

核技术及其在生物医学中的应用丛书

# 闪烁照相与 临床应用

董 惟 誉 编 著

科 学 出 版 社

# 闪烁照相与临床应用

董惟誉 编著

科学出版社

1985

## 内 容 简 介

本书是《核技术及其在生物医学中应用丛书》中的《闪烁照相与临床应用》分册。闪烁照相技术是利用核素诊断疾病的核医学新技术之一,它对现代医学的发展具有重要意义。

全书共分15章。第1—4章扼要介绍闪烁照相原理、仪器结构(包括部分附件)、性能测试及使用方法。第5—15章介绍人体各种器官(脑、甲状腺、心血管、肺、肝胆、胰腺、肾脏、肾上腺、泪道以及胎盘等)显象。重点讲闪烁照相快速成象、形态-功能检查特点,较详细介绍临床应用的较成熟的经验,适当引用一些国内外的新技术、新进展。书后有查阅常用数据的附录。

本书除可供临床核医学工作者参考外,也可作为其他临床各科医师和教学、科研人员以及医学院校学生的参考资料。

## 闪烁照相与临床应用

董惟普 编著

责任编辑 王爱琳

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1985年8月第一版 开本:787×1092 1/32

1985年8月第一次印刷 印张:15

印数:0001—2,500

字数:341,000

统一书号:14031·83

本社书号:4003·14

定价: 3.50 元

## 序 言

核技术的应用是医学生物学现代化的重要标志之一。国际原子能机构的一份公报指出：“从对技术影响的广度而论，可能只有现代电子学和数据处理才能与同位素相比。”同位素在生物医学中的应用尤其广泛。一方面，它深入到实验医学的各个领域，从分子水平动态地观察生命现象的本质与生命活动的物质基础。另一方面，它又为临床诊断与治疗开辟了新的途径。至于核技术，无疑不限于同位素的应用。核射线也是科研与医疗的重要手段。

我国核技术的应用已有二十多年的历史，专业队伍不断扩大，工作也不断深入。当前急需总结国内外应用核技术的经验，为此，我们组织编写一套《核技术及其在生物医学中的应用》丛书，供生物医学工作者参考。我们希望，这套丛书能为实现四化做出一点点贡献，对我国核医学及核生物学的发展起一定的促进作用。

本丛书拟分专题介绍核技术及其在生物医学中的应用。每一分册包括一个专题。分册之间，既有联系，又各自独立。读者可以收集全套丛书，也可根据需要选购其中部分分册。

丛书每一分册都邀请对有关专题有丰富经验的同志撰写。这套丛书主要是他们辛勤劳动的成果，也得到他们所在单位的有力支持，特此向这些作者和单位表示衷心的感谢。

主编 王世真

## 编 者 的 话

闪烁照相机 (scintillation camera, 又称伽玛照相机 gamma camera) 已有二十余年的历史, 目前已被用于人体各种脏器的显象, 诊断许多疾病。由于它具有快速显象的优点, 对脏器形态-功能的检查与研究非常有用。近几年来又有短半衰期、低能量核素的生产以及电视、录象、电子计算机数据处理系统等设备的联合应用, 可以获得许多重要的资料, 从而提高了诊断、治疗水平, 因此, 闪烁照相机是现代临床医学的一种重要工具。我院(福建省立医院)于 1973 年开始应用闪烁照相机, 现在, 上海、四川、北京等地生产这种机器, 而且全国正在普及推广闪烁照相技术, 为我国核医学的发展揭开了新的一页。

本书是《生物医学中原子核技术及其应用》丛书中的分册之一, 主要介绍闪烁照相机的原理、结构、性能测试与使用方法, 重点突出临床使用, 列举了一些较成熟的经验, 对国内外正在开展的闪烁照相新技术及新动向也作简要介绍。由于本人经验少, 水平有限, 而且闪烁照相技术还在迅速发展, 书中内容很难反映国内外应用的全貌, 也一定存在不少的错误和缺点, 我热切地希望广大读者提出批评、指正。

本书在编写过程中, 由丛书主编王世真教授审稿, 并得到了全国许多兄弟单位的大力支持, 福州军区总医院、南京医学院附属一院、山东医学院、山西医学院附属一院、黑龙江省肿瘤医院、贵阳医学院附院、广西壮族自治区人民医院等单位提供了许多宝贵资料(图片); 又承上海第一医学院赵惠扬副教授给予鼓励; 林克健、林祥通副教授以及我院同位素室杨丽珠、刘用华医师等同志的大力帮助, 谨此表示衷心的感谢。

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第一章 闪烁照相机的工作原理及结构.....       | 1   |
| 第一节 概况 .....                 | 1   |
| 第二节 闪烁照相机的主机结构 .....         | 3   |
| 第二章 闪烁照相机的附件.....            | 28  |
| 第一节 目前常见闪烁照相机附件 .....        | 28  |
| 第二节 其他类型的闪烁照相机 .....         | 47  |
| 第三章 闪烁照相机的质量检定.....          | 49  |
| 第一节 闪烁照相机的性能测试 .....         | 49  |
| 第二节 几种类型闪烁照相机的特点 .....       | 61  |
| 第四章 闪烁照相机的使用方法.....          | 65  |
| 第一节 闪烁照相机的主机操作程序 .....       | 65  |
| 第二节 闪烁照相机动态显象的操作程序 .....     | 72  |
| 第三节 断层闪烁照相的操作规程 .....        | 73  |
| 第四节 全身照相的操作程序 .....          | 77  |
| 第五节 使用闪烁照相机的注意事项及仪器的维护 ..... | 81  |
| 第六节 闪烁照相机的主要优缺点 .....        | 84  |
| 第五章 脑显象.....                 | 90  |
| 第一节 脑静态显象 .....              | 90  |
| 第二节 脑动态显象——核素脑血管造影 .....     | 122 |
| 第三节 核素脑池、脑室和脊髓蛛网膜下腔显象 .....  | 134 |
| 第六章 甲状腺显象.....               | 151 |
| 第一节 甲状腺静态显象 .....            | 151 |
| 第二节 甲状腺动态显象 .....            | 170 |
| 第七章 心血管显象.....               | 177 |
| 第一节 心脏大血管、血池显象 .....         | 177 |

|      |                                 |     |
|------|---------------------------------|-----|
| 第二节  | 心肌显象 .....                      | 187 |
| 第三节  | 核素心血管造影 .....                   | 206 |
| 第四节  | 核素检查心室功能 .....                  | 246 |
| 第八章  | 肺显象 .....                       | 263 |
| 第一节  | 肺灌注显象 .....                     | 263 |
| 第二节  | 气溶胶吸入肺显象 .....                  | 275 |
| 第三节  | 放射性气体 <sup>133</sup> 氙肺显象 ..... | 278 |
| 第四节  | 阳性肺显象诊断肺肿瘤 .....                | 288 |
| 第九章  | 肝、胆显象 .....                     | 296 |
| 第一节  | 肝脏静态显象 .....                    | 296 |
| 第二节  | 肝胆动态显象 .....                    | 316 |
| 第三节  | 肝脏占位性病变的鉴别诊断 .....              | 330 |
| 第四节  | 肝脏显象的临床意义及误诊原因分析 .....          | 347 |
| 第十章  | 胰腺显象 .....                      | 356 |
| 第一节  | 胰腺显象原理及方法 .....                 | 356 |
| 第二节  | 胰腺显象图象分析及临床价值 .....             | 360 |
| 第十一章 | 肾脏显象 .....                      | 367 |
| 第一节  | 肾脏显象原理及方法 .....                 | 367 |
| 第二节  | 肾脏图象分析 .....                    | 372 |
| 第三节  | 肾血管造影及图象分析 .....                | 391 |
| 第四节  | 肾脏显象的临床意义 .....                 | 393 |
| 第十二章 | 肾上腺显象 .....                     | 397 |
| 第一节  | 肾上腺显象原理及方法 .....                | 397 |
| 第二节  | 肾上腺图象分析及临床意义 .....              | 399 |
| 第十三章 | 骨显象 .....                       | 412 |
| 第一节  | 骨显象原理及方法 .....                  | 412 |
| 第二节  | 骨显象图象分析及临床价值 .....              | 421 |
| 第十四章 | 泪道显象 .....                      | 435 |
| 第一节  | 泪道显象原理及方法 .....                 | 436 |
| 第二节  | 泪道显象图象分析及临床意义 .....             | 438 |

|                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 第十五章 胎盘显象.....                                                                                                   | 451 |
| 第一节 胎盘显象的原理及方法 .....                                                                                             | 451 |
| 第二节 胎盘显象的图象分析及临床价值 .....                                                                                         | 453 |
| 附录 .....                                                                                                         | 458 |
| 1. 显象常用的放射性核素表 .....                                                                                             | 458 |
| 2. 半衰期及放射性衰变的计算 .....                                                                                            | 459 |
| 3. 常用显象剂 .....                                                                                                   | 462 |
| 4. $^{99}\text{Tc}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器洗脱液放射性强度计算表 .....                                              | 467 |
| 5. $^{113}\text{Sn}$ - $^{113\text{m}}\text{Sn}$ 发生器 $^{113}\text{Sn}$ 衰变、 $^{113\text{m}}\text{Sn}$ 的生长率表 ..... | 468 |

# 第一章 闪烁照相机的工作原理及结构

## 第一节 概 况

闪烁照相机可以一次拍摄成放射性核素的分布图象。放射性核素的 $\gamma$ 射线经过准直(平行化或聚焦)进入闪烁体,闪烁体发出光子进入光电倍增管后转变成电信号,经过放大,以相应的闪烁位置,在示波器显象管荧幕上显示出光点;如果聚集足够数量的光点,即可显示出核素分布的闪烁图象。由此,所得的图象和闪烁扫描图相似,但以一次成象代替了逐点扫描。

1952年美国Hal O. Anger用针孔型准直器使碘化钠(铯)晶体转变 $\gamma$ 射线为可见光,并将对蓝光反应敏感的照相底片紧贴于碘化钠晶体上,用1毫居里/平方厘米的 $^{131}\text{I}$ 碘给予受检者后,曝光60分钟,得到了活体内甲状腺转移病灶的图象。接着1956年Anger根据上述原理设计成功了闪烁照相机,1958年开始将其应用于临床。1967年以后Anger照相机又有了改进并且不断完善,灵敏度和分辨率都得到了明显的提高。由于闪烁照相机的闪烁体大且配有成象装置,探头不需来回运动、逐点扫描,而在全部曝光时间内对整个观察到的视野都是敏感的,静态图象中各点间放射性强度的差异,接近真实情况。每次检查的时间可以很短,因此它比闪烁扫描更适用于短半衰期核素,不仅可以对某一器官作静态显象,而且能够连续动态摄影检查、分析器官的功能状态。它已成为现代临床核医学研究工作的新手段之一,为正确诊断疾病提供可

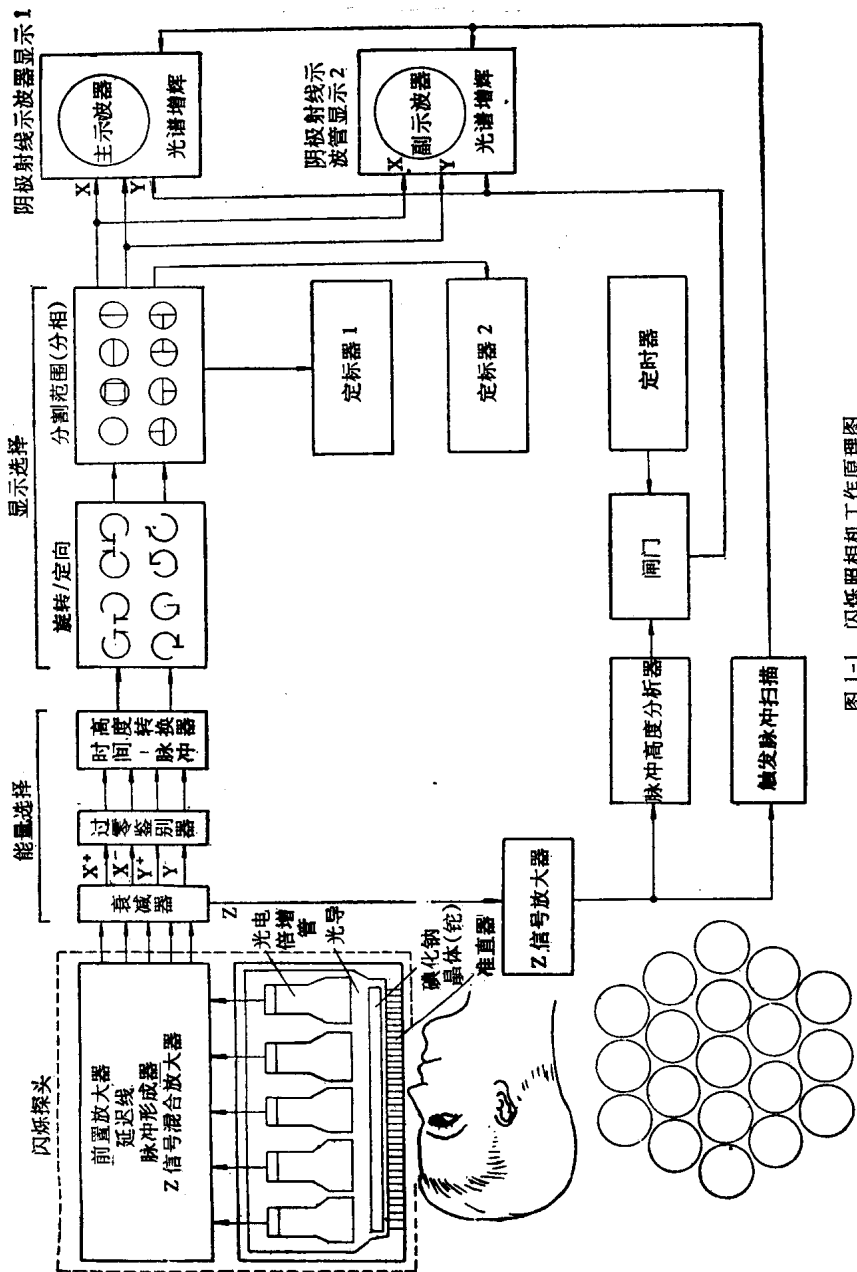


图 1-1 闪烁照相机工作原理图

19支光电倍增管呈六角形排列

靠的依据。

闪烁照相机的工作原理见图 1-1 (以 GCA102-3 型为例)。

## 第二节 闪烁照相机的主机结构

### 一、显象探测器

显象探测器(探头部分, image detector) 探头的作用是将脏器各位置  $\gamma$  射线所产生的闪烁光束,即位置坐标,通过探头放大电路变换成对应的时间关系 [Z-T 变换]。它由准直器、碘化钠(铯)晶体、光导、光电倍增管、放大、成形电路(电阻编码矩阵, X、Y 主延迟线、脉冲成形器和与能量成正比的 Z 混合放大器)等组成,见图 1-2 所示。

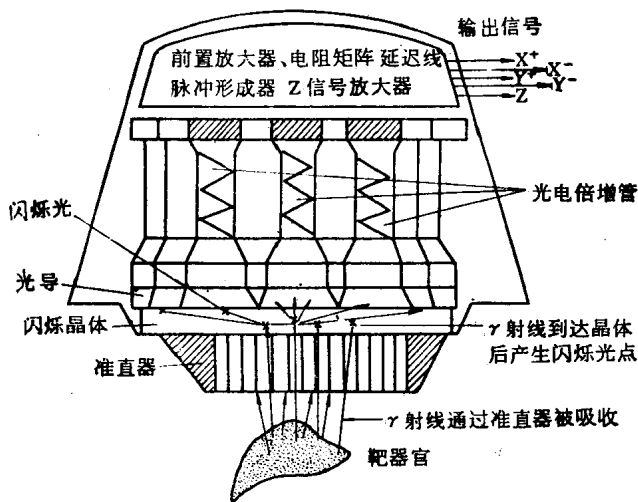


图 1-2 闪烁照相机显象探测器结构图

设有一靶器官放射出的  $\gamma$  射线,经准直器准直后,射入碘

化钠(铯)闪烁晶体内(直径  $12 \frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$  英寸), 并且激发出--

一定强度的荧光, 与后者辐射到闪烁体上的  $\gamma$  射线能量成正比。该光源向四周发射光子, 部分光子通过光导到达 19 支光电倍增管的光阴极上。显然最靠近闪烁光点的那支光电倍增管所接受的光子数最多, 随着光电倍增管与闪烁点的距离增加, 所接受的光子数逐渐减少。G. H. Kulberg 等试验表明, 若闪烁发生在最靠近闪烁点的光电倍增管之正下方, 则该管可接收 33% 的光子。而四周邻近的 6 支管, 每支管仅可接收 6% 的光子, 其余光子由剩余的 12 支光电倍增管所接收(以 140 keV 射线能量为例)。到达光阴极的光子, 经转换为电子并放大后成为光电倍增管的负脉冲输出讯号, 经前置放大器放大后, 送到电阻编码矩阵。此外, 将每支光电倍增管输出的讯号, 换转为 X 坐标的  $X^+$ 、 $X^-$ , Y 坐标的  $Y^+$ 、 $Y^-$  以及  $\gamma$  射线能量成正比的 Z 五个讯号, 其中  $X^+$ 、 $X^-$  讯号和  $Y^+$ 、 $Y^-$  讯号反映闪烁点的位置, 而 Z 讯号决定显示成象光点的强弱与数量。

## 1. 准直器 (collimator)

准直器主要由铅构成, 起决定脏器所发射  $\gamma$  射线的位置的作用, 为成象的重要部件。目前有单针孔型、平行多孔型、发散孔以及聚焦孔型等数种类型。

(1) 单针孔型准直器 (single pinhole): 单针孔型准直器的单一孔径约为 3—6 毫米。针孔内壁用钨合金, 周围用铅接合铸成。其成象大小主要与受检物体的距离有关; 距离近成象大, 反之成象小。其分辨率一般来说比平行孔准直器好。单针孔准直器的分辨率与孔径大小有关, 孔径缩小, 分辨率佳, 孔径增大, 分辨率差。探测的灵敏度与距离的平方成反比, 分

分辨率随距离的增加而变坏。一般可应用于小脏器显象,对甲状腺、副甲状腺、肾上腺等分辨较好。此外,单针孔准直器尚有缩小与扩大影象的作用,常用于两侧肺部、半身或全身照相。

(2) 多道平行孔型准直器 (parallel hole): 根据放射性核素辐射能量的差别,多道平行孔准直器又分为低能、中能、高能三种。通常低能准直器的孔数较高能准直器为多。低能准直器适用于核素能量低于 150 keV 的  $\gamma$  射线,准直器厚度为 20 毫米,孔数为 20000—42000 孔;高能准直器适用于核素能量高于 550 keV 的  $\gamma$  射线,准直器厚度大于 100 毫米,孔数为 1000—4000;中等能量准直器适用于核素能量为 150—410 keV 的  $\gamma$  射线,准直器厚度为 80 毫米,孔数为 8000—16000 孔。此外,根据准直器孔径大小与孔数多少之不同又有高分辨率或高灵敏度准直器之分。

多道平行孔准直器的孔径越小,分辨率越佳,准直孔的间隔厚度减少时,即孔的面积和间隔面积的比值增加时,灵敏度亦增加。在闪烁晶体上成象的比例为 1:1,影象的大小与靶器官和准直器之间的距离无关;在检查时,即使脏器病变的部位深度不明,仍可测定其大小。当闪烁摄影时,应尽可能地使多道平行孔准直器靠近病人,被检查部位距准直器越近,其分辨率越佳;如距离增加,分辨率就减低。平行孔准直器具有均匀的深度响应,即在空气中不同深度对放射源有相似的分辨率及灵敏度,但在组织中深度响应会受到组织的减弱而改变。

如图 1-3 所示,如果准直器静止不动时,由点状  $\gamma$  源放出的  $\gamma$  射线的强度分布具有不规则的形状。但是,如果准直器沿所示的方向移动,则投影在闪烁晶体上的  $\gamma$  射线的平均分布即呈三角形。假设点状源放射性强度最大值为  $o$  点,最大值呈直线下降到零点处为  $q$  点和  $q'$  点,则距离  $oq$  等于  $\gamma$  射线强度曲线上最大值全宽度的一半,它的长度为几何分辨

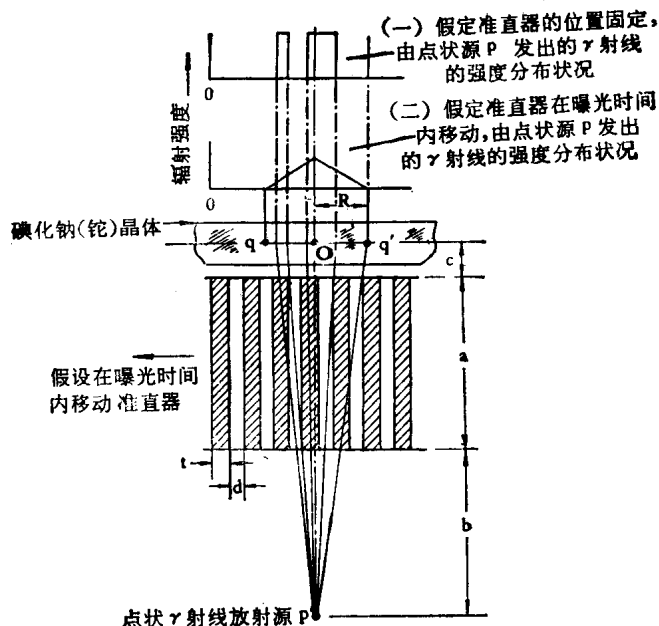


图 1-3 平行孔型准直器的剖面图(显示出  $\gamma$  射线的路径和照射在闪烁体上的区域)

率距离  $R$  (单位为厘米)。 $R$  可以由下列公式计算。孔径的宽度为  $d$ 、长为  $a$ ；间隔厚度为  $t$ ；被测物到准直器近端的距离为  $b$ ；晶体中心平面到准直器另一端的距离为  $c$ ，则：

$$R = \frac{d(a + b + c)}{a}$$

由公式可以看出，当距离  $d$ 、 $b$  和  $c$  为最小时，分辨率距离  $R$  也最小，即分辨能力最强。准直器的几何效率可由下列公式算出：

$$q = \left[ \frac{Kd^2}{a(d + t)} \right]^2$$

其中  $q$  为通过孔道的  $\gamma$  射线的数目与放射源放射出全部总数之比。散射的  $\gamma$  射线和任何穿过间隔的  $\gamma$  射线不包括在内。

应注意到  $q$  值与放射源和准直器之间的距离无关。常数  $K$  与孔的形状及其分布方式有关。对于正方形排列的正方形孔,  $K = 0.282$ ; 对于六角形排列的圆形孔,  $K = 0.238$ 。

灵敏度  $S$  的定义为在空气中 1 微居里的放射源每分钟在胶片上记录的点数: 
$$S = 2.2 \times 10^6 \epsilon fa \frac{K^2 d^4}{a^2 (d + t)^2}$$

$fa$  为  $\gamma$  射线的丰度因子 (abundance factor), 即每次衰变时放射出的一定能量的  $\gamma$  射线的数目。光电峰计数效率  $\epsilon$  的定义为脉冲高度分析器的窗宽调节在几乎接受全部光电峰闪烁光时, 入射到闪烁晶体上并在图象上产生一个光亮点的  $\gamma$  射线的百分率。 $\epsilon$  值可在文献中查得。用以上的公式, 已知放射源至准直器的距离、 $\gamma$  射线最大能量和欲得到的分辨率, 就能够设计出具有最佳孔直径、孔长度和间隔厚度的准直器。

(3) 发散孔型准直器 (diverging collimator): 这种准直器是近几年提出的, 可以扩大视野 10—20%, 适用于大器官(如两肺、肿大的肝脾及两肾区)摄影, 有时也用于拍摄高能  $\gamma$  射线在人体内的分布图象, 如用  $^{85}\text{Sr}$  进行骨骼闪烁照相等。准直器与病人的距离增加时, 视野亦增大。发散孔型准直器的灵敏度与分辨率均较多道平行孔准直器差。一般为 1200 孔, 具有负焦点, 适用于 410 keV 能量以下  $\gamma$  射线的放射性核素。

(4) 聚焦孔型准直器 (focus collimator): 聚焦孔型准直器是近年来设计制作的, 其结构与扫描用的聚焦准直器相似, 对深部病变有较高的分辨率, 与大视野闪烁器配合特别适用于检查颅脑深部病变, 如颅内中线结构、前颅窝、中颅窝、脑下垂体部位的肿瘤, 所获得的图象较用平行孔型准直器的图象清晰。

常用的四种准直器的剖面图见图 1-4。因准直器大且重, 为了便于操作置换, 每个准直器均备有活动支架, 更换准

表 1-1 几种类型准直器性能的比较

| 准直器类型            | 平行孔  | 高灵敏度 | 高分辨率  | 发散孔型    | 单针孔型 |
|------------------|------|------|-------|---------|------|
| 孔 数              | 1000 | 8200 | 20000 | 1400    | 1    |
| 厚度(毫米)           | 75   |      | 24    | 75      |      |
| 视 野              | 250  | 250  | 250   | 240 340 | 140  |
| 分辨率 (FWHM)       |      | 13   | 8     | 22      | 6.5  |
| 探测效率             |      | 3    | 1.4   | 0.5     | 0.5  |
| 适用于核素的能量范围 (keV) | >150 | <150 | <150  | 120—410 |      |

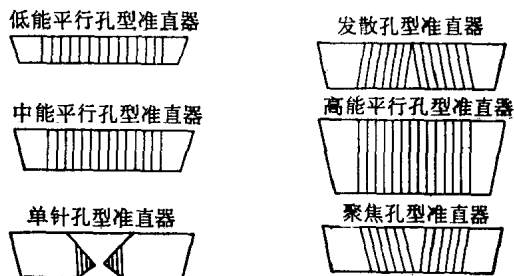


图 1-4 各种类型准直器的剖面图

直器时将活动支架推到探测器下面，用手动开关控制探测器上下运动。对 GCA 202 或 102 型的各种准直器的更换要注意导针对准导针孔；高能(或中能)准直器，单针孔准直器及发散型准直器用翼形螺丝而低能准直器用梅花形螺丝，务必拧紧固定之。

## 2. 碘化钠(铯激活)闪烁晶体 [NaI(Tl) crystal]

碘化钠(铯)晶体，无色而透明，其性质及用途与闪烁扫描机所用的一样，是从通过准直器之后的  $\gamma$  射线，产生与位置坐标一一对应的闪烁光点，其波长为 4230 埃( $\text{\AA}$ )。故要求碘化

钠(铯)晶体对 4230 埃的蓝光透明性好。它较大且薄,直径一般为 11.5—16 英寸,厚度为 0.5 英寸。晶体加厚时康普顿散射效应增强,分辨率差。若晶体增大,分辨率亦差,但用增多光电倍增管的方法可以提高分辨率。目前用于闪烁照相的碘化钠晶体最大直径为 511 毫米(厚 12.7 毫米)。碘化钠晶体封装于密闭的容器内,以防止潮解。温度骤变或剧烈震动,都易使碘化钠晶体碎裂。因此,要求室温恒定,温差每小时不得超过 3 度,最低温度为 10℃,最高不应超过 35℃,并应防止剧烈碰撞。

### 3. 光导 (light guide)

多为聚乙烯制成。把紧密组装的六角形排列的光电倍增管通过光耦合剂与碘化钠晶体耦合,使闪烁光点的闪光传输到光电倍增管的光阴极的极面上。光导的形状、大小、厚薄、结构对仪器的分辨率影响较大,设计时均有一定的要求。

### 4. 光电倍增管 (photomultiplier tubes)

光电倍增管的工作原理是:当  $\gamma$  射线在闪烁体中产生的荧光光子投射到光阴极上时所产生的光电子,经过聚焦极聚焦后,打在次阴极上而产生次级电子。次级电子经多次阴极-联极放大,最后在阳极上可以收集到许多电子,这些电子流在外接电阻 (R) 上形成一个较大的电压脉冲向外输出。光电倍增管的数目与大小由碘化钠晶体大小而定, GCA 102-3 型有 19 支双碱型光电倍增管(碘化钠晶体的直径为 311 毫米),而 GCA 202 型有 30 支双碱型光电倍增管(碘化钠晶体的直径为 410 毫米),均按六角形排列,并编上号码。光电倍增管的性能好坏直接影响闪烁照相机的灵敏度、分辨率、均匀度及线性。因此,除每支光电倍增管的大小和次阴极的