

中华人民共和国国家职业卫生标准

GBZ/TXXX—XXX

正电子发射断层成像设备（PET）质量控制 检测规范

Specifications for quality control testing of positron emission tomograph(PET)

（报批稿）

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 术语和定义	1
3 检测项目与要求	2
4 检测方法	2
附录A（规范性附录） 检测项目与周期	16
附录 B(资料性附录) PET 在用型号部分指标合格值	17
参考文献	19

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准起草单位：中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所、中国医学科学院肿瘤医院、清华大学、中国人民解放军总医院。

本标准主要起草人：安晶刚、金永杰、刘辉。

正电子发射断层成像设备（PET）质量控制检测规范

1 范围

本标准规定了正电子发射断层成像设备（PET）质量控制检测的要求及检测方法。
本标准适用于 PET 的验收检测、状态检测和稳定性检测。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1

轴向视野 axial field of view

沿着平行于 PET 长轴切向，设备产生横断层图像的最大范围。

2.2

即时计数 prompt counts

在 PET 的标准符合窗口内采集到的符合事件计数。它包括真符合、散射符合和偶然符合事件计数。

2.3

正弦图 sinogram

某横断面图像的二维投影空间，其中一维表示距中心的径向距离，另一维表示投影角。

2.4

横向视野 transverse field of view

在垂直于 PET 长轴的方向上，物体可生成图像的最大直径的圆形区域。

2.5

测量模体 test phantom

某一测量描述而限定的组件。

2.6

空间分辨力 spatial resolution

表示图像重建后能够区分两点的能力。

2.7

灵敏度 sensitivity

在给定放射源强度的情况下，能探测到的真符合事件的计数率，以每秒计数表示。

2.8

散射分数 scatter fraction

扫描视野中规定的感兴趣区域内散射符合事件数与散射符合和真符合事件数之和的无量纲比值。

3 质量控制检测要求

3.1 PET 使用单位应制定包括 PET 质量控制检测计划的质量保证方案并保证其正确实施，按照质量控制检测计划与本标准要求进行检测。

3.2 新安装或大修后的 PET 在投入使用前, 应由具备检测资质的技术服务机构对其进行验收检测, 应对检测指标的合格与否给予判定, 等于或优于规定值的指标判定为合格, 确认合格后方可启用。验收检测的项目及技术要求应符合出厂性能指标并应不低于附录 A 及 3.4 的规定。

3.3 使用中的 PET 及其配套设备应定期维护并校准。状态检测周期为 1 年, 由具备检测资质的技术服务机构对其进行检测。稳定性检测由使用单位自身或委托有检测能力的机构进行。应对检测指标的合格与否给予判定, 等于或优于规定值的指标判定为合格。状态检测与稳定性检测的项目、周期见附录 A, 技术要求见 3.4 的规定。

3.4 验收检测、状态检测和稳定性检测的结果应与出厂性能指标比较, 见附录 B, 对表中没有列出的新机型, 以其出厂标称值为准。验收检测结果与出厂指标的负向偏差应不大于 5%, 状态检测和稳定性检测结果与出厂指标的负向偏差应不大于 10%。使用单位与供货方定有不同于上述要求的协议时, 也可按协议要求执行。

3.5 检测用计量仪表应根据有关规定进行检定或校准, 检测用模体应符合有关要求。

3.6 设备手册、使用说明书等有关技术资料 and 检测记录应妥善保管。

3.7 检测报告的基本内容应包括: 被检单位基本信息和设备信息, 并按本标准的要求给出有关的检测指标和检测方法、必要的检测条件、检测结果及其相应标准要求。

4 检测方法

4.1 空间分辨力

4.1.1 方法

4.1.1.1 概述

对所有 PET 系统, 应测量横断面两个方向(径向和切向)的空间分辨力和轴向空间分辨力。

仪器的横向视野和成像矩阵的大小决定了横断面上像素尺寸的大小。为了尽可能精确测量点扩展函数的宽度, 重建图像的像素大小应小于半高宽的 1/3。对全身 PET, 其像素大小为小于 1.5mm。在检测中应说明这是空间分辨力测试的条件之一。

4.1.1.2 放射性核素

本测试用核素应为 ^{18}F , 其活度应控制在使死时间丢失率小于 5% 或随机事件计数率小于总计数率的 5%。

4.1.1.3 放射源布置

测试源为置于毛细玻璃管内高浓度的一小滴放射源。毛细管的内径为 1mm 或更小, 外径小于 2mm, 放射源在管内的长度应小于 1mm。

沿平行 PET 长轴将源固定, 并按以下 6 个位置布置:

在轴向方向, 分别为沿断层平面:

- a) 轴向视野 1/2 处;
- b) 距离轴向视野中心 1/4 处。

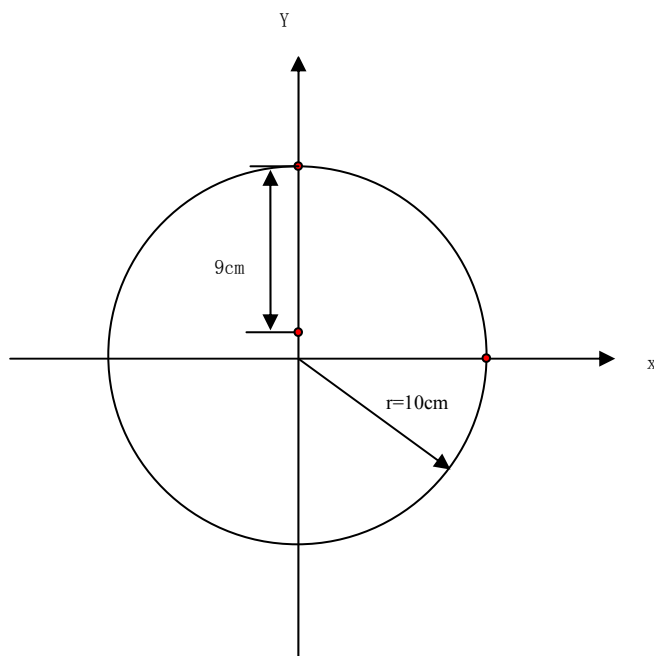
在横断方向, 点源应放置在:

- a) 放射源应置于垂直 Z 轴方向且距离中心 1cm 处(如此放置点源是为了避免视野中心对检测造成的不稳定影响):

b) $x=0\text{cm}$, $y=10\text{cm}$;

c) $x=10\text{cm}$, $y=0\text{cm}$ 。

放射源的放置位置见图 1。



• 放射性点源

注：轴向位置分别放置于轴向视野 1/2 和 1/4 处。

图 1 用于空间分辨力测量的放射源的横断面位置

4.1.1.4 数据采集

应在上述所确定的 6 个点源位置采集数据。每个响应函数最少应采集 100×10^3 总计数，也可以用多个点源同时进行测量，其取样尺寸应该优于临床常用值。

4.1.1.5 数据处理

将空间分辨力测量采集的点源数据用无平滑滤波反投影重建图像，并以该图像计算点源响应函数。

4.1.2 数据分析

空间分辨力要在三个方向上进行计算。分别沿三个相互垂直图像面绘出三条点源图像的剖面曲线，即点源响应函数。剖面曲线是一条一维响应函数，根据其峰值和半高宽可计算出空间分辨力。

每个点源响应函数的最大值应在峰值点以及紧密相邻的左右两点用抛物线拟合法求出，半高宽值用线性插值法求得，然后，将所求得的值乘以像素尺寸转换为以 mm 为单位的距离。

4.1.3 结果报告

应计算每个点源（中心和 10cm 处）的径向、切向分辨力和轴向空间分辨力，轴向空间分辨力为两个轴向位置测得值的平均，并将计算结果报告为系统空间分辨力。计算方法见表 1。

表 1 空间分辨力报告值的计算方法

位置	计算方法
横断面 1cm	2 个 z 轴位置 x 和 y (4 个值) 半高宽的平均值
横断面 10cm	2 个 z 位置的 x 和 y (8 个值) 径向和切向半高宽的平均值
轴向 1cm	2 个 z 位置 (2 个值) 半高宽的平均值
轴向 10cm	4 个位置的 z 值 (4 个值) 半高宽的平均值

4.2 灵敏度

4.2.1 方法

4.2.1.1 概述

使用一根 700mm 长的线源，均匀充满放射性液体，其活度使计数丢失小于 1%，随机事件计数率低于真事件计数率的 5%。对于专门 3D 采集方式的 PET 扫描仪， ^{18}F 活度值可为 5MBq，但这依赖于扫描仪的灵敏度。建议设备生产商提供此活度值用于测试。为精确测量灵敏度，线源长度应为 $700\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 。灵敏度测量模体由 5 层长 700mm 铝合金套管组成，每一个套管壁厚为 1.25mm，直径依次增加，模体结构见图 2，其尺寸见表 2。

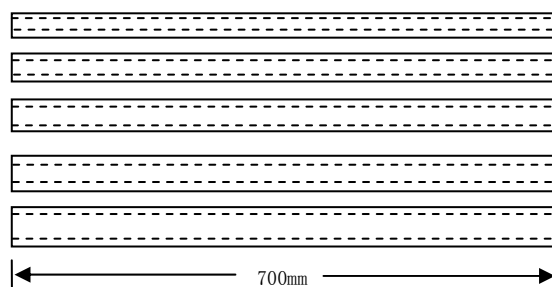


图 2 灵敏度测量模体

表 2 灵敏度测量模体各层套管内外径尺寸

套管编号	内径 mm	外径 mm
1	3.9	6.4
2	7.0	9.5
3	10.2	12.7
4	13.4	15.9
5	16.6	19.1

对于提供随机事件计数率测量的系统，可以减去随机事件计数率，仅报告真实计数灵敏度；对于可产生固有随机事件计数的系统，应在报告中给出减去随机事件计数值后的测量值。

4.2.1.2 放射性核素

使用放射性活度计（已进行了剂量刻度）精确测放射性核素的活度值 (A_{cal}) 并记录测量时间 (T_{cal})。对于测量 ^{18}F 核素的活度计刻度应在测试之前完成。

4.2.1.3 放射源布置

铝管的 $700\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 段应灌入与水充分混和的已知活度的 ^{18}F 溶液，将两端密封。将模型悬挂于横

轴视野中心，与断层轴平行，并使模型的所有支撑装置位于视野以外。

4.2.1.4 数据采集

数据采集的持续时间应确保每一断层至少达到 10×10^3 真事件计数。对于断层面响应线与扫描仪轴交叉的斜位响应线，则用单层重组技术将计数分配到响应线中。应记录测量的起始时间 T_1 、采集持续时间 T_{acq} 和采集总计数。对于需要探头旋转才能完成全环数据采集的扫描仪， T_{acq} 应包括探头旋转所需的时间。每秒计数率 $R_{1,i}$ 可用该层采集到的计数除以采集持续时间来确定。采集完第一根套管后，依次将另外 4 根套管加入模型中，重复测量，并记录每一次的 T_j 和 $R_{j,i}$ 。

为评价不同径向位置的灵敏度，应在偏离横向视野中心径向 10cm 处重复上述测量。

4.2.2 计算与分析

对 5 条套管的每次测量用公式(1)做核素衰变校正：

$$R_{\text{CORR},j,i} = R_{j,i} \times 2^{(T_j - T_{\text{cal}})/T_{1/2}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$R_{\text{CORR},j,i}$ —— 校正后的第 j 次采集的第 i 层计数率，单位为每秒 (s^{-1})；

$R_{j,i}$ —— 第 j 次采集的第 i 层计数率，单位为每秒 (s^{-1})；

T_j —— 第 j 次采集开始时刻，单位为秒 (s)；

T_{cal} —— 活度计测量的时刻，单位为秒 (s)；

$T_{1/2}$ —— 半衰期，单位为秒 (s)。

将核素衰变校正后的每层计数率 $R_{\text{CORR},j,i}$ 相加，得到校正后的每根套管的计数率 $R_{\text{CORR},j}$ ，再用回归法将数据按照公式(2)拟合，计算 $R_{\text{CORR},0}$ ：

$$R_{\text{CORR},j} = R_{\text{CORR},0} \times \exp(-\mu_M \times 2 \times X_j) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$R_{\text{CORR},j}$ —— 第 j 次采集（即第 j 根套管）经衰减校正后的计数率，单位为每秒 (s^{-1})；

$R_{\text{CORR},0}$ —— 无衰减时的计数率，单位为每秒 (s^{-1})；

μ_M —— 金属线性衰减系数，单位为每厘米 (cm^{-1})；

X_j —— 累积套管壁厚度，单位为厘米（cm）。

可以改变金属衰减系数 μ_M 值，以补偿少量的散射线。

系统灵敏度由公式（3）计算：

$$S_{TOT} = \frac{R_{CORR,0}}{A_{cal}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

S_{TOT} —— 系统灵敏度，单位为每秒每贝克勒尔（ $s^{-1} \cdot Bq^{-1}$ ）；

$R_{CORR,0}$ —— 无衰减时的计数率，单位为每秒（ s^{-1} ）；

A_{cal} —— T_{cal} 时刻的放射性活度，单位为贝克勒尔（Bq）。

在偏离断层中心 10cm 处，应重复测量系统灵敏度。

4.2.3 结果报告

报告系统灵敏度。

4.3 噪声等效计数率峰值

4.3.1 方法

4.3.1.1 概述

测试模型（散射分数模体）是一个密度为 $0.96g/cm^3 \pm 0.01g/cm^3$ 的聚乙烯圆柱体，外径 $203mm \pm 3mm$ ，总长度 $700mm \pm 5mm$ 。在平行于圆柱体中轴、半径 $45mm \pm 1mm$ 处，钻一个直径为 $6.4mm \pm 0.2mm$ 的孔。为便于制作和搬运，圆柱体可由几段构成，测试时再将其组合。但是，在设计和组合已制作好的模型时，应确保相邻各段紧密接合，因为即使很小的缝隙都将导致狭窄的轴向无散射区。

使用 ^{18}F 放射性核素，并应均匀分布在线源中心 $700mm \pm 5mm$ 部分。线源两端密封。注意如果线源放射性部分超出模体一端 5mm 以上，测量结果会受到影响。设备制造商应推荐初始放射性活度；此项测量常常使用高水平的放射性活度核素，以此来超过与 NECR 峰值相对应的比活度。对于使用 LS0 晶体和 LYSO 晶体的扫描仪由于晶体余辉的影响，过量放射性活度能够产生错误结果。充满线源所用的初始活度应使用放射性活度计（经过剂量校准后）认真测量并记录测试时间。线源放入病人床上的散射模体中（见图 3），线源应靠近床方向放置。散射分数模体中心在轴向和横向上应与 PET 扫描仪中心相差在 5mm 以内。

开始测量时，将相对高活度的源置于 PET 的视野中，待模型中的放射源经几个半衰期衰变后，开始定时测量。伴随着放射源活度衰变，随机事件计数率与真事件计数率的比率会下降，最终低于 1.0%。此外，伴随着活度衰变，系统处理事件的效率也会得到改善，直到计数丢失可以有效地忽略不计。因此，只要等待足够长的时间，所测得的事件计数率将有效地去除随机事件和系统处理造成的计数丢失的干扰。将此真事件计数率外推至较高活度水平，并将其与所测得的计数率进行比较，就可以估算出系统处于较高活度水平时的计数丢失。本测量技术的精确度高度依赖于在低活度水平时采集足够的总计数以及在较低计数率状态下的重复测量。

测量数据的分析和报告有两种方法：第一种方法要求测定随机事件计数率。随机事件计数率可以用延迟事件窗或单探头计数率计算。这种方法可以用计数率的函数来估算散射分数。对固有本底比较高，

随机事件与真实事件计数率比无法达到 1.0% 以下的 PET 设备应优先采用此种方法。第二种方法是不具备随机事件测量的 PET 系统。

4.3.1.2 放射性核素

本测试所用放射性核素应为 ^{18}F 。放射性活度量应满足以下两个计数率的测量要求：

- a) $R_{t,peak}$: 峰值真事件计数率；
- b) $R_{NEC,peak}$: 峰值噪声等效计数率。

制造商应提供上述测量所需初始活度的推荐值。

模型内的初始活度为注射器内的活度减去残留于注射器壁的活度。所有的活度测量都应由经过校正的活度计来测量。

4.3.1.3 放射源布置

测试模型线源插件的中心 $700\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 段，应灌入与水充分混和的已知活度的溶液，并将两端密封。然后将线源插入测试模型的孔中，并使线源的活度区与 70cm 长的模型两端相一致。将带线源的模型置于由制造商提供的标准检查床上，并使线源的一侧贴近检查床（如图 3）。模型应位于横向和轴向视野 5mm 以内的中心处。

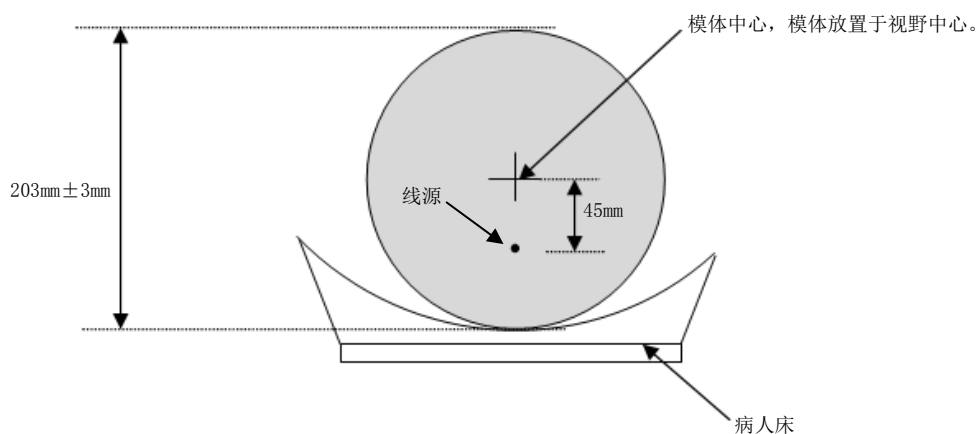


图 3 模型放置示意图

4.3.1.4 数据采集

断层数据采集的时间间隔应小于 $1/2$ 个 $T_{1/2}$ ，每次采集的持续时间 ($T_{acq,j}$) 应小于 $1/4$ 个 $T_{1/2}$ ，总采集时间应保证真事件丢失低于 1.0%。如果采用第二种方法，则要求随机事件计数率与真事件计数率之比低于 1.0%。采集方式应是 360 度断层采集，扫描仪旋转，从而为每一次采集提供完全、均匀的角度取样。采集时间 T_{acq} 应包括探头旋转所需的时间。

为了精确估算系统死时间计数丢失，应保证在计数丢失率和随机事件计数率两者均低于真事件计数率 1.0% 的情况下采集到足够的计数，每次采集至少达到 500×10^3 即时计数。另外，在峰值计数率附近应有足够频次的测量，以精确确定峰值计数率。为此，制造商应该在仪器说明书中提供测量的初始放射

性活度、采集次数和采集持续时间等参数。

4.3.1.5 数据处理

对于轴向视野小于或等于 65cm 的扫描仪，正弦图应包含所有的断层；而对于轴向视野大于 65cm 的扫描仪，正弦图只要求包含中心 65cm 视野内的断层。所有数据均不做任何校正，如：探头灵敏度变化、探头运动、散射和随机事件、衰减和死时间校正等。

如 PET 扫描仪可以估算随机事件，则正弦图应包含总事件和随机事件，如不具有直接测量随机事件计数率功能的扫描仪，则正弦图只需总事件。斜位正弦图是由每个单层正弦图经单层重组构成。

4.3.2 数据分析

4.3.2.1 初步分析

对第 j 次采集的即时正弦图 i 进行如下处理：

- a) 所有与模体中心的距离大于 12cm 的像素都置为 0；
- b) 对于正弦图的每个投影角 ϕ ，找出最大像素值，再移动该投影，并将此最大像素值置于正弦图的中心像素。将所有角度投影相加即得出投影总和。
- c) 投影和中的像素值等于每个角投影中具有相同径向偏移的像素值的总和，见公式 (4)：

$$C(r)_{i,j} = \sum C(r - r_{\max}(\phi), \phi)_{i,j} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

r ——投影图的像素数；

ϕ ——正弦图中的投影角度；

$r_{\max}(\phi)$ ——投影 ϕ 中最大值像素的位置。

- d) 从投影和剖面曲线中获取正弦图中心左、右 20mm 宽带边缘的像素计数值 $C_{L,i,j}$ 和 $C_{R,i,j}$ (参见图 4)；
- e) 散射事件和随机事件计数 $C_{r+s,i,j}$ 包括剖面曲线中心左、右两边 20mm 宽带以外的像素计数和宽带中心梯形区域的像素计数；
- f) 总计数 $C_{TOT,i,j}$ 为投影和中所有像素计数的总和。

每一次采集 j 的平均活度 $A_{ave,j}$ 也要计算。

以后的分析取决于是否进行随机事件计数的估测。

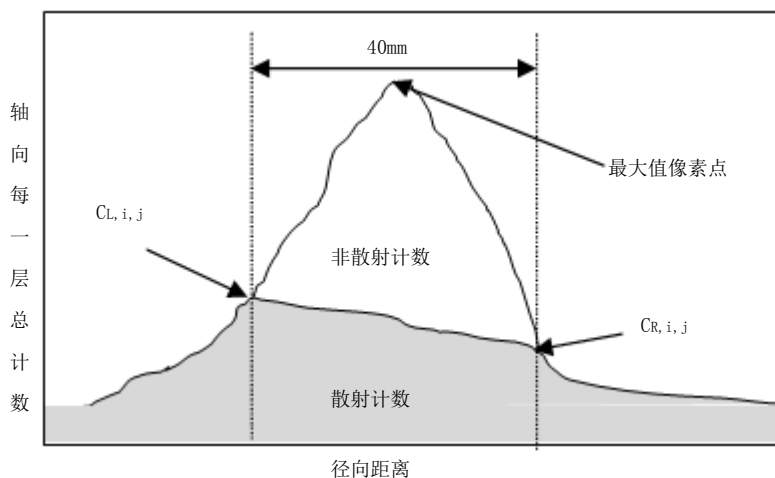


图 4 40mm 宽区域内、外本底计数积分图

4.3.2.2 具有随机事件估测时的分析方法

4.3.2.2.1 概述

在随机事件正弦图中，置所有距模体中心 12cm 以外的像素的像素值为 0。随机事件计数值 $C_{r,i,j}$ 为随机事件正弦图中剩余计数的总和。

4.3.2.2.2 噪声等效计数率 (NECR)

计算NECR步骤如下：

a) 总计数率 $R_{TOT,i,j}$ 计算：

$$R_{TOT,i,j} = \frac{C_{TOT,i,j}}{T_{acq,j}} \dots\dots\dots(5)$$

式中：

$C_{TOT,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的总计数；

$T_{acq,j}$ ——第 j 次的采集时间，单位为秒 (s)。

b) 真事件计数率 $R_{t,i,j}$ 计算：

$$R_{t,i,j} = \frac{(C_{TOT,i,j} - C_{r+s,i,j})}{T_{acq,j}} \dots\dots\dots(6)$$

式中：

$C_{TOT,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的总计数；

$C_{r+s,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的散射计数与随机事件计数之和；

$T_{acq,j}$ ——第 j 次的采集时间，单位为秒 (s)。

c) 随机事件计数率 $R_{r,i,j}$ 计算：

$$R_{r,i,j} = \frac{C_{r,i,j}}{T_{acq,j}} \dots\dots\dots(7)$$

式中：

$C_{r,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的随机事件计数；

$T_{acq,j}$ ——第 j 次的采集时间，单位为秒 (s)。

d) 散射事件计数率 $R_{s,i,j}$ 计算：

$$R_{s,i,j} = \frac{C_{r+s,i,j} - C_{r,i,j}}{T_{acq,j}} \dots\dots\dots(8)$$

式中：

$C_{r+s,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的散射计数与随机事件计数之和；

$C_{r,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的随机事件计数；

$T_{acq,j}$ ——第 j 次的采集时间，单位为秒 (s)。

e) 噪声等效计数率 $R_{NEC,i,j}$ 计算：

$$R_{NEC,i,j} = \frac{R_{t,i,j}^2}{R_{TOT,i,j}} \dots\dots\dots(9)$$

式中：

$R_{t,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的真事件计数率，单位为每秒 (s^{-1})。

$R_{TOT,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的总计数率，单位为每秒 (s^{-1})。

使用直接减去随机事件计数方法的系统应改为按公式 (10) 计算每层 i 的 $R_{NEC,i,j}$ ：

$$R_{NEC,i,j} = \frac{R_{t,i,j}^2}{R_{TOT,i,j} + R_{r,i,j}} \dots\dots\dots(10)$$

式中：

$R_{t,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的真事件计数率，单位为每秒 (s^{-1})；

$R_{TOT,ij}$ ——第 j 次采集第 i 层的总计数率，单位为每秒 (s^{-1})；

$R_{r,ij}$ ——第 j 次采集第 i 层的随机事件计数率，单位为每秒 (s^{-1})。

系统总计数率为所有断层计数率的总和：

$$R_{TOT,j} = \sum_i R_{TOT,ij} \dots\dots\dots(11)$$

式中：

$R_{TOT,ij}$ ——第 j 次采集第 i 层的总计数率，单位为每秒 (s^{-1})。

$$R_{t,j} = \sum_i R_{t,ij} \dots\dots\dots(12)$$

式中：

$R_{t,ij}$ ——第 j 次采集第 i 层的真事件计数率，单位为每秒 (s^{-1})。

$$R_{r,j} = \sum_i R_{r,ij} \dots\dots\dots(13)$$

式中：

$R_{r,ij}$ ——第 j 次采集第 i 层的随机事件计数率，单位为每秒 (s^{-1})。

$$R_{s,j} = \sum_i R_{s,ij} \dots\dots\dots(14)$$

式中：

$R_{s,ij}$ ——第 j 次采集第 i 层的散射事件计数率，单位为每秒 (s^{-1})。

$$R_{NEC,j} = \sum_i R_{NEC,ij} \dots\dots\dots(15)$$

式中：

$R_{NEC,ij}$ ——第 j 次采集第 i 层的噪声等效计数率，单位为每秒 (s^{-1})。

4.3.2.3 无随机事件计数估测的分析方法

4.3.2.3.1 噪声等效计数率 (NECR)

计算NECR步骤如下：

a) 总计数率 $R_{TOT,ij}$ 计算：

$$R_{TOT,ij} = \frac{C_{TOT,ij}}{T_{acq,j}} \dots\dots\dots(16)$$

式中：

$C_{TOT,i,j}$ ——第 j 次采集的第 i 层总计数；

$T_{acq,j}$ ——第 j 次采集时间，单位为秒（s）。

b) 系统总计数率 $R_{TOT,j}$ 计算：

对于每次采集 j，每一层 i 的真事件计数率 $R_{t,i,j}$ ，由公式（17）计算：

$$R_{t,i,j} = \frac{(C_{TOT,i,j} - C_{r+s,i,j})}{T_{acq,j}} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

$C_{TOT,i,j}$ ——第 j 次采集的第 i 层总计数；

$C_{r+s,i,j}$ ——第 j 次采集的第 i 层随机事件计数与散射事件计数之和；

$T_{acq,j}$ ——是采集时间，单位为秒（s）。

c) 系统真事件计数率 $R_{t,j}$ 计算：

对于每次采集 j，每一层 i 的随机事件计数率 $R_{r,i,j}$ ，由公式（18）计算：

$$R_{r,i,j} = R_{TOT,i,j} - \frac{R_{t,i,j}}{1-SF_i} \dots\dots\dots (18)$$

式中：

$R_{TOT,i,j}$ ——第 j 次采集的第 i 层的总计数率，单位为每秒（ s^{-1} ）。

$R_{t,i,j}$ ——第 j 次采集的第 i 层的真事件计数率，单位为每秒（ s^{-1} ）。

SF_i ——第 i 层的散射分数。

d) 系统随机事件计数率 $R_{r,j}$ 计算：

对于每次采集 j，每一层 i 的散射事件计数率 $R_{s,i,j}$ ，由公式（19）计算：

$$R_{s,i,j} = \frac{SF_i}{1-SF_i} R_{t,i,j} \dots\dots\dots (19)$$

式中：

SF_i ——第 i 层的散射分数；

$R_{t,ij}$ ——第 j 次采集的第 i 层的真事件计数率，单位为每秒 (s^{-1})。

e) 噪音等效计数率 $R_{NEC,ij}$ 计算：

对于每次采集 j ，每一层 i 的噪音等效计数率 $R_{NEC,ij}$ 由公式 (20) 计算：

$$R_{NEC,ij} = \frac{R_{t,ij}^2}{R_{TOT,ij}} \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$R_{t,ij}$ ——第 j 次采集的第 i 层的真事件计数率，单位为每秒 (s^{-1})；

$R_{TOT,ij}$ ——第 j 次采集的第 i 层的总计数率，单位为每秒 (s^{-1})。

可以直接进行随机事件计数减法运算的系统，每一层 i 的噪音等效计数率 $R_{NEC,j}$ 由公式 (21) 计算：

$$R_{NEC,j} = \frac{R_{t,ij}^2}{R_{TOT,ij} + R_{r,ij}} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

$R_{t,ij}$ ——第 j 次采集的第 i 层的真事件计数率，单位为每秒 (s^{-1})；

$R_{TOT,ij}$ ——第 j 次采集的第 i 层的总计数率，单位为每秒 (s^{-1})；

$R_{r,ij}$ ——第 j 次采集的第 i 层的随机事件计数率，单位为每秒 (s^{-1})。

系统噪音等效计数率 $R_{NEC,j}$ 为所有断层的 $R_{NEC,ij}$ 之和。

4.3.3 结果报告

报告噪声等效计数率峰值 ($R_{NEC,peak}$)。

4.4 散射分数

4.4.1 方法

4.4.1.1 概述

4.3 的实验模型以及用于噪声等效计数率峰值测量所采集的数据，也可以用来测量散射分数。

4.4.1.2 放射性核素

同 4.3 要求。

4.4.1.3 放射源布置

同 4.3 要求。

4.4.1.4 数据采集

同 4.3 要求。

4.4.1.5 数据处理

同 4.3 要求。

4.4.2 数据分析

4.4.2.1 初步分析

同 4.3 要求。

4.4.2.2 具有随机事件估测时的分析方法

4.4.2.2.1 概述

在随机事件正弦图中，置所有距模体中心 12cm 以外的像素的像素值为 0。随机事件计数值 $C_{r,i,j}$ 为随机事件正弦图中剩余计数的总和。

4.4.2.2.2 散射分数

i 层每 j 次采集的射分数 $SF_{i,j}$ 按公式 (22) 计算：

$$SF_{i,j} = \frac{\sum_j C_{r+s,i,j} - \sum_j C_{r,i,j}}{\sum_j C_{TOT,i,j} - \sum_j C_{r,i,j}} \dots\dots\dots(22)$$

式中：

$C_{r+s,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的散射事件计数与随机事件计数之和；

$C_{r,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的随机事件计数；

$C_{TOT,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的总计数。

系统散射分数 SF 按公式 (23) 计算：

$$SF_j = \frac{\sum_i \sum_j C_{r+s,i,j} - \sum_i \sum_j C_{r,i,j}}{\sum_i \sum_j C_{TOT,i,j} - \sum_i \sum_j C_{r,i,j}} \dots\dots\dots(23)$$

式中：

$C_{r+s,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的散射事件计数与随机事件计数之和；

$C_{r,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的随机事件计数；

$C_{TOT,i,j}$ ——第 j 次采集第 i 层的总计数。

4.4.2.3 无随机事件计数估测的分析方法

4.4.2.3.1 散射分数

对于固有天然放射性可忽略的 PET 系统，散射分数可用最后一次的采集 j' 来估算。最后一次采集的计数丢失率和随机事件计数率低于真事件计数率 1.0%。此时，随机事件计数可忽略不计，总计数 $C_{r+s,i,j'}$ 中仅包含散射事件计数，总计数 $C_{TOT,i,j'}$ 仅包含真事件计数和散射事件计数。

每一层的 SF_i 由 j' 采集（低活度）数据按照公式(24)来计算：

$$SF_i = \frac{\sum_{j'} C_{r+s,i,j'}}{\sum_{j'} C_{TOT,i,j'}} \dots\dots\dots(24)$$

式中：

$C_{r+s,i,j'}$ ——第 j' 采集的第 i 层总计数；

$C_{TOT,i,j'}$ ——第 j' 采集的第 i 层总计数。

系统散射分数按公式（25）由所有 SF_i 值加权平均求得，公式如下：

$$SF = \frac{\sum_i \sum_{j'} C_{r+s,i,j'}}{\sum_i \sum_{j'} C_{TOT,i,j'}} \dots\dots\dots(25)$$

式中：

$C_{r+s,i,j'}$ ——第 j' 采集的第 i 层随机事件计数与散射事件计数之和；

$C_{TOT,i,j'}$ ——第 j' 采集的第 i 层总计数。

附录 A
(规范性附录)
检测项目与周期

PET 质量控制的检测项目与周期见表 A. 1。

表 A. 1 检测项目与要求

序号	检测项目	验收检测项目 ^a	状态检测项目 ^b	稳定性检测 ^c	
				项目	周期
1	空间分辨力	√	√	√	三个月
2	灵敏度	√	√	√	三个月
3	噪声等效计数率峰值	√	√	√	半年
4	散射分数	√	√	√	半年
^a 验收检测结果与出厂指标的负向偏差应不大于 5%。 ^b 状态检测与出厂指标的负向偏差应不大于 10%。 ^c 稳定性检测结果与出厂指标的负向偏差应不大于 10%。					

附录 B
(资料性附录)
部分 PET 型号性能指标参考值

主要生产厂家部分 PET 型号的性能指标参考值见表 B.1。

表 B.1 部分 PET 型号性能指标参考

生产厂家	设备型号	空间分辨力 mm				灵敏度 ^b s ⁻¹ ·kBq ⁻¹		噪声等效 计数率 峰值 s ⁻¹	散射 分数 ^c
		横断面 1cm	横断面 10cm	轴向 1cm	轴向 10cm	0cm 位 置	10cm 位置		
上海联影公司	uMIS96R	3.3	3.7	3.6	3.5	7.0		85×10 ³	41%
	uMI510	3.3	3.7	3.6	3.5	7.0		85×10 ³	41%
北京锐视康公司	RAY-SCAN 64	5.9	6.5	5.9	6.9	4.0	4.0	30×10 ³	45%
通用电气公司	DLS ^a	4.8	5.3	7.1	7.1	5.8		26×10 ³	49%
	DST	6.8	7.4	6.2	6.5	8.4		59×10 ³	48%
	DSTE	5.5	6.2	6.2	6.5	7.7		68×10 ³	39%
	O560	5.5	6.2	6.2	6.9	5.85		49×10 ³	42%
	D600	5.5	6.2	6.2	6.9	8.2		68×10 ³	42%
	D690\D710	5.4	6.1	6.2	6.9	6.3		115×10 ³	41%
西门子公司	Biograph (3环 8x8 晶体)	7.0	8.0	6.8	8.0	5.2		80×10 ³	40%
	Biograph (3环 13x13 晶体) (无 Hi-Rez)	6.5	6.5	6.0	6.5	3.8		86×10 ³	38%
	Biograph (3环 13x13 晶体) (有 Hi-Rez)	4.6	5.3	5.0	6.1	3.8		86×10 ³	38%
	Biograph (4环 13x13 晶体) (有 Hi-Rez)	4.6	5.3	5.0	6.1	7.0		148×10 ³	38%
	Biograph mCT (3环 13x13 晶体) (有 Hi-Rez)	4.7	5.2	4.8	6.2	4.8		90×10 ³	40% ^d
	Biograph mCT (4环 13x13 晶体) (有 Hi-Rez)	4.7	5.2	4.8	6.2	8.5		155×10 ³	40% ^d
飞利浦公司	GEMINI GXL	5.7	6.6	6.5	7.0	7.1	7.4	52×10 ³	40%
	TF Base	4.9	5.5	4.9	5.5	6.4		92×10 ³	37%
	TF	4.9	5.5	4.9	5.5	6.4		85×10 ³	35%

^a 此型号 PET 为检测实践中确定比较稳定的检测值，有厂家标称值的以厂家标称值为准。

表 B.1 (续)

<p>^b 未分别定义 0cm 位置和 10cm 位置标称值的型号, 此标称值为 2 个位置的平均值。</p> <p>^c 此值是最后一次采集 (活度最低处) 的标称值。</p> <p>^d 此值是NECR峰值处的标称值。</p>
<p>注: 采集模式为3D。</p>

参 考 文 献

- [1] NEMA NU 2-2001 Performance Measurements of Positron Emission Tomographs
 - [2] NEMA NU 2-2007 Performance Measurements of Positron Emission Tomographs
 - [3] IAEA HUMAN HEALTH SERIES NO.1 Quality Assurance for PET and PET/CT Systems
-