

剂量,放射性药物对研究药物在动物或人体中的毒性是很有用的试剂。除使用器官专一性放射性药物外,能自由扩散到各种生物组织的放射性示踪剂(如 $^{125}\text{I}$ -HIPDM)也用作体检诊断试剂。与毒性作用有关的药物放射性药物相互作用例子如表 2所示。

## 2.2 直接相互作用

表 3 直接反应的药物 放射性药物相互作用的例子

药物	放射性药物	生物学行为的影响
氢氧化铝	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -胶体	胶体在肺中聚集
铁葡聚糖(肌注)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -磷络合物	在注射部位聚集
铁胶体溶液(静注)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -磷络合物	肝扩散摄取
地高辛	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -RBC	降低标记率
肝素	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -RBC	降低标记率,增加肾摄取排泄

(收稿日期: 1997-03-03)

# 准直器的选用对图像的影响

佛山市第一人民医院影像科(广东, 528000) 贺小红综述 李小华\* 审校

摘要: 简述了准直器的分类、性能指标和准直器的制造工艺对图像的影响; 详细介绍了临床实践中各类准直器的选用及其优缺点。

关键词: 准直器 SPECT 分辨率 灵敏度

放射性核素显像设备中,准直器的作用在于规定从病人体内发射出来的射线入射探头的方向。准直器的种类和性能限定了它们的使用范围,因此其选用正确与否,将直接影响最终图像的质量。

## 1 准直器的分类

根据准直孔排列的几何形状、适用的射线能量以及分辨率和灵敏度三种情况,准直器可分为: 平行孔型、针孔型、聚焦型和发散型; 低能型、中能型和高能型或超高能型; 通用型、高分辨型和超高分辨型; 高灵敏型和超高灵敏型。

此外,澳大利亚 R & D公司推出了一种环形准直器。这种准直器内部由不同结构的准直段组成,在环内形成不同形式的视野,供不同显像目的用。环内还有穿透源,用作穿透衰减校正。Koss等<sup>[1]</sup>介绍了一种由针孔型改造而成的混合型准直器,并用心脏模型证明其断层性能是可以接受的(FWHM = 12mm)。

## 2 准直器的性能指标

良好的准直器性能是获得高质量图像的必要条件之一。其评价指标主要包括: 准直器的分辨率、灵敏度、视野和适用的能量范围。

\* 广州军区广州总医院(广东, 510010)

此外,平面系统均匀性和线性也可以间接地反映准直器的质量。如果用相同的成像条件和计算方法来测试,固有均匀性和线性与系统均匀性和线性不应有明显的差异。平面系统均匀性和线性是反映准直器制造质量的非常灵敏的指标,准直器的非均匀性在 SPECT 图像的重建过程中会被放大并产生伪影,将严重影响图像质量,而目前公认的 NEMA (美国电气制造商协会)标准尚未将单晶体闪烁相机的这两项指标列入验收测试。为了客观地评价准直器的质量,用户应重视对系统性能的验收测试。

准直器分辨率反映准直器对相邻两点源的分辨能力,常以点源响应函数的 FWHM 来衡量;灵敏度以在某种脉冲高度分析器窗宽下的系统平面灵敏度来表示;准直器的视野是指射线能通过其入射到晶体面的区域;低能、中能和高能或超高能准直器分别适用于 150keV 以下、150~350keV 和 350~511keV 的射线,如果选用的准直器与核素能量不匹配,必将影响显像速度和图像质量。

准直孔直径、有效孔深(准直器厚度)、孔间壁厚度等几个参数同时影响着准直器的分辨率和灵敏度。Ogawa 等<sup>[2]</sup>认为: SPECT 重建图像中的模糊度随准直孔的变化具有“位移变异(Shift-Variant)”的特征,且与准直孔外形(孔径和孔深)以及靶器官到准直器面的距离有关。他们介绍了根据“理想投影值”与“实测投影值”之间的比率,用迭代算法校正这种模糊度的方法,其模拟结果表明:在不放大因统计学噪音引起的伪影的同时,改善了分辨率。准直器的分辨率限制了图像的对比度;而总计数与灵敏度有关,决定着图像的信噪比。可见,这两项指标是一对矛盾,又都会影响图像的定量分析结果。

### 3 准直器的制造工艺对图像的影响

目前,准直器的制造方法有两种。一种是铅箔片折叠压制法,此法很难保证折叠成形

后的铅箔片对合一致,图像中容易产生星状伪影;另一种是铅熔液浇铸法,此法保证了准直孔形状和孔间壁厚度的一致性,消除了孔的偏心性、射线泄漏和星状伪影。Blend 等<sup>[3]</sup>认为:最佳的核医学显像条件要求准直器的均匀性与校正后闪烁相机的固有均匀性一样好。他们通过多家用户的对比研究后证明,多数铅箔片折叠压制的准直器产生了伪影,而铅熔液浇铸的准直器几乎没有伪影产生。

准直孔的几何形状有矩形、正方形、圆形和六边形四种。目前,六边形孔较其它几种多用。不同类型准直器的准直孔的排列方式不同,射线到达晶体后产生的位置信号决定了物像关系和图像的形状。当准直器尽可能靠近靶器官时,平行孔准直器不会放大或缩小图像;用针孔型准直器获得的图像是倒置的,其图像的大小随靶器官到准直器外口的距离而变化,这类准直器兼有放大和/或缩小图像的功能;聚焦型准直器都将图像聚焦于准直器面对侧的特定位置上,焦距随不同的设计使用目的而不同,这类准直器对图像都有放大作用;发散型准直器与聚焦型相反,具有缩小图像的功能。

## 4 各类准直器的选用及其优缺点

准直器的选择首先应该适合于所用核素的能量范围,在此基础上,根据靶器官的位置、显像方式及显像目的作综合考虑。Rosenthal 等<sup>[4]</sup>认为,一旦用作显像的核素能量被确定,如果要对图像进行定量分析,就应当选用适合于该能量的最高分辨率准直器来采集图像,其目的在于提高信噪比,增加准确性。

### 4.1 平行孔型准直器

平行孔型准直器的显著优点在于:当探头尽可能贴近靶器官时,不会使图像产生失真。特别是矩形大视野平行孔低能通用型准直器,在设计上兼顾了各项性能指标,是每台闪烁相机或 SPECT 仪的必备准直器,适合于各类静态和动态显像。但是,由于其灵敏度

与分辨率折衷的局限性,用这类准直器获得的 SPECT 图像质量尚不如针孔型或聚焦型者。为了减少靶器官到准直器外口的距离以改善分辨率, Kimiaei 等<sup>[5]</sup>设计了一种平行孔平面弧形准直器,与传统的平行孔型准直器作对比研究后证明:这种准直器既改善了图像的空间分辨率,又降低了断层图像中的非各向同性的模糊度。不过,由于准直器视野的中央薄而周边厚,其灵敏度是不均匀的,由此引起的误差对重建后 SPECT 图像质量的影响有待于进一步研究。O'Connor 等<sup>[6]</sup>认为,理论上,垂直平行孔准直器的孔道与晶体面是垂直的,但由于加工工艺等因素往往有些误差,这将直接影响到旋转中心(COR),进而影响 SPECT 图像质量。其最简单的检测方法是:沿点源到准直器面的不同距离多次测量 COR 所有测得值的最大变化不应超过  $\pm 1.0\text{mm}$ 。

#### 4.2 针孔型准直器

由于这类准直器对不同深度的组织器官,甚至同一器官的不同层面具有不同的放大倍数,一般认为不宜用作大脏器或深部病灶的平面和 SPECT 显像,但对于体积小而表浅的器官(如甲状腺)或作儿科核素显像时,只要将焦距调整合适,用针孔型准直器能获得很好的静态图像分辨率。Wang 等<sup>[7]</sup>认为:目前的高能平行孔型准直器用作脑<sup>18</sup>F-DG SPECT 显像时达不到空间分辨率少于  $1\text{cm}$  的要求,而且孔间壁影像的显现还产生了环形伪影。他们通过模拟试验证明了用高能针孔型准直器作<sup>18</sup>F-DG SPECT 脑显像是可行的。但是, Jaszczak 等<sup>[8]</sup>研究了用针孔型准直器作 SPECT 显像后发现,存在约  $1\text{mm}$  的旋转中心漂移或机械性位移,并因此产生了环形伪影。通过修改重建校正参数,能够校正这些环形伪影并恢复系统分辨率。

#### 4.3 聚焦型准直器

这类准直器包括扇形和圆锥形,常用来提高 SPECT 显像的灵敏度。扇形准直器是

最常用的一种。厂家常提供两种扇形准直器:一种用作心肌 SPECT 显像,着重提高灵敏度,空间分辨率也较好;另一种用作脑 SPECT 显像,着重提高空间分辨率。经研究证明:聚焦型准直器在提高了灵敏度的同时,也改善了空间分辨率,特别是配合多探头系统作心脏和脑等小脏器 SPECT 显像,获得的图像质量明显优于单探头系统;但由于横轴方向上的放大作用,使图像产生了失真,故不宜用作平面显像。Stewart 等<sup>[9]</sup>在三探头系统上,用平行孔型准直器的标准方式与扇形准直器的同时穿透-发射方式比较了心肌显像结果后,再与 PET 心肌显像进行比较,结果表明:用扇形准直器作同时穿透-发射方式心肌显像,有效地减少了 SPECT 图像的衰减伪影,与 PET 图像更具可比性。但是,聚焦型准直器的聚焦准确与否,将直接影响图像的质量,而用户往往是根据厂家提供的说明书的方法来获得图像,无法确定扇形准直器的聚焦质量是否符合要求。O'Connor 等<sup>[6]</sup>认为,与扇形准直器有关的潜在问题是:重建软件识别扇束形数据的不充分性。其最简单的检测方法是重建点源图像,从点源分辨率的变化中可以观察扇束形数据改变后对图像的影响。Liu 等<sup>[10]</sup>分析了实验数据后推断:扇形准直器存在较小的聚焦偏差,根据各点群集概率散度的标准差,其大小在横轴方向大约为  $2\sim 3\text{mm}$ ,但这些偏差在 SPECT 重建图像中的影响还有待于进一步研究。Loncaric 等<sup>[11]</sup>也认为,扇形准直器聚焦点绝对位置的微小偏差都将降低图像质量或产生伪影。他们介绍了一种沿轴向放置多条线源取样检测法,对扇形准直器进行验收测试。

与其它类型相比,圆锥形准直器也能在相似分辨率的情况下提高灵敏度,但用它做三探头脑 SPECT 显像时,图像的底部常产生“截尾效应”。Li 等<sup>[12]</sup>报告了一种聚焦于脑底部的半圆锥形准直器,在三探头系统上,在相似分辨率和相同显像条件下,用脑模型分

别与扇形和平行孔型准直器作对比研究显示,这种准直器不仅进一步提高了灵敏度,改善了空间分辨率,还去除了“截尾效应”,改善了脑 SPECT 图像。不过,在距离中心层一定位置上的图像出现了模糊和变形,这需要修改重建算法来加以校正。

#### 4.4 高能准直器

近年来,国内外学者用配置高能或超高能准直器的普通 SPECT 仪作  $^{18}\text{F-DG}$  显像研究,已经取得了积极的成果。Zeng 等<sup>[13]</sup>用高能平行孔准直器研究了脑  $^{18}\text{F-DG}$  SPECT 显像的可能性。他们分别用滤波反投影算法和迭代算法重建图像后表明:用后者重建得到的图像质量明显优于前者,并认为要得到有用的图像,须校正准直器几何点响应函数,它与有效孔深有关。Leichner 等<sup>[14]</sup>在三探头系统上配置超高能准直器研究了  $^{18}\text{F-DG}$  SPECT 显像的临床价值,获得了较好的图像质量,并认为这类准直器具有最小的孔间隔穿透率。Patton 等<sup>[15]</sup>在双探头系统上分别配置高能平行孔型和扇形准直器进行  $^{99\text{m}}\text{Tc-MIBI}$  和  $^{18}\text{F-DG}$  双核素单独采集显像,也得到了可接受的诊断图像,并认为平行孔准直器适合于心脏和肿瘤显像,而扇形宜用作脑显像。Martin 等<sup>[16]</sup>用  $^{18}\text{F-DG}$  做 SPECT 与 PET 显像检测恶性肿瘤的比较研究后认为:SPECT 有空间分辨率和灵敏度方面的不足,但能帮助鉴别肿瘤的良好性。Turkington 等<sup>[17]</sup>认为,在传统的闪烁相机上配置高能准直器获得的  $^{18}\text{F-DG}$  SPECT 图像,因射线的穿透率较高,不宜作定量评价。

#### 4.5 发散型准直器

这类准直器主要是在小视野闪烁相机上做大器官或全身显像时用来“扩大”探头的视野。随着大视野探头的推广,这种准直器在临床工作中已很少应用。

综上所述,在充分利用各类准直器特性

的同时,不能忽视准直器对图像质量的影响,更不能片面地追求高的分辨率或灵敏度,多数学者认为必须是二者的最佳折衷方案,但是,实际工作中往往有所侧重。例如,全身骨显像宜选用大视野低能平行孔高分辨型准直器;以规定计数方式进行 SPECT 显像时,用高分辨准直器能获得良好的图像质量;聚焦型准直器的视野都比较小,但灵敏度高,分辨率也较高,适合于心脏、脑等较小器官的 SPECT 显像;快速动态显像则选用平行孔高灵敏型准直器比较合适。

#### 参 考 文 献

- 1 Koss JE et al. J Nucl Med, 1995; 36(5) Suppl 109P
- 2 Ogawa K et al. Ann Nucl Med, 1996; 10(1): 33-40
- 3 Blend M J et al. J Nucl Med Technol, 1995; 23(3): 167-172
- 4 Rosenthal M S et al. J Nucl Med, 1995; 36(8): 1497
- 5 Kimiaei S et al. J Nucl Med, 1996; 37(8): 1417-1421
- 6 O'Connor M K et al. Semin Nucl Med, 1996; 26(4): 272-275
- 7 Wang H et al. J Nucl Med, 1996; 37(5) Suppl 120P
- 8 Jaszczak R J et al. Phys Med Biol, 1994; 39(1): 165-176
- 9 Stewart R et al. J Nucl Med, 1995; 36(5) Suppl 169P
- 10 Liu J et al. J Nucl Med, 1996; 37(5) Suppl 207P
- 11 Loncaric S et al. J Nucl Med, 1995; 36(5): 109P
- 12 Li J et al. J Nucl Med, 1996; 37(3): 498-502
- 13 Zeng GL et al. J Nucl Med, 1995; 36(5) Suppl 167P
- 14 Leichner PK et al. J Nucl Med, 1995; 36(8): 1472-1475
- 15 Patton JA et al. J Nucl Med, 1995; 36(5) Suppl 167P
- 16 Martin W H et al. Radiology, 1996; 198(1): 225-231
- 17 Turkington T G et al. J Nucl Med, 1995; 36(5) Suppl 18P

(收稿日期: 1997-05-22)