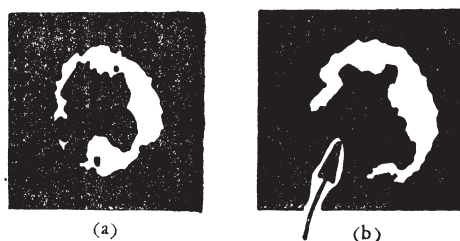


图3 (a) 正常人脑照相
(b) 病患者脑照相,箭头所指为血栓形成部位

葡萄糖是大脑神经活动的能源,用 ^{18}F 或 ^{14}C 标记的脱氧葡萄糖可以研究脑对葡萄糖的消耗,测定葡萄糖的代谢速度可以了解脑活动的情况。人的各种神经功能(视觉、触觉、听觉、嗅觉等)的中枢集中在大脑皮层的不同断面。图4a中把人的大脑分为9个横切断层。当标记的脱氧葡萄糖进入脑后,不同刺激施于人体,正电子断层照相术可以给出相应脑断面上放射性分布的动态变化。例如有人用正电子断层照相术观察一位志愿者的视觉脑断层,用暗光(闭眼)、亮光和有吸引力的景物给他看,发现在看景物时的葡萄糖代谢率最高,闭眼时代谢率最低;有人做过听觉的类似实验,其结果也相似。大脑的生理及功能研究是重要科学课题,同时是各类神经疾病和精神病诊断治疗的

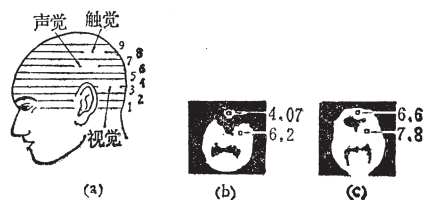


图4 (a) 大脑各断层位置
(b) 痴呆者视觉脑断层照相
(c) 正常人视觉脑断层照相

前提,图 4b 和 4c 是一个痴呆患者与一个正常人视觉断层上放射性分布的比较图,表明正常人的葡萄糖代谢率要高得多。

在肿瘤诊断方面,最近有人用 ^{15}O 、 ^{13}N 等观察软组织肿瘤的血流和代谢变化,如用 C^{15}O_2 测量局部血

流,发现肿瘤组织比正常组织血流快,而坏死组织血流降低等。

目前,由于正电子照相术的装置造价昂贵且需医用加速器,故应用尚不普及。然而通观 X-射线透视技术发展的全过程,那么,正电子照相术的普及将在人们生活中产生巨大的作用。