

巴基斯坦拉尔卡纳核医学和放射治疗研究所正在对病人作肝闪烁图。(来源:巴基斯坦原子能委员会)



## 核显象: 进展与趋向

几个领域的发展影响着  
未来方向

Gerard van Herk

“一画胜千语”。

这是宣传界的主导思想,它的正确性不仅是广告设计的策略基础,而且完全适用于影象在医学诊断中所起的主导作用。为了描绘显象仪器的发展,我们必须从核医学设备库的现有状况开始。本文着重讨论发展中国家核医学界多半感兴趣的核显象设备。

直线移动型扫描器是人们用来建立体内放射性分布影象的最早仪器。在第三世界的许多核医疗中心,它仍然是一种普遍使用的可靠设备。

扫描器由配有铅准直器的探测器组成,铅准直器将视野的辐射敏感场于其下聚焦成一个小斑点。探测器选定的在有放射性示踪剂分布区域上,例如在打算给病人显象的脏器上方,沿弯弯曲曲的路线移动。用附在可移动探测器组件另一端的打印设备同时记录在每个位置测得的放射性活度。整个区域被扫描后,打印出的整个阴影线图(“扫描”)即为实际大小的示踪剂分布图。

1959年由H.安格设计的那一类 $\gamma$ 照相机,目前仍然使用得最广泛。在“安格” $\gamma$ 照相机中,放射性分布全部通

过一台平行孔准直器投射到一薄的闪烁晶体上。它的视野场直径在18—50厘米范围。晶体上的每一次闪烁都被一排光电倍增管“看见”(光电倍增管数,典型的为19—75个)。光电倍增管的相应输出由电子定位网分析,该网每记录到一个光子,产生两个位置信号。当信号进入显示监测器时,原来的“闪烁”由屏幕上相应的光点表示。一照相机积累到几千个这样的计数以后,得出的照片(闪烁图)就是作用器官的投影图。

虽然相对来说,扫描器是一种老式设备,但与 $\gamma$ 照相机比较,它有许多优点。就它的性质来说,它对整个显象区可以提供无失真的和均一的响应。对于最常用的高能核素(其中有一些较铟-99m更易得到),它具有令人满意的性能。扫描器对较深结构能提供良好的对比度。最后,就是在许多发展中国家常遇到的情况下,如不利环境、电源不稳定和不定期维修,它一般也不易损坏。

另一方面,扫描器也有一些缺点:它不能用于动态研究,即对研究期间那些不固定的示踪剂分布作显象。扫描分辨率也不好,看来没有闪烁图那样吸引人。就这一点来说,这种高级 $\gamma$ 照相机应较开创年代的扫描器更受重视。

不管显象仪器的性质如何,重要的是,经常保证每一

van Herk博士是生命科学处医学应用科的工作人员。

个设备都能正常工作。这一认识必须正式变为随后一组质量控制(QC)程序。原子能机构支持许多计划和项目,并已出版了这一主题的技术文件。

## 计算机的应用

70年代初,曾广泛研究应用计算机来处理闪烁影像。其结果使商用处理影像的计算机在70年代得到了广泛发展。

将计算机应用于静态影像,主要是对闪烁图进行修饰。由于减去了本底放射性活度或突出了对临床数据有意义的任何强度范围,影像中的对比度可能增强。 $\gamma$ 照相机显象几乎都有失真和人为现象,用校正缺乏均匀性和线性的最常用校正方法,可以部分校正过来。最后,对改善闪烁图中的“噪声”或器官的不明显边界,有许多“过滤”方案。

计算机处理除了在影像可见性改进上有用以外,对动态研究,即评价示踪剂分布随时间的变化也是必不可少的。注射示踪剂后,许多连续的影像立即被记录到计算机存储器中。计算机绘制脏器或其中有意义的选择区域中的放射性活度对时间的曲线,然后用数学和生理学模型分析这些时间对活度的曲线。得出的定量参数对脏器的功能是有代表性的。在核医学中,著名的有:大脑新陈代谢,肾功能,胃的排空,血液流动和心脏收缩。后者近期获得的最新进展已使核心脏病学实质上成为一门独立的专门学科。

常规的闪烁显象术可以提供各种功能脏器的影像,如同身体全厚度投影一样。平行于探测器的所有平面的活度都重叠在最后的影像中。直到最近,选择性观察身体内部单一断面的唯一方法是外科X射线断层照相术。近十年来,作为极先进的显象仪器和大容量计算机密切结合的一种产品,“计算机辅助断层术”(CAT或CT)的新型显象方法已经成熟。CT原理的基础是,从实物不同侧面摄取许多简单图象集成三维影像数据,经过数学处理,使之再建。通过从计算机存储器调出的正面、侧面以及横切面投影,对所得的三维影像数据进行观察。特别是后者,即观察垂直于身体轴线的截面结构的可能性,已为开阔解剖学的眼界作出了有意义的贡献。

## 正电子发射断层照相法(PET)和单光子发射计算机断层照相法(SPECT)

X射线计算机辅助断层照相法(XCT)作为临床诊断的常规工具迅速而成功的引入,进一步带动了核医学CT或ECT(发射型计算机断层照相)的发展。顺便说说,远在XCT之前,ECT就已经提出来了,并得到了发展。但是长期以来,一直认为它不是可行的标准显象方法。核医学中存在明显的两类ECT: PET和SPECT。

## 核显象的基础

原来,核医学与显象无关,而与在一定时间和位置的某种生物医学物质的定量估价有关。示踪剂动力学的概念就是医生们用一种放射性同位素“标记”一种生物医学化合物,并追踪这种示踪剂的路径和结局。由于添加物质的量很少,而其化学性能与被示踪的物质相同,因此对正常的生理学仅有极微小的干扰。用于核医学的各种示踪剂通常被称作“放射性药物”。

由于科学家们(例如生物化学家、生理学家、药理学家)密切合作,目前已经制备出多种可供选用的放射性药物。对大部分脏器和各种脏器的功能,都有一种在新陈代谢或在转移机理方面起特殊作用的特定示踪剂。锝-99m是主要采用的一种放射性“标记”物,因为它的物理和化学性质适合。锝-99m的半衰期短,因而患者受到的辐射剂量小,同时还可避免废物管理的问题。

核医学的一个独特优点是示踪剂能起“实用探针”的作用。其他诊断显象方法,例如放射学和超声波,只能显现组织的静止特性,例如它的密度等。另一方面,核医学影像反映组织活动的生物化学过程。看上去示踪剂的分布是静止的,但它说明了标记化合物的瞬时摄取,即一种高动态过程的快照。

大多数显象技术应用这样一种量的光或其他辐射即把它的强度作总的辐射通量来度量。用于核医学的 $\gamma$ 辐射用其最小的不可分的单位,即一个个的光包,即“光子”来度量。

闪烁探测器广泛应用于 $\gamma$ 辐射的探测。在一个闪烁晶体中,每条进入的 $\gamma$ 射线均产生一微小的闪光。接着光电倍增管将这个闪光转换成一个小电子脉冲。脉冲高度或幅度与入射光子的“ $\gamma$ 能量”成正比,与波长成反比。所探测的光子总数或在给定的时间内的累计数,表示放射性示踪剂的数量,即在探测器范围内的“放射性活度”。就是这种单一的计数测量的特性使得核医学适合于定量研究。

所用的光子数目有限和放射性本身衰变过程中随机涨落的特性产生固有复杂性,是统计测量不准确的原因。这种不准确性导致在测量的强度方面不规则的“噪声”涨落,和在核影像方面产生不希望有的斑点。

大脑闪烁图。(来源:CEA)





发射型计算机辅助的断层照相 (ECT) 系统。  
(来源: GE)

PET的三维影象数据是通过伴随着正电子同时发射的两个光子的计数而获得的, 而正电子又是某些放射性核素(大多是短寿命的)发射的。由于在病人的两侧都放有探测器, 所以PET的显象仪器具有相当高的灵敏度, 即可以探测到发射的辐射的大部分。正电子PET已经取得很大成功, 特别是在作为生理学和微生物学的研究工具方面。组成有机化合物的原子大多具有能发射正电子的放射性同位素。已经发表了大脑和心肌新陈代谢和氧的消耗的定量分析和显象方面的研究成果, 这些成果给人以深刻印象。

PET的成功反过来又促进了人们探索可以利用常规的——单光子——核素的断层仪器。供SPECT用的仪器至少可以分为三类。一类用多孔准直器, 另一类采用旋转斜孔准直器和第三类采用旋转照相机, 它们从不同角度收集需要的影象。看来第三类最有希望, 因为它受不希望有的人为影响最小, 并对横断面也可显象。

与常规的闪烁显象术相比较, 投入SPECT的力量虽然要多一些, 但由于诊断准确度上取得了虽不是太大但却是有意义的改进而得到了补偿。断层显象可以提供较高的对比度, 因为它消除了叠加结构的附加投影。因此, 较深的结构可以由较好的对比度而看到。

对SPECT的第一次热浪刚过, 就发现了影象的人为变形。这种人为变形可能是在最终影象中的热点、拖影或圆圈。看来它们是由于部分余留在视野场外的较大放射性活度, 或 $\gamma$ 照相机未调整好而引起的。旋转照相机在均一

性、非线性和非准直性上的缺陷, 对常规闪烁显象来说是无关紧要的, 但在SPECT的重新合成过程中被放大, 并且在最后的断层象上可能出现严重的失真。如要使ECT的优点不转化为缺点, 对试验和校正来说严格的质量控制程序是必不可少的。

### 显象仪器的发展趋向

核医学显象设备发展的推动力至少部分取决于仪器的商业供应者选择什么类型来制造。核医学研究的特点是更新速度快, 特别是在仪器方面。最近, 由于许多因素, 实际实施这些的过程看来已经慢下来。工程师和物理学家倾向于从事更新的设计, 而医学界在将新方法和仪器引入临床方面, 有时却表现出相当大的惰性。

这可能是新的发展显现出成长和接受两个典型阶段的原因, 例如最近的核心脏病学和发射断层照相就是如此。首先是在年度的科学会议上出现一个有创新思想的浪潮。接着此高潮的是对此课题的一个相当平静的时期, 它可能长达5年之久。然后, 由于工业界给市场提供了制成品, 并突然得到普遍的接受, 表明新的发展已经成熟, 它可以用作临床显象研究的一种新工具。

在最近一些年, 由于其它显象设备取得给人深刻印象的发展, 同时一般都紧缩了研究和发展预算, 核医学显象仪器的工业革新已经丧失一些推动力。例如, 最近几年,

为核医学提供商品计算机的许多公司已经中断了它们这方面的业务。再者,发达国家的市场正达到饱和状态。目前全世界已安装的 $\gamma$ 照相机估计为10000台,每年的更换率约为1000台。

## 电子仪器的发展

电子学的发展,在很大程度上促进并刺激了新仪器的发展。最近的趋向是小型化,这就导致部件日益大规模集成化。结果,这些“集成电路块”的成本下降了很多。引入微处理机来取代硬件系统,使仪器具有更大功效和更为通用,而价格却比较低。设计工作的重点看来已从硬件转向软件开发。现在多种数据处理功能都可以存储至十分紧凑的集成块中。这种浓缩的软件有时又称为“固件”。

## $\gamma$ 照相机和SPECT的发展趋向

安格照相机的原理有它固有的局限性,这就迫使设计者在诸如灵敏度和空间分辨率(影象分辨能力)之间作某些折衷。与其它显象方法比较,诸如X射线放射学和核磁共振,核医学受到有限的可利用光子数约束,因为对病人的辐射照射量必须加以限制。

改进空间分辨率的任何方法(使用较薄的晶体或更精密的准直器)都要付出灵敏度降低的代价,因之,影象中的“噪声”增加。在使用其它闪烁晶体,如铯-碘或铊铯,来代替一般使用的钠-碘方面,正在进行一些研究工作。然而,尚未能得到可行的新产品。在晶体上使用更多的光电倍增管仅使空间分辨率稍许接近理论限值,然而仪器却变得更易损坏,因为每增加一个部件都将增大仪器损坏的几率。

然而,考虑到安格照相机的价格和相对可靠性,它多半还会用作核医学可以接受的和实用的显象仪器。

与其说 $\gamma$ 照相机设计方面将有显著的变化,不如说,有明显的专用倾向。在照相机设计上不可避免的折衷,可能满足具体临床应用的要求。结果,产生一些专用系统。例如,应用于核心脏病学的可处理高计数率的小视野照相机,能极靠近身体并围绕其旋转以使断层显象最优化的照相机系统,移动式专用照相机,以及其它用于全身扫描的系统。

在不久的将来,SPECT可能会变得日益重要。这是由于计算机硬件和软件迅速改进,以及临床上可接受的应用日益增多的结果。SPECT与其相应的更复杂的PET一道在发展,以便定量测定示踪剂的分布。使定量测定可靠的一个有决定意义的条件是准确地校正组织衰减。这一般用透射扫描来测量实际的衰减就可以做到。用测量放射性来对影

象进行校正的缺点是增加了“噪声”或统计涨落,结果降低了所获得影象的质量。另一方法是测定身体外形,或假定呈椭球形并应用理论校正。这虽不致降低影象的质量,但可能仅是准确性较差的一种真实情况的近似。

## 改进显象深度

然而,有吸引力的可能是对身体内部较深部分切下的断面的观察。缺点是最后将得到众多可供选择的图象。断层显象的大部分优点取决于用简便综合的方法显示三维影象。为了给断层显示增添深度效果,目前正在研究许多方法。

仅给出三维结构的标准照片具有实用并可移动的优点。它们是从屏幕上获得的,在那里,较深的连续断面以越来越小的对比度或以除去了边缘而显示出来。因此,具有与午台两侧相同的效应。其它更复杂的方法是:立体照片,全息照相和“振动镜”,在那里,人坐在显象处理计算机的显象台前,三维都可以清楚地“看见”。在计算机屏幕上给出深度更简单的方法是,快速连续显示刚从病人周围取得的所有原始象。此“影片中的转动象”留在观察者的视觉系统中而将影象中的“噪声”消除,并看到身体脏器的三维影象。

为PET用的许多不同照相机的设计工作正在得到发展,这种照相机有一些在市场已可以买到。不过看来PET与SPECT显象的关系越来越远。PET要求附近有回旋加速器并需要一些具有高超技能的科学家,而SPECT仅使用常规的放射性药剂即可。再者,由于涉及的费用较多,PET临床的好处证明是有限的。正电子断层照相机本身是非常复杂的工具,它主要在高级生理学研究中的应用。

## 计算机和照相机的整体化

更紧凑、功效更大和价格更低的计算机硬件与需要的快速信号和影象校正相结合的发展趋向,已经导致计算机与照相机的整体化。来自探测器晶体并通过光电倍增管的模拟位置信号,在前一阶段就转换为数字数据,因此降低影象信息的偏差。这些称为“数字照相机”的仪器具有较稳定的性能,因为它们对于干扰或模拟信号的逐渐偏移较不敏感。另一方面,因为 $\gamma$ 照相机是由数字计算机控制的,所以计算机的任何故障都将影响整个系统。

对于ECT的重显算法以及诸如核心脏病学中的傅里叶过滤,必须进行广泛的“数据捣弄”,一般要消耗相当多的计算机时间。并行处理机,诸如阵列处理机,可以同时完成许多运算。随着硬件价格的下降,阵列计算机可能成为影象处理计算机系统的一个主要部分。



有竞争性的显象系统，如计算机辅助断层术，影响着核医学显象的未来。（来源：Tech - Ops）

分析目前使用的单克隆抗体和高肿瘤特异性化合物。如果这一应用能扩展到体内，那么将诞生完全新的显象方式（“放射免疫显象”）。如果打算用一般可以得到的铟-99m来标记这些抗体，那么核医学的医生在他与癌的战斗中就有一种新的而且是强有力的工具。

### 不断增加的竞争

除了上述这些发展外，对核医学的将来还有显著的外部影响——其它显象方式，如数字式X射线学、超声和核磁共振显象等日益增加的竞争。这种竞争与它们对影象处理和计算机使用的需要间越来越多的相似性一起，可能导致将来在医院建立完整的显象科。类似于体外实验室的发展，这甚至可能导致独立的核医学科逐渐消失。

就发展中国家来说，核医学中的新发展要得到普遍的应用，可能需要5至10年。考虑到其他原因，由于财力资源的短缺，这是不可避免的。

有时，行政手续和政治压力看来是确定技术转移所需时间的主要因素。普遍存在的官僚主义繁琐手续大大地延误了购买新设备的时间。除这些以外，在许多发展中国家还存在对付更不利环境的有关问题。特别是不适宜的气候和电源条件对日趋复杂和易损坏的设备造成了不适宜的环境。不相适应的基础结构以及外汇的不足妨碍了短寿命放射性药剂的正常供应和及时得到维修服务。最后，工程师的新薪低和培训少，加上相当多的“智囊流失”不可能促进推动力、知识和经验的生长。总起来看，发展中国家在这方面的速度大大低于发达国家，结果在常规的（核医学）技术上的差距继续不断扩大。

### 将来的方向

在发展中国家和发达国家中，核医学和显象仪器的发展趋向将导致不同的未来。在这两个世界中，疾病种类和临床问题存在显著的差异。再者，从绝对和相对数字看，为复杂的医学设施可提供的资金也是不同的。预测将来发展的努力是危险的和不现实的，因为从它的短短历史看，已经证明它是多变的、快速的、并受事先未能预见的事件和发明所左右。

在未来的年代中，世界较发达国家核医学设备的发展和革新设计的速度将慢下来。与临床诊断有关的其它显象方法的竞争和公众对核应用的态度变化，可能减弱曾驱使核医学发展到目前水平的力量。

将功效更大的计算机组合到安格 $\gamma$ 照相机的工作多半会继续下去，以允许联机影象最优化和动态研究的有效分析。随着快速阵列处理机的进一步完善，单光子断层显象

一般说来，对核医学的重要贡献，不久将来自软件的发展。伴随着计算机程序“凝固”到集成电路片内的发展趋势，这可能表明，更多的影象分析程序将成为显象仪器的标准特征。目前，人们可以自由地得到软件，并可以按规格加以修改，这就妨碍了程序的标准化。值得一提的一个引人注目的应用是“功能影象”。在功能的或“参数的”影象中，每个象点（pixel）的颜色强度代表参数值，例如，对影象特定点的动态研究的数学分析结果。通过傅里叶分析的心脏收缩相位和振幅的功能影象，以及通过“因素分析”后的肾功能影象均逐渐被人接受。

### 放射性药物的发展

因为核医学需要多学科共同努力，所以它的发展不仅取决于仪器的发展趋向，而且也受放射性药物发展的影响。超短寿命放射性核素与能处理高计数率的 $\gamma$ 照相机相结合将导致在血液流动研究和核技术血管造影方面的新应用。

为更多脏器或功能专用的示踪剂发展的目前趋向是开辟功能显象的整个新区域。值得特别提到的有，放射免疫

可能成熟为常规的和准确的显象方法。对新的临床研究的主要贡献将来自高度脏器特异性放射性药剂的发展。

在发展中国家，直线移动型扫描器逐渐被 $\gamma$ 照相机所替代的同时，也有一定的趋向将计算机附在已有 $\gamma$ 照相机上。这使它有可能得到新的应用，如核心脏病学。在世界的这部分地区，SPECT系统仅开始在比较先进的核医学中心安装。

一般说来，对获得新设备的兴趣大大超过对已有仪器的维修。不管怎样，对临床核医学服务的继续发展和作为

电子学工程师的培训手段来说，有组织的修理和保养设施将证明是极为重要的。除了明显地节省财力资源外，本地的专门知识的增多将有助于国家的自力更生。

虽然核医学有个大发展的需要，但重要的一点是要从已提出的具体临床问题及其对公众保健的贡献这个角度，来合理地使用人力和物力。只有当研究工作的质量得到恒久的和严格的保证，而且用它们的社会效果来评价支出时，核医学显象这种和平利用原子能的有益和有吸引力的应用才能保持它的作用。