

文章编号: 1001-098X(2003)03-0118-05

NEMA 标准 (2001 版) 新增内容

贺小红 冯彦林

编者按: NEMA (美国电器制造商协会) 公布了 2001 年版本的闪烁相机性能测试方法 (即 NEMA 标准)。该标准在 1994 年版本的基础上, 主要针对双探头 SPECT 性能测试增加和修改了部分内容。本刊 1997 年第 21 卷第 2 期曾刊登 1994 年版本 NEMA 标准的节译文, 现将 2001 年版本中增加和修改的部分译出, 供读者参考。

说明: 文中的章节编号及图表顺序号等均与原文一致, 以便与 1994 年版本相对应。

摘要: 本文是在 NEMA 公布的 1994 年版本 NEMA 标准的基础上, 将 2001 年版本 NEMA 标准的新增内容 (包括: 2.5 系统对准和 3.10 探头间灵敏度变化) 和修改内容 (包括: 3.8 系统平面灵敏度与穿透和 3.9 探头屏蔽) 译出。

关键词: NEMA 标准; 闪烁相机; 性能测试

中图分类号: R817.4 **文献标识码:** B

Newly added content of the NEMA standard (NU-1 2001) for scintillation camera

HE Xiao-hong FENG Yan-lin

(Department of Nuclear medicine, The First People's Hospital of Foshan, Foshan 528000, China)

Abstract: This paper is concerning on the NEMA Standard Publication NU-1-2001 of Performance Measurements of Scintillation Cameras. Two sections, the system alignment of section 2.5 and the detector-detector sensitivity variation of section 3.10, are newly added, and the system planar sensitivity and penetration of section 3.8 and detector shielding of section 3.9 have been modified, which comparing to the last edition of the NEMA Standard Publication NU-1 1994.

Key words: NEMA standard; scintillation camera; performance measurements

2.5 系统对准

SPECT 成像系统所采集图像与系统的机械 COR (旋转中心) 的横向对准是获得准确的 SPECT 重建图像的关键。同样, 对于多探头成像系统, 来自各探头图像的轴向对准也是非常重要的。这两种对准都应进行测量, 并精确到 mm。

许多系统在图像采集处理中整合了自动对准

校正。要实现这类校正, 其自动校正必须按制造商推荐的标准临床程序方法得到。

轴向和旋转离差值应等于或大于说明书标称值。

2.5.1 测试条件

用于本测试的放射性核素应为 ^{99m}Tc 或 ^{57}Co 。计数率不超过 20k cps (计数/秒), 窗宽设置: ^{99m}Tc 为 15%; ^{57}Co 为 20%。

2.5.2 测试设备

用于本测试的设备为 3 个直径均 <2mm 的点源, 且 3 个源之间的活性差异 <10%; 高分辨准直器。

2.5.3 测试步骤

将 3 个点源悬空于 γ 照相机的 FOV (视野) 内, 点源所在平面的径向和轴向位置如图 2-4 所

收稿日期: 2002-12-02

作者简介: ①贺小红 (1969-), 男, 广东省佛山市第一人民医院核医学科 (佛山, 528000) 主管技师, 主要从事核医学技术和仪器质量控制工作。

②冯彦林 (1965-), 男, 广东省佛山市第一人民医院核医学科 (佛山, 528000) 硕士, 副主任医师, 主要从事肿瘤核医学的研究。

审校者: 广州军区广州总医院信息科 李小华

示。本测试也可以是对各点源分别进行测量。各探头的旋转半径均为 20cm。如前所述的自动对准和均匀性校正均可应用。像素大小应 <5mm。图像以偶数投影数目从 0°到 360°进行采集，每个旋转角度可以大于或等于 4°。每个探头必须各有一幅在 0°和 180°采集的图像。每幅图像的每个点源的最大像素计数不应低于 20k。

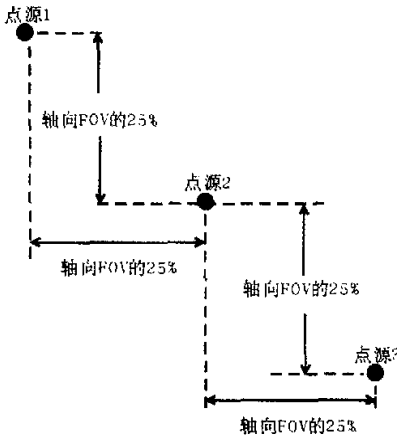


图 2-4 置于同一平面的 3 个点源的空间位置

点源 2 接近于 FOV 的中心位置,其他两个分别位于 FOV 中轴两侧的 -25% 和 +25% 处。

2.5.4 计算与分析

在 Y 方向上求和点源图像中心 4~5cm 范围的 ROI 计数,产生一条横向剖面的一维 PSF(点扩展函数)曲线。计算该曲线计数中心点(见本刊 1997 年第 21 卷第 2 期第 56 页的 2.5.4.1 节),并将其值记作 $X_{ij,m}$,即探头 m 第 j 帧图像的第 i 点的横向位置。同样,在 X 方向上求和 ROI,产生一条轴向剖面的一维 PSF 曲线,计算计数中心点,并将其值记作 $Y_{ij,m}$ 。

将所有图像的 $X_{ij,m}$ 平均后,计算探头上每一点的 COR,公式如下:

$$COR_{i,m} = \frac{1}{N_v} \sum_{j=1}^{N_i} X_{ij,m} \quad (\text{等式 2-3})$$

其中, N_v 为图像帧数。用下式来计算每个探头每一点 COR 的偏差:

$$\delta COR_{i,m} = \text{abs}(COR_{i,m} - X_{cen}) \quad (\text{等式 2-4})$$

其中, abs 表示绝对值; X_{cen} 为 X 方向图像矩阵的中心。对于多探头系统,用下式来计算每一对探头的 COR 偏差:

$$\delta COR_{i,m-n} = \text{abs}(COR_{i,m} - COR_{i,n}) \quad (\text{等式 2-5})$$

在每个探头每点的轴向,比较 0°和 180°所采集图像在 Y 方向上的位置来计算图像的轴向偏差,公式如下:

$$\delta AXIAL_{i,m} = \text{abs}(Y_{i,0^\circ,m} - Y_{i,180^\circ,m}) \quad (\text{等式 2-6})$$

用以下公式计算各探头的相对轴向非对准参数:

$$\delta AXIAL_{i,m-n} = \frac{1}{N_v} \text{abs} \sum_{j=1}^{N_i} (Y_{ij,m} - Y_{ij,n}) \quad (\text{等式 2-7})$$

每一对探头应分别计算。

2.5.5 结果报告

以下 4 个参数应作为系统对准偏差的上限列在测试报告中:

$$\delta COR_1 = \max(\delta COR_{i,m})$$

$$\delta COR_{12} = \max(\delta COR_{i,m-n}) \quad (\text{等式 2-8})$$

$$\delta AXIAL_1 = \max(\delta AXIAL_{i,m})$$

$$\delta AXIAL_{12} = \max(\delta AXIAL_{i,m-n})$$

所有数值应以 mm 表示。

3.8 系统平面灵敏度与穿透

系统平面灵敏度是指一个采集平面采集到的计数与放射源活度的比值。放射源是一个专用的平面源,测试时置于准直器面上。然而,被采集到的计数有部分是源于射线穿透准直孔间壁或因准直孔间壁散射而造成的,穿透和散射线降低了整体的图像质量,应与有效计数得到的灵敏度区分开来,分别加以考虑。系统平面灵敏度和穿透射线均与准直器类型、窗宽、射线能量、源的形状以及系统因素有关,因此,为达到测试目的,这些系统可变因素的设置应符合临床使用条件,除非另有说明。

应对每一类准直器和相应核素进行系统的平面灵敏度和穿透系数的测试,并表示为:(计数/秒)/MBq。

本测试依赖于放射性核素活性校正的准确度。

3.8.1 测试条件

用于本测试的放射性核素应与所使用的准直器相适应。若使用 ^{99m}Tc ,则窗宽为 15%,计数率 <30kcp/s。若使用其他核素,则应根据制造商的推荐条件来设置能窗。

3.8.2 测试设备

本测试的测试设备包括 1~5mL 和 30~50mL 的

塑料注射器、已校正好的活度计、以及直径100mm的平底塑料盘,如图3-3所示。

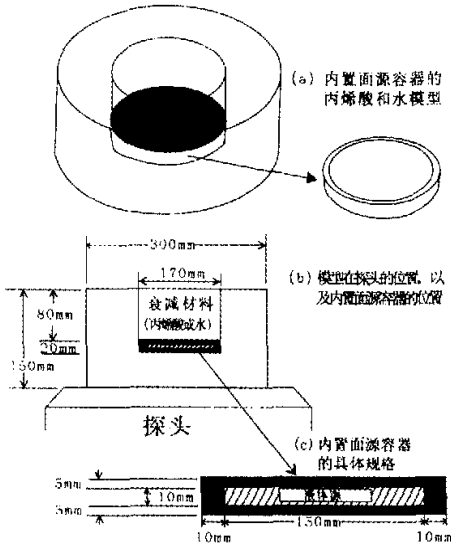


图3-3 有放射性情况下的计数率测试模型

3.8.3 测试步骤

用活度计准确测量注射器内源的活性(A_w),然后将其注入直径为(150±5)mm的平底塑料模型的水中(如图3-3的内置模型)。立即测量注射器内的残留放射性活性(A_{res}),然后以原始读数减去现在的读数得到制作模型时注入模型内的放射性活性,即: $A_{cal}=A_w-A_{res}$ 。

注射器内活性的测量应能重复进行,精度优于5%。所有测量时点均应记录下来,并精确到分钟,或放射性核素半衰期的1%,或更精确。整个测量过程均使用同一钟表记录时间。

将准备好的模型置于探头FOV中心附近,使模型底面距离探头面(10±1)mm。这可以用一个10mm厚的空心模型置于测试模型底部以确定该距离。源与探头之间应无散射介质存在。关键是模型的底部应保持水平,以便放射性活性能均匀分布。

采集至少4M计数。如上所述,精确地记录开始采集的时间。采集持续时间应以1%的精度进行记录。

分别在使模型底面距离探头面(20±1)mm、(50±1)mm、(100±1)mm、(150±1)mm、(200±1)mm、(250±1)mm、(300±1)mm、(350±1)mm和(400±1)mm的条件下,以相同的计数重复测量。

所有测量应保持模型与FOV的上述相对位置不变。

3.8.4 计算和分析

以模型直径的60%为直径作一圆ROI,ROI对准模型图像中心位置,计算总计数和ROI内像素数目。用以下公式计算第*i*次采集经衰减校正后的计数率:

$$R_i = C_i \exp\left(\frac{(T_i - T_{cal})}{T_{1/2}} \ln 2\right) \times \left(\frac{\ln 2}{T_{1/2}}\right) \left[1 - \exp\left(\frac{T_{acq}}{T_{1/2}} \ln 2\right)\right]^{-1} \quad (\text{等式 3-7})$$

其中:

- R_i : 衰减校正计数率;
- C_i : 第*i*帧图像圆形ROI内的总计数;
- T_i : 第*i*帧图像开始采集的时间;
- T_{acq} : 第*i*帧图像采集持续时间。
- T_{cal} : 活性校正时间。
- $T_{1/2}$: 放射性核素半衰期(^{99m}Tc 为21 672s)。

应用标准Levenberg-Marguardt非线性最小平方拟合技术(见第3.8.6节的参考文献),将衰减校正计数率、各探头和模型拟合到函数中:

$$R_i = C_0 + C_1 \exp(-C_2 D_i) \quad (\text{等式 3-8})$$

其中, C_0 、 C_1 和 C_2 是拟合参数, D_i 是模型底部到探头面的距离。计算在 D_N 时($D_N=100$ mm)准直器PF(穿透系数):

$$PF = \frac{C_1 \exp(-C_2 D_N)}{C_0 + C_1 \exp(-C_2 D_N)} \quad (\text{等式 3-9})$$

要计算灵敏度,就要将在模型距离探头面100mm时采集的整帧图像的计数全部加起来,用下式来计算衰减校正总计数率:

$$R_{100} = C_{100} \times \exp\left(\frac{(T_{100} - T_{cal})}{T_{1/2}} \ln 2\right) \times \left(\frac{\ln 2}{T_{1/2}}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{T_{acq,100}}{T_{1/2}}\right)\right]^{-1} \quad (\text{等式 3-10})$$

其中:

- R_{100} : 距离为100mm时的衰减校正计数率;
- C_{100} : 距离为100mm时的总计数。

总的系统灵敏度(S_{TOT})由以下公式计算:

$$S_{TOT} = \frac{R_{100}}{A_{cal}} \quad (\text{等式 3-11})$$

其中: A_{cal} 是 T_{cal} 时间测得的、经注射器残余活性校正的模型内放射性总活性。

3.8.5 结果报告

对于每一类准直器、每一种核素,其 S_{TOT} 应表示为:(计数/秒)/MBq。 PF 应以百分比表示, R_i 对

D_i 的曲线将根据拟合曲线得到。

3.8.6 参考文献

1. Bevington P R. 1969, Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences(New York: McGraw-Hill), Chapter 11.

2. Press W H, Teukolsky S A, Vetterling W T and Flannery B P.1992, Numerical Recipes in C (Cambridge: Cambridge University Press) ,Chapter 15.

3.9 探头屏蔽

探头屏蔽是指评价 γ 照相机探头在以下两种情况下的探测灵敏度:

- a) 正在接受检查的患者位于 FOV 以外时的放射性活性;
- b) 可能存在于 γ 照相机附近的随机放射源(例如: 邻近检查室的患者或已给药等候检查的患者)。

为评价情况 a) 的影响, 应测试在检查床平面、FOV 以外的测试源泄漏。为评价情况 b) 的影响, 将测试源分别置于探头正前方和侧面 2m 处, 测量测试源的计数率。被测得的探头屏蔽数值应等于或优于说明书标称值。

3.9.1 测试条件

本测试所用核素应根据系统设计的要求而定。在第一个成像位置(将源置于准直器中心位置下), 放射性活性应满足最少 1 000 cps 的计数率, 但不能超过 30 000 cps。

用 ^{99m}Tc 测量时, 窗宽为 15%; 若用其他核素, 应根据制造商的推荐来设置能窗。所用准直器应与被测试核素相匹配。

3.9.2 测试设备

本测试所用设备为 1~5mL 的装有测试源的塑料小瓶。

3.9.3 测试步骤

a) 将没有屏蔽的测试源置于准直器 FOV 中心下的检查床上, 如图 3-4a 所示。探头面朝下, 距离检查床 20 cm, 测量计数率。然后分别将源置于 FOV 边沿外的 +10、+20、+30、-10、-20 和 -30cm 处, 测量计数率(如图 3-4a 所示, 共 7 个测量点)。分别记录测试源的每一个位置 i 的总计数 CA_i , 以及采集时间 TA_i 。其中 CA_i 应大于 10 000 计数。然后采集 1 分钟(或更长一点的时间), 测

量本底计数率, 记作 CB 。

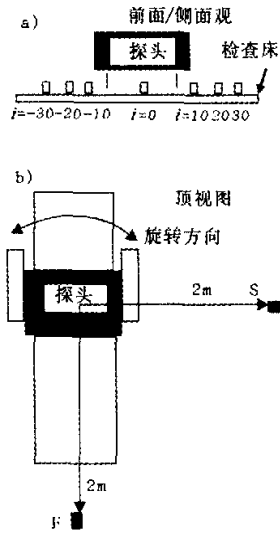


图 3-4 测量屏蔽泄漏的点源位置

b) 为评价屏蔽效果与随机源的关系, 要在另外两个位置对测试源进行测量。将一个与上述 a) 中类似的源置于探头正前方 2m, 并距离地面 1m 处, 如图 3-4b 中的 F 位。该源可以如图 3-2 那样进行屏蔽, 但开口方应正对探头。在 360° 体层采集范围分成 4 个相等的角度位置来测量计数率(例如: 探头面分别朝上、下、左和右)。分别记录在 TF_i 时间每个位置采集的总计数 CF_i 。将同一测试源置于机架侧面 2m、并距离地面 1m 处, 如图 3-4b 中的 S 位。在测量过程中, 测试源的开口朝向探头, 然后将探头置于以下 3 个位置测量计数率, 即探头面朝上、朝下和背对探头(探头的位置与源在 F 位时相同, 但不必测量探头面朝源的方向的计数率)。记录各位置在 TS_i 时间的总计数 CS_i 。

3.9.4 计算与分析

将在每个位置采集到的计数扣除本底后计算计数率:

$$\begin{aligned} BC_i &= (CA_i - CB) / TA_i \\ BCF_i &= (CF_i - CB) / TF_i \\ BCS_i &= (CS_i - CB) / TS_i \end{aligned} \quad (\text{等式 3-12})$$

用每一位置的计数率(扣除本底后)表示屏蔽泄漏, 即相当于源在中心位置时 (BC_0) 的计数率百分比(扣除本底后):

$$\begin{aligned} L_i &= 100 \times BC_i / BC_0 \\ LF_i &= 100 \times BCF_i / BC_0 \end{aligned} \quad (\text{等式 3-13})$$

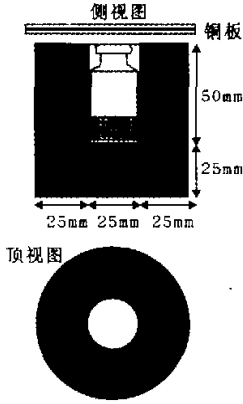


图 3-2 测量计数率的点源容器

$$LS_i = 100 \times BS_i / BC_0$$

找出每一位置所测得的计数率最大值，例如： L_i 的最大值（不包括 $i=0$ ）， LF_i 的最大值和 LS_i 的最大值（不包括探头面朝向源时所测得的 3 个值）。

3.9.5 结果报告

用每一种核素测得的 L_i （不包括 $i=0$ ）、 LF_i 和 LS_i 的最大值，就是该核素屏蔽泄漏值。所测得的这些数值均应等于或优于说明书标称值。

3.10 探头间灵敏度变化

在多探头 γ 照相机系统中，探头之间的灵敏度变化是指在体层显像方式中，各探头测得的灵敏度的相对差异。

3.10.1 测试设备

本测试所用设备与“容积灵敏度”的测试设备相同（见本刊 1997 年第 21 卷第 2 期第 63 页的 5.2 节），即：塑料注射器，高精度活度计，直径为 200 mm 的圆柱体模型，如图 3-7 所示。

各测试源应做成与“系统容积灵敏度”测试相同的形状。

3.10.2 测试步骤

启用所有探头对模型作体层数据采集。要求每个探头都要旋转 360° ，且至少采集 30 帧图像。各探头的图像应以相同的角度作 360° 采集。如果能正确地采集数据，那么相同的数据不仅可用作本测试，还可以用来测量容积灵敏度。

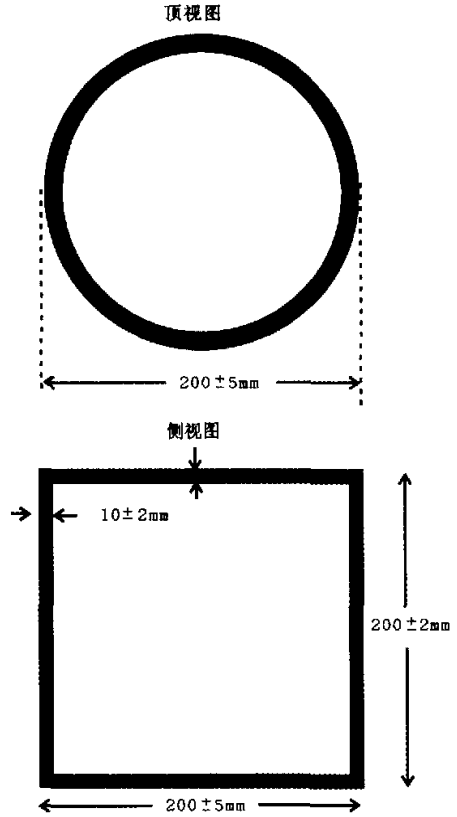


图 3-7 容积灵敏度圆柱体模型（丙烯酸）

3.10.3 计算与分析

用原始（未经处理的）投影图像进行分析。将所有由探头 1 采集到的投影图像加起来产生 Sum1；同样，将所有由探头 2 采集到的投影图像加起来产生 Sum2。其余依此类推。

每帧迭加图像的总计数表示如下：

$$C_i = \text{迭加图像的总计数} \quad (\text{等式 3-14})$$

C_i 的最大值与最小值之间的差异用最大值的百分比 DDC（最大值百分数灵敏度差异）来表示：

$$DDS = 100 \times (C_{\max} - C_{\min}) / C_{\max} \quad (\text{等式 3-15})$$

3.10.4 结果报告

对于多探头系统，将两探头间 DDS 表示为探头间灵敏度变化程度。