

试中叙述源容器的制造精度及其材料,对于测试的准确性及重复性至关重要。经过细心的设计,使源的容器尽可能简单,并与测试时的精确度和准确度的要求相一致。

除非特别说明,各个方向的误差应该在10%以内。

1.3.2 放射源

需要多种不同形状和活度的放射源,主要为 ^{99m}Tc 、 ^{57}Co 在一些测试中可替代 ^{99m}Tc 。在多窗空间配准度的测试中要用 ^{67}Ga 。

在多晶体的一些测试中推荐用 ^{241}Am 点源。一般讲,如果所用的放射性核素能清晰地反映测试,也可用其来替代。应该注意的是,此处举出的一些源,应用时需要特别的执照。

1.3.3 测试条件

所有的测试应在与临床应用条件相一致

的情况下进行,并进行适当的校正:能量、线性和均匀性校正及正常计数率状态。

如果已有视野均匀性、能量或线性校正的话,所有的测试应在这些校正电路的基础上进行,并标明结果。所用的能窗也需指定。

任何附加测试,与上述测试条件或参数有变异的情况时,应分别说明,变异度应明确地指出。

如果为了质量保证(QA)或其它原因,制造商应用了本标准以外的放射性核素,应该阐明实际所用核素与标准测试所用的核素间的示踪能力的差异。

1.3.4 报告格式

报告特定的标准测试时,应标明“最差值”、“比较……好”、“最好”。在次级标准中,应报告测试项目的典型值。

单晶体闪烁相机测试方法:性能标准

佛山市第一人民医院核医学科(广东,528000) 贺小红译 陈盛祖*审校

摘要:这是NEMA标准的第二部分。包括:①单晶体闪烁相机固有空间分辨率测试方法;②单晶体闪烁相机固有空间线性测试方法;③单晶体闪烁相机固有能量分辨率测试方法;④单晶体闪烁相机固有泛源均匀性测试方法;⑤单晶体闪烁相机多窗空间配准度测试方法。

关键词:单晶体闪烁相机 固有性能 NEMA标准

2.1 固有空间分辨率

固有空间分辨率应作为机器的一项性能标准来测试。

2.1.1 测试条件

测试所用的核素为 ^{99m}Tc 。在不影响点源到探头的射线通量的条件下,放置放射源的容器应对墙壁、天花板和工作人员屏蔽,如图2-1所示。分析器的窗宽应在光电峰20%中心处。通过能窗的计数率不超过20kcps。

2.1.2 测试设备

测试设备由贴近晶体并覆盖整个视野的铅栅模型构成,模型内开有若干宽1mm的平行线槽,相邻两条线槽中心之间的距离为30mm(见图2-2,该图为一矩形铅栅的几何形状)。对于 ^{99m}Tc ,铅屏蔽的厚度要求为3mm。

2.1.3 测试步骤

将平行线槽铅栅置于相机探头上,线槽中心垂直于测量轴。点源须位于测试模型正中上方,其与模型之间的距离至少为UFOV范围内最大直线长度的五倍以上。垂直于线

* 中国医学科学院肿瘤医院核医学科(北京,100021)

槽的数字分辨率应 ≤ 0.1 FWHM,平行于线槽的数字分辨率应对应于一个道的宽度, $\leq 30\text{mm}$ 每个线性扩展函数(LSF)的测定,要求在每道能峰上最少采集 1000个计数 应测出线性扩展函数的 FWHM和 FWTM的值

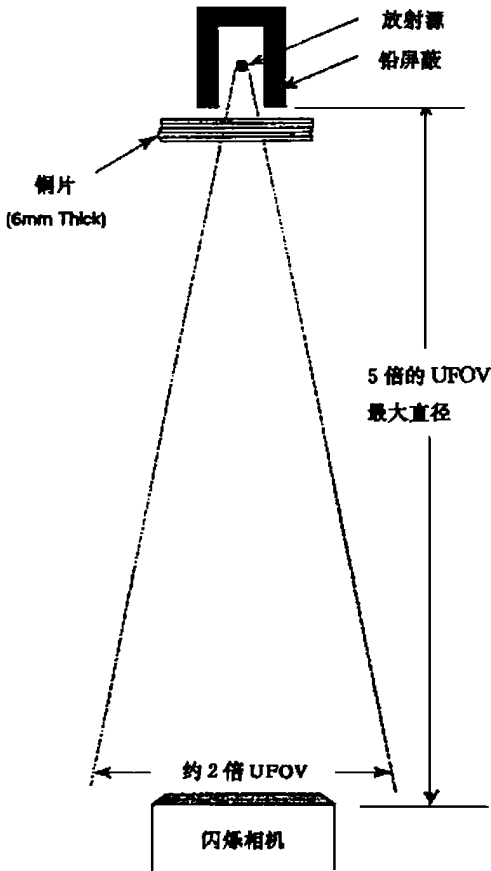


图 2-1 准直源的图示

2.1.4 计算和分析

如果垂直于线槽的数字分辨率 ≤ 0.1 FWHM,以像素的最大值作为峰值;如果垂直于线槽的数字分辨率 ≥ 0.1 FWHM,需要用每个线性扩展函数的峰点及其最近两点进行三点抛物拟合,由此拟合抛物曲线的最大值来确定峰值(见图 2-3)

最大值的一半和 1/10的位置,应根据线性插值法,以每个线性扩展函数曲线的峰值为最大值,分别由半峰值和 1/10峰值处相

近两点来确定(见图 2-3)。

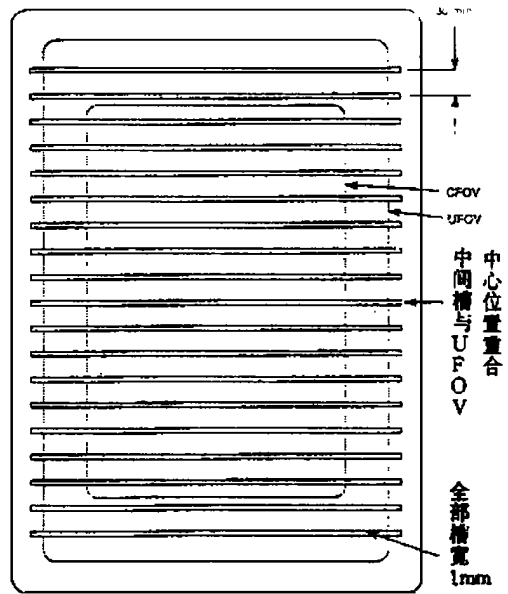


图 2-2 测试空间分辨率和线性的铅模

在整个 UFOV 内,对毗邻峰间的距离进行平均,以决定道校正因子的毫米数。计算的平均值应与两线槽间的距离相对应,为 30mm 道校正因子用于将计算的 FWHM和 FWTM 值由道数值转换成每道毫米数 FWHM和 FWTM 的值分别为在 UFOV和 CFOV 内所有轴的平均值,所测得值不作本底或槽宽校正

2.1.5 报告格式

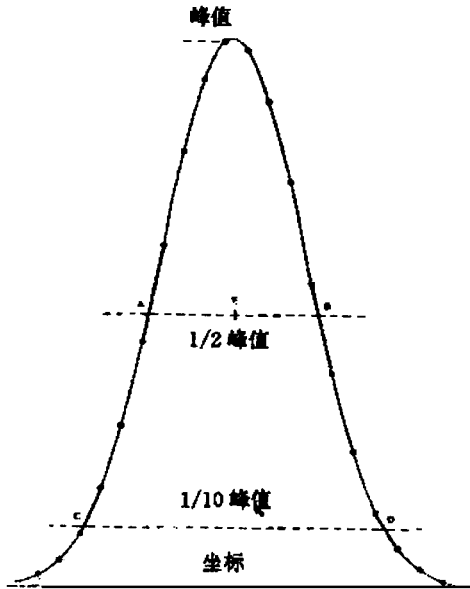
计算出的核素 ^{99m}Tc 的 FWHM 和 FWTM 平均值,应作为 UFOV 和 CFOV 的性能标准来报告,单位为 mm,精确度至少为 0.1mm

使用其它核素时应分别说明 在 $> 20\text{k cps}$ 计数率情况下进行测试时,也应分别说明

2.2 固有空间线性

固有空间微分线性和绝对线性都应作为性能标准来测试。微分线性应以最佳拟合曲线峰值位置的标准差的毫米数表示 绝对线

性以二维间隔最佳拟合峰值的最大位移来表示。



A B和 C D点用线性插值法算出。
B- A= FWHM, D- C= FWTM
 $\frac{A+B}{2} = E$ 峰中心值,注: E不一定与峰值重合。

图 2-3 确定 FWHM 和 FWTM

2.2.1 测试条件

测试所用核素为 ^{99m}Tc 。在不影响点源到探头的射线通量的条件下,放置放射源的容器应对墙壁、天花板和工作人员屏蔽,如图 2-1所示。分析器的窗宽应在光电峰 20% 中心处。通过能窗的计数率不超过 20kcps。

2.2.2 测试设备

测试设备由贴近晶体并覆盖整个视野的铅栅模型构成,模型内开有若干宽 1mm 的平行线槽,相邻两条线槽中心之间的距离为 30mm(见图 2-2,该图为一矩形铅栅的几何形状)。对于 ^{99m}Tc ,铅屏蔽的厚度要求为 3mm。

2.2.3 测试步骤

将上述铅栅的中心线槽置于探头的中心位置。中心槽与测量 x 轴垂直,调准 UFOV 边缘在 $\pm 1\text{mm}$ 范围内。

核素点源位于测试模型的正中上方,其与模型间的距离至少为 UFOV 内最大直线长度的五倍。

垂直于线槽的数字分辨率应 ≤ 0.1 FWHM。

数据在平行于线槽的方向上进行积分,形成各线槽的线性扩展函数。平行于线槽的数字分辨率应 $\leq 30\text{mm}$ 。在平行于线槽的方向上进行总和后测定各条线性扩展函数,每道能峰上至少采集 1000 个计数。

分别在 x 方向和 y 方向上采集数据。

2.2.4 计算和分析

如果数据是在一个二维空间获得的,须将数据总和为平行于线槽方向, $\leq 30\text{mm}$ 宽的线性扩展函数。

每个线性扩展函数的峰值位置取决于插值法求得的能峰两侧的半高位置的平均值。半高位置由最邻近半峰位置的两点用线性插值法求出,参照第 2.1.4 节。每个线性扩展函数应有相应的峰值位置,这样可产生一个二维的峰值阵列,其中一组平行于线槽方向,另一组与其垂直。注意有两组二维阵列,分别来自线槽 x 轴方向和 y 轴方向的数据。

计算出的固有空间微分线性(以像素为单位),作为各个线槽峰值位置的标准差变异性。线槽在 x 和 y 方向上的标准差相加后平均。分别计算出在 UFOV 和 CFOV 上的每个值。

绝对线性的计算方法:用最小二乘方简化方法,拟合一个二维正交方格的等空间点距离,得出固有空间绝对线性。不同的方格应分别与 CFOV 和 UFOV 的数据相匹配。自线槽 X 轴和 Y 轴上获得的数据应分格来计算。每个的最大位移应该是数据与方格的匹配间在 X 或 Y 方向的最大差异。

2.2.5 报告格式

固有空间的微分线性应作为 UFOV 和 CFOV 的性能标准来报告。以 mm 为单位,精确度至少为 0.1mm。

固有空间微分线性与绝对线性都应作为 UFOV 和 CFOV 的性能标准来报告。以 mm 为单位,精确度至少为 0.1mm

2.3 固有能量分辨率

作为性能标准,固有能量分辨率用光电峰的半高宽的 keV 值与光电峰中心能量 keV 值的百分比来表示

2.3.1 测试条件

测试所用的核素为 ^{99m}Tc 在不影响点源到探头的射线通量的条件下,放置放射源的容器应对墙壁、天花板和工作人员屏蔽,如图 2-1 所示。探头上覆盖 3mm 厚的铅环以确定 UFOV。整体计数率不能超过 20kcps

2.3.2 测试设备

测试设备包括用至少 10kcps 计数的道深,将能谱数字化的方法,数字分辨率 ≤ 0.05 FWHM 的 ^{99m}Tc 光电峰。

2.3.3 测量步骤

放射性核素点源置于测试模型的正中上方,其与模型之间的距离至少是 UFOV 范围内最大直线长度的五倍。另一种放射性核素 ^{57}Co 作为参考以确定每道校正因子的 keV。分别存储 ^{99m}Tc 和 ^{57}Co 的能谱,每个能谱测试峰道内至少有 10k 计数

2.3.4 计算和分析

对于存储的每个能谱,用线插值法,由光电峰每侧的半高道数平均值来确定光电峰的位置(见图 2-3)。两个光电峰道数位置差异应相当于 18.4keV,即 140.5keV 的 ^{99m}Tc 与 122.1keV 的 ^{57}Co 的光电峰中心能量间的差值。固有能量分辨率应由存储的 ^{99m}Tc 能谱曲线求出。FWHM 的道数由线性插值法的半高道数值求出,光电峰两侧要分别计算。该值应乘以每道校正因子的 keV 后被光电峰能量值(140.5keV)来除,再乘以 100,用百分数来表示。

2.3.5 报告格式

作为性能测试指标,应报告在 UFOV 内

计算出的放射性核素 ^{99m}Tc 的固有能量分辨率,用百分数来表示

应分别说明所用的任何其它放射性核素。

任何在高于 20kcps 计数率状态下的测试亦应分别说明。

2.4 固有泛源均匀性

固有泛源均匀性为 CFOV 和 UFOV 的一项性能指标

固有泛源均匀性是系统在无准直器的情况下,对来自点源均匀通量辐射的反应。要确定两个不同的均匀性参数:积分均匀性和微分均匀性。积分均匀性表示在 CFOV 或 UFOV 内的最大像素计数偏差。微分均匀性表示在 CFOV 或 UFOV 内,在限定相当于光电倍增管大小的范围内的最大变化度。

2.4.1 测试条件

测试固有泛源均匀性所用的核素为 ^{99m}Tc 。若用其它放射性核素则应分别标明。通过 20% 光电峰对称窗宽的计数不超过 20 kcps。结果应标明均匀性校正的测试状态

2.4.2 测试设备

本测试需要一个放射源的容器。确定探头 UFOV 的铅环。计算机或多道分析仪。源置于铅屏蔽的容器内,以屏蔽来自后方及边缘的散射,前方开放,不影响由点源至探头的 γ 光子流(源装置物见图 2-1)。探头铅环内径的大小相当于 UFOV。

2.4.3 测试步骤

将上述的铅环置于探头上。容器内的源应在探头的中心轴上,与探头间的距离至少为 UFOV 最大直线长度的五倍。泛源图像需存储在一个能产生 $6.4\text{mm} \pm 3\%$ 方形象素的矩阵内。

图像的中心像素内至少有 10 kcps 计数。

2.4.4 计算和分析

在计算均匀性之前,先按下述方法计算

出所包含的像素数。

首先,任何在 UFOV 边缘采集的计数,若低于 CFOV 内像素计数均值的 75%,设定为零。

其次,任何像素若其紧邻的四个点之一的计数为零,则这些像素的计数亦设定为零。余下非零像素纳入 UFOV 的分析中。

此步骤仅操作一次。任何像素至少要有 50% 的区域在 CFOV 内才能被纳入 CFOV 的分析中。

2.4.4.1 数据准备

扣除边缘像素后,泛源图像数据用以下 9 点加权滤波函数进行一次卷积平滑:

1	2	1
2	4	2
1	2	1

分析范围以外像素的 9 点滤波函数的加权因子为零。用平滑后的值除以非零加权因子之和来进行归一化处理

2.4.4.2 积分均匀性

在 CFOV 和 UFOV 内所有平滑后的数据中找出最大和最小像素值。最大及最小值的差值除以二者之和,再乘以 100%,即:

$$\text{积分均匀性} = \pm 100\% [(Max - Min) / (Max + Min)] \quad (1)$$

2.4.4.3 微分均匀性

在 CFOV 和 UFOV 内,计算同行或同列的 5 个相邻像素中任何两像素间的最大差值。要在 x 轴和 y 轴两个方向分别计算,最大变化以百分数表示,见下式:

$$\text{微分均匀性} = \pm 100\% [(Max - Min) / (Max + Min)] \quad (2)$$

平滑后的数据视为一些行(x 切面)和列(y 切面)。处理每个切面时,以其相应视野起始像素为处理的起点。在该组 5 个相邻像素内找出最大和最小值。然后,向前推进一个以分析下一组 5 个像素,再确定百分均匀性。如此重复,直至最后一个像素。这样,找出该切

面的最大微分均匀性。在所有切面上重复上述处理过程。

2.4.5 报告格式

结果作为次级标准报告,表示 CFOV 和 UFOV 的积分和微分均匀性的百分数。

2.5 多窗空间配准度

多窗空间配准度应作为性能标准来测试和报告。多窗空间配准度特性是相机通过不同光电峰能窗显像时,对不同能量光子准确定位的能力。测试应在闪烁相机入口面 9 个特定点上进行。

2.5.1 测试条件

^{67}Ga 为用于多窗空间配准度测试的核素。通过 20% 光电峰对称能窗的计数率不能超过 10kcps

2.5.2 测试设备

带圆柱形孔道的铅容器可用来准直 ^{67}Ga 源。该孔道直径为 5mm,长 25mm 图 2-4 为这种容器的略图。

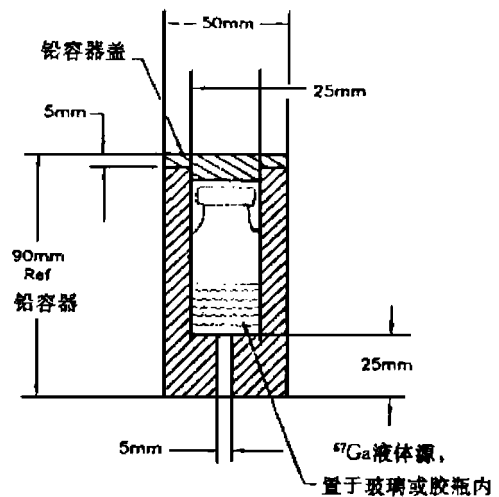


图 2-4 圆柱形的 ^{67}Ga 铅容器,液体源置于容器内

2.5.3 测试步骤

利用上述准直的 ^{67}Ga 源(见图 2-4)进行显像,将源放置在未准直的相机入口面上固定 9 点位置。这 9 点为原点, x 轴及 y 轴上各

4点 原点外的各点分别位于由 UFOV中心至边缘的 0.4及 0.8倍视野处 对各个不同影像位置所准直的⁶⁷Ga源,需通过不同光电峰能窗采集 用于图像采集的象素尺寸不大于 2.5mm 对相机的两个能窗,每点采集得到两帧图像:一帧用 93keV 光电峰,另一帧用 300keV 光电峰 对于有三个以上能窗的相机,还要采集 184keV 光电峰上的影像 在每个光电峰影像上,每个峰值象素至少应采集 1000计数。

2.5.4 计算和分析

计算光电峰影像上每个测量点自 x 及 y 轴方向上的计数中心位移 分析某一光电峰影像时,将每个光电峰影像的最大计数象素置于矩形感兴趣区(ROI)中。矩形 ROI的象素大小约为所分析图像计数剖面图 FWHM 的 4倍。每个图像分别在 y 轴上叠加,以确定 x 轴方向的计数剖面图;在 x 轴上叠加,以确定 y 轴方向的计数剖面图。按照下述方法找出每个图像在 x 或 y 轴方向的计数剖面图的计数中心点。最大象素位移采用 2.1.4 中描述的毫米象素准确校正方法,转换成毫米单位。

2.5.4.1 计数中心点的测定方法

每个光电峰计数剖面图在 x 和 y 轴向上计数中心点的大小按照下述方法计算 在整合 x 和 y 轴的计数剖面上找出最大计数象素,利用下式计算计数中心点:

$$L_j = \sum_{i=1}^n (X_i \times C_i) \sum_{j=1}^n C_j \quad (3)$$

L_j : 在能窗 j 处计算的计数中心位置, j 可为 1 2或 3; X_i : 在第 i 个位置 x 或 y 轴计数剖面图的象素; C_i 在 X_i 或 Y_i 位置的计数; $\sum_{j=1}^n C_j$: 以最大计数剖面象素为中心的奇数计数剖面象素的总和。

准确的奇数象素将根据计数剖面的 FWHM 和象素大小而定。此象素总和中的最小象素数应包括左右两侧的半最大计数。

在能窗 i 和 j 间的位移 D_{ij} 即为:

$$D_{ij} = |L_i - L_j| \quad (4)$$

最大位移即为最大的 D_{ij} 值

2.5.5 报告格式

多窗空间配准度以所测定的 9点在 x 或 y 轴上光电峰计数中心的最大位移来表示 该测试方法以毫米为单位,精确度为 0.1mm

单晶体闪烁相机测试方法: 次级标准

中山医科大学第一附属医院核医学科(广州, 510080) 岳殿超译 陈盛祖* 审校

摘要: 这是 NEMA 标准的第 3 部分。包括: ① 单晶体闪烁相机空气中固有计数率特性测试方法; ② 单晶体闪烁相机散射情况下系统计数率特性测试方法; ③ 单晶体闪烁相机 75kcp/s 的固有空间分辨率测试方法; ④ 单晶体闪烁相机 75kcp/s 的固有泛源均匀性测试方法; ⑤ 单晶体闪烁相机有或无散射状态下系统空间分辨率测试方法; ⑥ 单晶体闪烁相机系统平面灵敏度测试方法; ⑦ 单晶体闪烁相机探头屏蔽性能测试方法。

关键词: 单晶体闪烁相机 计数率特性 系统性能 NEMA 标准

3.1 空气中固有计数率特性

用衰变源的方法测试计数率性能, 报告观察到的 20% 计数丢失率和最大计数率。这

两个参数均未考虑散射。由此, 观察曲线可得出相应的输入计数率

3.1.1 测试条件

* 中国医学科学院肿瘤医院核医学科(北京, 100021)