

WS

中 华 人 民 共 和 国 卫 生 行 业 标 准

WS 523—2026

代替WS 523—2019

伽玛照相机、单光子发射断层成像设备 (SPECT) 质量控制检测标准

Standard for testing of quality control in gamma cameras and single photon
emission computed tomograph (SPECT)

2026 - 06 - 26 发布

2027 - 07 - 01 实施

中华人民共和国国家卫生健康委员会 发 布

前 言

本标准为强制性标准。

本标准代替WS 523—2019《伽玛照相机、单光子发射断层成像设备（SPECT）质量控制检测规范》，与WS 523—2019相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 删除了断层空间分辨力内容（见2019年版的4.7）；
- b) 更改了伽玛照相机、NaI晶体SPECT检测指标的技术要求（见表B.1，2019年版的表A.1）；
- c) 增加了CZT类型SPECT质量控制检测项目与技术要求（见表B.2）；
- d) 更改了固有均匀性的检测条件和数据采集要求（见C.1，2019年版的4.1）；
- e) 更改了固有空间分辨力和固有空间线性数据采集要求（见C.2，2019年版的4.2）。

本标准由国家卫生健康标准委员会放射卫生标准专业委员会负责技术审查和技术咨询，由中国疾病预防控制中心负责协调性和格式审查，由国家卫生健康委职业健康司负责业务管理、法规司负责统筹管理。

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、四川省疾病预防控制中心、中国医学科学院北京协和医院、广东省职业病防治院、福建省职业病与化学中毒预防控制中心、山东省疾病预防控制中心、中国医学科学院放射医学研究所、湖南省职业病防治院。

本标准主要起草人：刘辉、耿建华、马桥、张海琼、宋颖、谭展、郑森兴、张显鹏、翟贺争、朱国祯。

本标准于2019年首次发布，本次为第一次修订。

伽玛照相机、单光子发射断层成像设备（SPECT）质量控制检测标准

1 范围

本标准规定了伽玛照相机、单光子发射断层成像设备（SPECT）质量控制检测要求、检测项目和检测方法。

本标准适用于碘化钠（NaI）类型的伽玛照相机、基于NaI和碲锌镉（CZT）类型的SPECT的质量控制检测。

2 规范性引用文件

本标准没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

能窗 energy window

可接受和处理的 γ 射线和X射线的能量范围。窗口可以用一个能量范围或能峰值的百分比表示。

注：以百分比表示时，出能峰值，且窗口是以能峰值为中心对称的，如140 keV的 $\pm 10\%$ 能窗与126 keV~154 keV是等同的。

3.2

半高全宽 full width at half maximum; FWHM

在一钟形曲线上，纵坐标高度为最大值一半处，平行于横坐标的两点之间的距离。

3.3

能量分辨率 energy resolution

全能峰半高全宽与峰位能量的比值，表征了探测器对不同能量射线的分辨能力。

3.4

空间分辨率 spatial resolution

精确分辨出空间两个放射性点源的能力，用点源或线源扩展函数的半高全宽表示。

3.5

固有空间分辨率 intrinsic spatial resolution

不带准直器时测得的空间分辨率。

3.6

系统空间分辨率 system spatial resolution

带准直器时测得的空间分辨率。

3.7

全身成像系统空间分辨率 whole body system spatial resolution

带准直器时采用全身扫描模式测得的空间分辨率。

3.8

固有积分均匀性 intrinsic integral uniformity

不带准直器时，均匀入射的 γ 射线在整个探头视野内计数密度的最大变化。

3.9

固有微分均匀性 intrinsic differential uniformity

不带准直器时，均匀入射的 γ 射线在整个探头视野内微小区间内计数密度的最大变化。

3.10

固有空间微分线性 intrinsic spatial differential linearity

不带准直器时，线源图像位置与线源物理位置间偏移的变异程度。

3.11

固有空间绝对线性 intrinsic spatial absolute linearity

不带准直器时，线源图像位置与线源物理位置在 X 方向和 Y 方向的最大偏移。

3.12

系统平面灵敏度 system planar sensitivity

对特定准直器，探头观察到的平面源计数率与活度之比。

3.13

旋转中心漂移 center of rotation offset

SPECT成像系统中机械旋转中心与计算机重建体层图像矩阵中心的不重合程度。

3.14

有效视野 useful field of view; UFOV

探头成像范围95%的有效区域。

3.15

中心视野 central field of view; CFOV

有效视野各边向中心方向收缩12.5%后，剩余的中心区域。

3.16

体积灵敏度 system volume sensitivity; SVS

对一个特定充满均匀放射性活度分布的圆柱形模体的整体系统灵敏度。

4 质量控制检测要求

4.1 一般要求

4.1.1 质量控制检测分为验收检测、状态检测和稳定性检测。

4.1.2 验收检测和状态检测应出具检测报告。

4.1.3 医疗机构、供应商应配合检测机构完成验收检测和状态检测。

4.2 验收检测要求

4.2.1 新安装的伽玛照相机、SPECT，应进行验收检测。验收检测应委托有资质的技术服务机构负责实施。

4.2.2 伽玛照相机、SPECT 验收检测前，医疗机构应有完整的技术资料，包括订货合同或双方协议、供应商提供的设备清单、设备性能指标、设备操作手册或使用说明书。

4.2.3 新安装的伽玛照相机、SPECT 验收检测结果应符合随机文件中所列产品性能指标、双方合同或协议中技术条款，但不应低于本标准的要求。供应商未规定的项目应符合本标准的要求。

4.3 状态检测要求

4.3.1 使用中的伽玛照相机、SPECT 应每年进行一次状态检测，状态检测应委托有资质的技术服务机构负责实施。使用1年以上的伽玛照相机、SPECT，移机、大修或更换重要部件后（如更换晶体或光电探测器），应进行状态检测。

4.3.2 设备状态检测中发现某项指标不符合要求，但无法判断原因时，应采取复测进行验证。

4.4 稳定性检测要求

4.4.1 使用中的伽玛照相机、SPECT，应按本标准要求进行定期进行稳定性检测。

4.4.2 稳定性检测应由医疗机构自身实施检测，不具备检测能力的医疗机构，应委托有检测能力的机构进行。

4.5 对检测报告及检测结果评价的要求

4.5.1 检测报告的基本内容应包括：被检单位基本信息、设备信息、检测项目、必要的检测条件、检测结果、相应标准要求及对检测指标的合格判定。

4.5.2 应对检测指标的合格与否给予判定，质量控制检测结果达到或优于规定值的指标判定为合格，否则为不合格。

4.6 记录和资料

4.6.1 伽玛照相机、SPECT 的质量控制检测原始记录、检测结果、获取数据的原始影像图像资料、发现的问题、采取的措施等资料，应在设备使用期间长期保存。

4.6.2 原始记录应包含委托单位名称、被检设备（场所）名称、被检设备型号规格、使用的主要仪器设备及编号、检测依据、检测项目、检测时间、检测地点和检测人、校核人（复核人）等信息。

4.6.3 伽玛照相机、SPECT 使用部门应保存有关伽玛照相机、SPECT 的资料。当设备的整套资料存放在负责设备管理或维修部门时，设备使用部门至少应有设备使用说明书。

4.7 对检测设备的要求

检测过程中用到的设备应进行检定、校准或核查，取得有效的检定或校准证书，检测结果应有溯源性。检测中使用的模体应符合本标准的要求，模体见本标准附录 A。

4.8 项目与技术要求

4.8.1 NaI 晶体类型的伽玛照相机、SPECT 质量控制检测项目与技术要求应符合本标准附录 B 中表 B.1 的要求。

4.8.2 CZT 类型的 SPECT 质量控制检测项目与技术要求应符合本标准附录 B 中表 B.2 的要求。

5 检测方法

伽玛照相机、NaI 晶体 SPECT 质量控制检测方法见本标准附录 C。CZT 类型 SPECT 质量控制检测方法见本标准附录 D。

各项检测之前，应对下列参数设置进行确认：

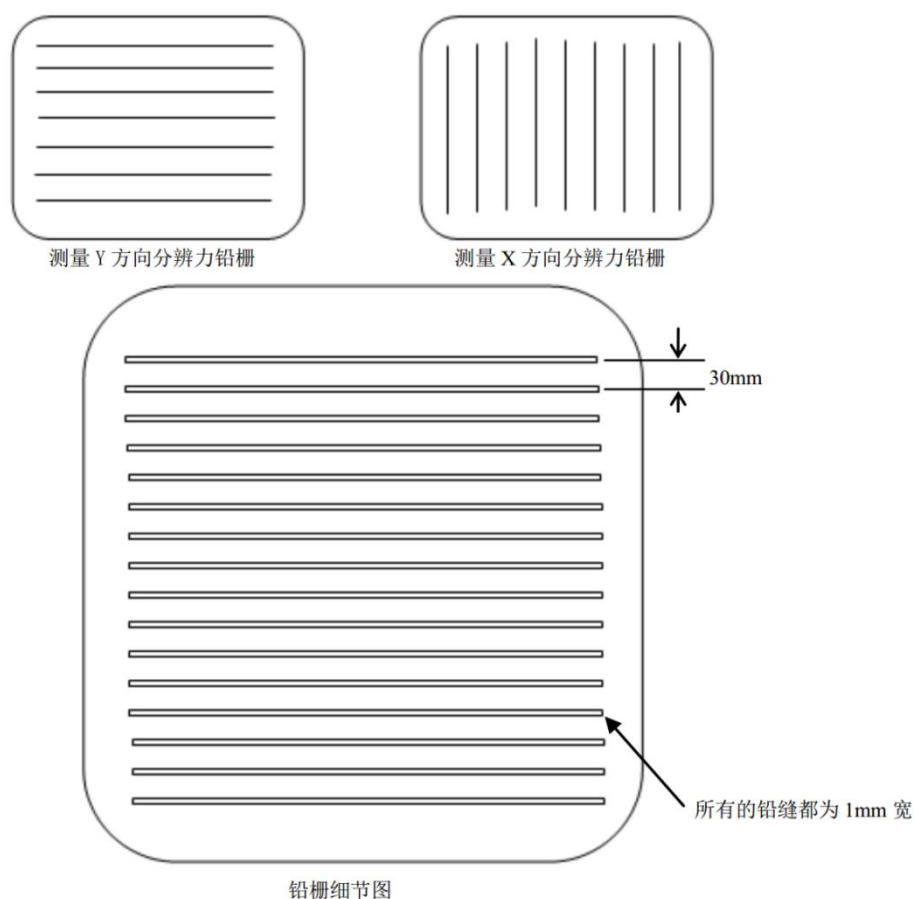
- a) 除非厂家有特殊说明，能峰（使用 ^{99}Tc 核素）一般设置为 140 keV，能窗设置为 $\pm 10\%$ ；
- b) 检测前，应在带准直器情况下，检查本底计数率和能峰是否符合要求。除非厂家有特殊说明，本底计数率应不大于 $3.0 \times 10^3 \text{ min}^{-1}$ ，能峰偏差（使用 ^{99}Tc 核素）不大于 $\pm 3 \text{ keV}$ 。

附 录 A
(资料性)
质量控制检测项目所需模体

伽玛照相机、SPECT质量控制检测项目所需模体见表A.1，狭缝铅栅模体见图A.1、四象限铅栅模体见图A.2、系统平面灵敏度模体见图A.3、平行双线源模体见图A.4、线源模体见图A.5、体积灵敏度模体见图A.6。

表 A. 1 伽玛照相机、SPECT 质量控制检测项目所需模体

编号	模体名称	适用设备设备类型	规格
1	X 方向狭缝铅栅	伽玛照相机、NaI 晶体 SPECT	狭缝方向为 X 方向，狭缝宽度 1 mm，相距 30 mm，铅的厚度不小于 3 mm
2	Y 方向狭缝铅栅	伽玛照相机、NaI 晶体 SPECT	狭缝方向为 Y 方向，狭缝宽度 1 mm，相距 30 mm，铅的厚度不小于 3 mm
3	四象限铅栅	伽玛照相机、NaI 晶体 SPECT	模体有 4 个象限，每个象限由互相平行、相同宽度的铅条和间隔构成。在同一象限中，铅条的宽度与间隔相同。按照铅条和间隔的宽度，从左下角开始，顺时针方向，由小到大依次为第一象限到第四象限。四象限铅栅模型铅条和间隔的典型宽度为 2 mm、2.5 mm、3 mm、3.5 mm
4	系统平面灵敏度模体	伽玛照相机、NaI 晶体 SPECT	平底塑料圆盘，内径为 15 cm，内高 10 mm，外高 20 mm
5	平行双线源模体	伽玛照相机、NaI 晶体 SPECT	两根线源平行，相距 100 mm，线源长度 400 mm，宽度不大于 1 mm，模板厚度 10 mm
6	线源模体	CZT 类型 SPECT	模体为丙烯酸(类)树脂圆柱体，外周高 20 cm，内径 20 cm。圆柱体内有一个直径 1 mm、长 20 cm 的线源。线源与圆柱模体的轴相平行，位于轴心
7	体积灵敏度模体	CZT 类型 SPECT	模体为丙烯酸(类)树脂圆柱体，外周高 20 cm，内径 20 cm



注1：铅栅的面积大于探头的视野。

注2：缝宽为 $1.0\text{ mm} \pm 0.02\text{ mm}$ 。

注3：缝之间的距离为 30 mm，铅厚度不小于 3 mm。

图 A.1 狭缝铅栅模体

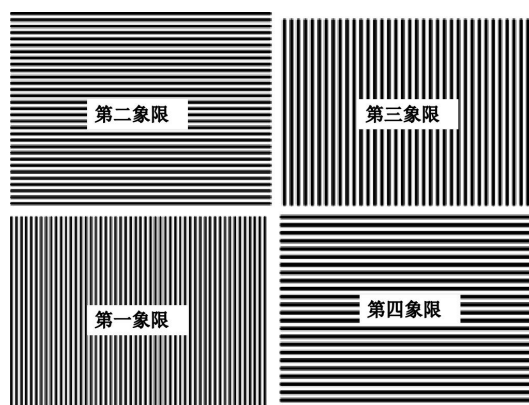


图 A.2 四象限铅栅模体

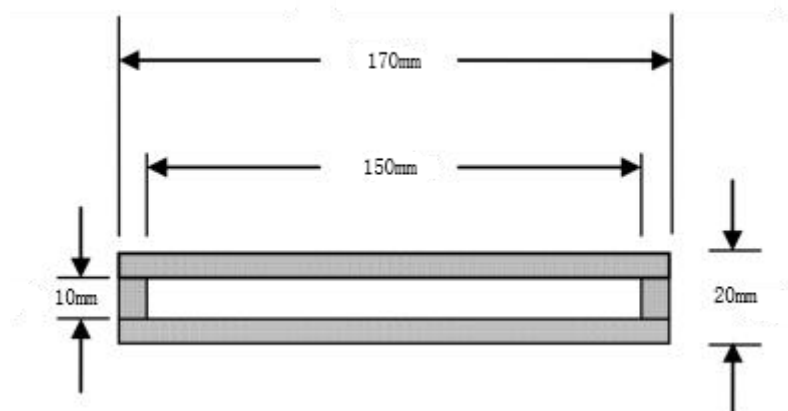
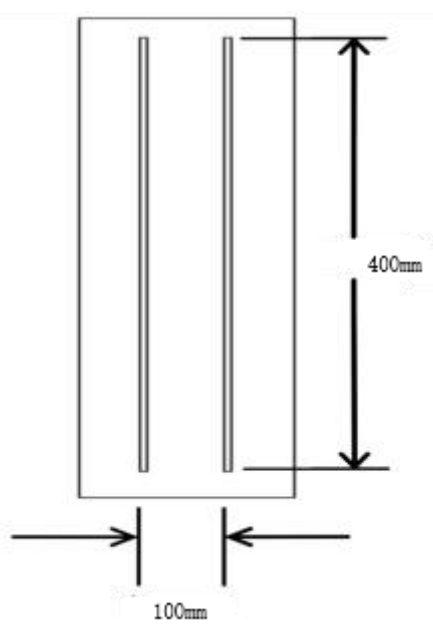


图 A. 3 系统平面灵敏度模体



注1：线源宽度不大于 1 mm。
注2：有机玻璃板厚度 10 mm。

图 A. 4 平行双线源模体

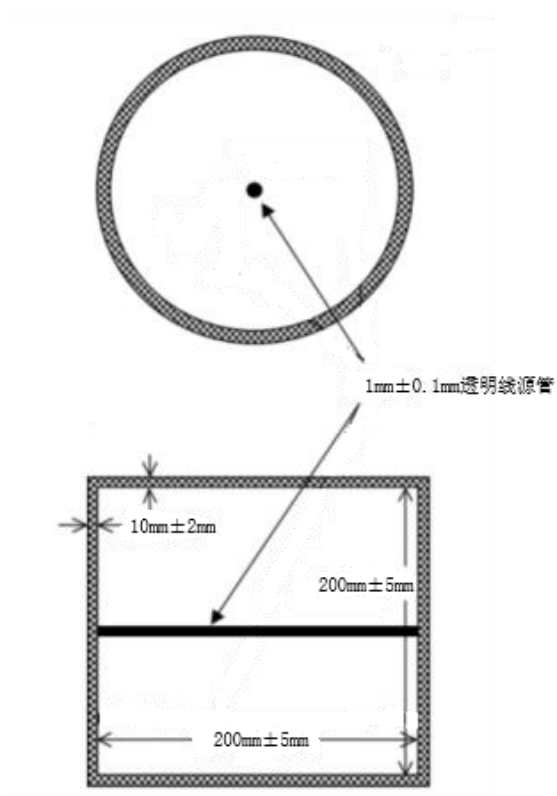


图 A.5 线源模体

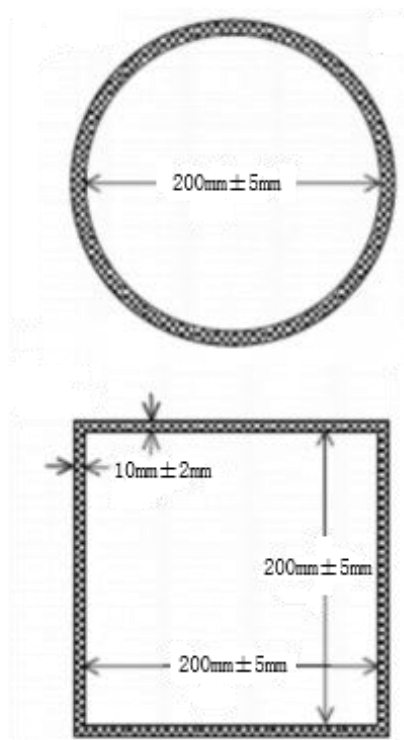


图 A.6 体积灵敏度模体

附 录 B
(规范性)
质量控制检测项目与技术要求

伽玛照相机、NaI晶体SPECT质量控制检测项目与技术要求应符合表B.1的要求，CZT类型SPECT质量控制检测项目与技术要求应符合表B.2的要求。

表 B.1 伽玛照相机、NaI 晶体 SPECT 质量控制检测项目与技术要求

序号	检测项目			验收检测要求	状态检测要求	稳定性检测	
						要求	周期
1	固有均匀性/%	积分均匀性	UFOV	≤4.5	≤5.5	≤5.5	一周
			CFOV	≤4.0	≤4.5	≤4.5	
		微分均匀性	UFOV	≤3.0	≤3.5	≤3.5	
			CFOV	≤2.5	≤3.0	≤3.0	
2	固有空间分辨力/mm		UFOV	≤5.0	≤5.5	≤5.5	六个月
			CFOV	≤5.0	≤5.5	≤5.5	
3	固有空间线性/mm	微分线性	UFOV	≤0.25	≤0.40	≤0.40	六个月
			CFOV	≤0.24	≤0.35	≤0.35	
		绝对线性	UFOV	≤0.60	≤0.85	≤0.85	
			CFOV	≤0.55	≤0.60	≤0.60	
4	系统平面灵敏度/（s ⁻¹ •MBq ⁻¹ ）			≥65	≥60	≥60	六个月
5	固有最大计数率/s ⁻¹			≥7.0×10 ⁴	≥6.7×10 ⁴	≥6.7×10 ⁴	六个月
6	系统空间分辨力/mm			≤9.5	—	—	—
7	全身成像系统空间分辨力/mm			≤15.0	≤15.5	—	—
8	旋转中心漂移/mm			≤1.5	≤2.0	≤2.0	六个月
注1：对多探头SPECT系统，检测报告中给出每个探头的检测结果。							
注2：报告中注明探头晶体厚度；需要使用准直器检测的项目，推荐使用低能高分辨力准直器，使用的准直器类型在报告中注明。							
注3：伽玛照相机测试指标为除“旋转中心漂移”以外其余7项指标。							
注4：采用狭缝铅栅方法测试固有空间分辨力和固有空间线性时，使用模型为X和Y方向独立的2块长方形模型，铅栅狭缝尺寸为1mm±0.02mm。							

表 B.2 CZT 类型 SPECT 质量控制检测项目与技术要求

序号	检测项目		验收检测要求	状态检测要求	稳定性检测	
					要求	周期
1	能量分辨力/%		$\leq 1.05 \times \text{标称值}$	$\leq 1.1 \times \text{标称值}$	—	—
2	系统均匀性/%	微分均匀性	$\leq 1.05 \times \text{标称值}$	$\leq 1.1 \times \text{标称值}$	$\leq 1.1 \times \text{标称值}$	一个月
		积分均匀性	$\leq 1.05 \times \text{标称值}$	$\leq 1.1 \times \text{标称值}$	$\leq 1.1 \times \text{标称值}$	
3	体积灵敏度/ $[\text{s}^{-1}/(\text{MBq}/\text{cm}^3)]$		$\geq 0.95 \times \text{标称值}$	$\geq 0.9 \times \text{标称值}$	$\geq 0.9 \times \text{标称值}$	六个月
4	带散射的断层空间分辨力/mm		$\leq 1.05 \times \text{标称值}$	$\leq 1.1 \times \text{标称值}$	$\leq 1.1 \times \text{标称值}$	六个月
注：检测报告注明SPECT适用能量范围。						

附录 C

(资料性)

伽玛照相机、NaI 晶体 SPECT 质量控制检测方法

C.1 固有均匀性

C.1.1 检测条件

检测所使用源为含 ^{99}Tc 的溶液，盛入试管或小安瓿瓶中，源在各方向的尺寸不大于 5 mm，活度约为 20 MBq。放射源置于探头表面中心距离应大于 2.3 m，宜大于 3.0 m。

C.1.2 数据采集与处理

泛源图像数据采集。卸下准直器，采用静态采集模式，采集总计数设置为 3.0×10^7 (30M)，图像矩阵设置为 64×64 或 256×256 。

C.1.3 数据分析

在进行均匀性计算之前，计算均匀性的泛源图像像素应按下述方法确定：

- 如果采集矩阵是 256×256 ，需转换成 64×64 ；
- UFOV 边界线上的像素，其面积的 50% 不在 UFOV 内，应不包括在均匀性计算内；
- UFOV 边界线上的像素，如果像素计数小于 CFOV 内平均值的 75%，应将其值设置为 0；
- 经过以上处理后，剩余非 0 值像素参与 UFOV 的均匀性计算和分析，并进行 9 点平滑，且只能平滑一次，9 点平滑滤波矩阵如下：

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

- CFOV 均匀性的数据计算和处理可参照 UFOV 进行。

固有积分均匀性：

在处理后的泛源图像内，分别在 UFOV 和 CFOV 内，找像素值的最大值和最小值，分别计算二者之间的差值及和值，按公式 (C.1) 计算积分均匀性：

$$IU = [(C_{\max} - C_{\min}) / (C_{\max} + C_{\min})] \times 100\% \quad \text{..... (C.1)}$$

式中：

IU ——固有积分均匀性；

$C_{\max}$ ——像素最大值；

$C_{\min}$ ——像素最小值。

固有微分均匀性：

在处理后的泛源图像内，应在 UFOV 和 CFOV 两个视野内计算微分均匀性。分别从像素行和列的起始端开始，每相邻 5 个像素为一组，逐个向后递增，直至列和行的末端。在每 5 个像素组中，找最大像素值和最小像素值，取差值最大的两个像素值，按公式 (C.2) 计算均匀性，在 X 方向和 Y 方向的最大百分值，为微分均匀性。

$$DU = [(C'_{\max} - C'_{\min}) / (C'_{\max} + C'_{\min})] \times 100\% \quad \text{..... (C.2)}$$

式中：

DU ——固有微分均匀性；

$C'_{\max}$ ——像素最大值；

$C'_{\min}$ ——像素最小值。

C.2 固有空间分辨力和固有空间线性

C.2.1 狭缝铅栅方法

C.2.1.1 检测条件

检测所使用源为含⁹⁹Tc^m的溶液。将溶液盛入试管或小安瓿瓶中，体积小于1 mL，源在各方向的尺寸不大于15 mm，活度约为200 MBq~400 MBq，放射源距探头表面中心的距离应大于1.5 m。

C.2.1.2 数据采集

卸下准直器，用狭缝铅栅模体进行图像采集。狭缝铅栅模体为1 mm宽狭缝相距30 mm铅板构成，铅的厚度不小于3 mm。狭缝铅栅模型包括 X 和 Y 两个方向（见本标准的图A.1）。从探头上卸下准直器，置狭缝铅栅模体于探头表面，使铅栅模体的栅缝分别平行于探头的 X 轴和 Y 轴，以检测 Y 和 X 两个方向的空间分辨力。采用静态采集模式，采集矩阵 512×512 ，采集的总计数为 2×10^7 （20 M）。

C.2.1.3 数据分析

C.2.1.3.1 固有空间分辨力

数据处理过程按下述方法进行。

- 为保证线扩展函数的精度，垂直每条狭缝方向的取样应小于或等于0.2 FWHM（厂家标称值），平行狭缝方向的取样小于或等于30 mm。
- 计算线扩展函数时，如果获取的数据为二维矩阵，应将平行于狭缝方向不大于30 mm内的数据叠加形成一维线扩展函数。对每条线扩展函数以像素为单位求出对应的峰位、峰值和半高全宽。
- 将像素单位转换为距离单位（mm），转换系数用视野内线扩展函数峰位差的平均值（像素单位）和模体狭缝间的已知距离（30 mm）获得，或采用设备生产厂家给出的值。
- 分别计算UFOV及CFOV内， X 和 Y 两个方向半高全宽的平均值，报告为探头的空间分辨力，单位为毫米（mm），数值精确到0.1 mm。

C.2.1.3.2 固有空间线性

数据处理应按下述方法确定：

- 线扩展函数、线扩展函数峰位的获取以及像素与距离的转换均与本标准第C.2.1.3.1条相同；
- 线源物理位置的确定，铅栅模体图像上狭缝的位置可用同一条狭缝上若干线扩展函数峰位的拟合曲线替代，拟合方法为最小二乘法；
- 拟合曲线要对所有狭缝进行；
- 线扩展函数峰位与拟合曲线的最大偏差为绝对线性，线扩展函数的峰位差的标准差为微分线性；
- 绝对线性的报告值为 X 方向和 Y 方向的最大值，微分线性的报告值为 X 和 Y 两个方向的平均值，单位为毫米（mm），精确到0.01 mm，固有空间线性应在UFOV和CFOV两个视野内分别报告。

C.2.2 四象限铅栅方法

C.2.2.1 检测条件

检测所使用源为含⁹⁹Tc^m的溶液。将溶液盛入试管或小安瓿瓶中，体积小于1mL，源在各方向的尺寸不大于15 mm，活度约为20 MBq~40 MBq，放射源距探头表面中心的距离应大于1.5 m。

C.2.2.2 数据采集

卸下准直器，使用四象限铅栅模体进行图像采集。四象限铅栅模体分4个象限，每个象限由互相平行，相同宽度的铅条和间隔构成。在同一象限中，铅条的宽度与间隔相同。四象限铅栅模型，按照铅条和间隔的宽度，从左下角开始，顺时针方向，由小到大依次为第一象限到第四象限。四象限铅栅模型铅条和间隔的典型宽度为2 mm、2.5 mm、3 mm、3.5 mm（见本标准的图A.2）。从探头上卸下准直器，置四象限铅栅模体于探头表面，使铅栅模体的栅缝分别平行于探头的 X 轴和 Y 轴。采集矩阵 512×512 （或能达到的最大矩阵），采集的总计数为 5×10^5 （500k）。依次旋转四象限铅栅模型 90° 、 180° 、 270° ，在相同条件下，再进行采集，共采集4幅图像。如果四象限铅栅模型小于探头视野，采集时应用3 mm铅皮遮挡探头的其他视野。

C.2.2.3 数据分析

C.2.2.3.1 固有空间分辨力

用目测的方法,分辨四象限铅栅模型图像中最小间隔的宽度,空间分辨力为最小间隔宽度乘以1.75,单位为毫米(mm)。报告值为四象限铅栅模型在4个方位分辨力的平均值。

C.2.2.3.2 固有空间线性

目测判定是否有线性畸变。

C.2.3 方法选择

验收检测和状态检测应使用本标准第C.2.1条检测方法;稳定性检测时,可使用本标准第C.2.2条判定方法,宜使用狭缝铅栅方法。四象限铅栅模体图像间隔无弯曲,线性良好;图像间隔明显弯曲,线性不合格(结果中注明使用的四象限铅栅的4个缝宽尺寸)。

C.3 固有最大计数率

C.3.1 检测条件

检测使用的核素为含⁹⁹Tc^m的溶液,活度约37 MBq,距离探头表面中心的距离为2 m。

C.3.2 数据采集

从探头上卸下准直器,置探头表面与地面垂直。源置于距离探头表面中心2 m以上距离。将机器设置为静态采集模式,采集矩阵大小不限。开始采集后,观察显示器上放射源计数率。将放射源逐渐向探头表面移动,观察显示器上放射源计数率从小到大,然后又从大到小的变化,记录开始下降时的计数率。

C.3.3 数据分析

放射源移动至某一位置时将达到最大计数率,该计数率即为最大计数率,单位为s⁻¹。

C.4 系统平面灵敏度

C.4.1 检测条件

测量所使用源为含⁹⁹Tc^m的溶液,活度约为40 MBq。用活度计精确测量净活度 A ,并记下测量活度时刻 $t_{\text{活度}}$ 。将精确测量的含⁹⁹Tc^m的溶液放入平面灵敏度模体中(内径为15 cm的平底塑料圆盘,见本标准的图A.3),并加水至高度2 mm~3 mm。

C.4.2 数据采集

在探头上安装低能准直器,对系统平面灵敏度模体进行静态图像采集。采集时,关闭均匀性校准功能,置系统平面灵敏度模体于探头中心位置,距准直器表面10 cm。采集条件:采集矩阵256×256,采集时长 $T_{\text{采集}}$ 5 min。精确记录开始采集的时刻 $t_{\text{采集}}$ 及图像总计数 N 。以上数据应重复采集不少于3次,结果为多次采集的平均值。

C.4.3 数据分析

按公式(C.3)计算系统平面灵敏度:

$$S = N \times e^{[(t_{\text{采集}} - t_{\text{活度}}) \times \ln 2 / T_{1/2}]} \times (\ln 2 / T_{1/2}) \times [1 - e^{(-T_{\text{采集}} \times \ln 2 / T_{1/2})}]^{-1} \times A^{-1} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

S ——系统平面灵敏度,单位为s⁻¹·MBq⁻¹;

N ——总计数;

$t_{\text{采集}}$ ——图像采集的时刻;

$t_{\text{活度}}$ ——测量净活度 A 的时刻;

$T_{1/2}$ ——放射性核素的半衰期，单位为秒（s）；

$T_{\text{采集}}$ ——图像的采集持续时间，单位为秒（s）；

A ——注入模体的放射性核素的净活度，单位为兆贝可（MBq）。

C.5 系统空间分辨力

C.5.1 检测条件

检测所使用的模体为平行双线源模体（见本标准的图 A.4），测量所使用的源为含 $^{99}\text{Tc}^m$ 的溶液，体积约 1 mL，活度约为 74 MBq。

C.5.2 数据采集

平行线源模体图像静态采集。探头配低能准直器，采集矩阵 512×512 。将平行双线源模体置于距探头准直器表面 10 cm 距离，悬空放置。平行双线源模体应位于视野中心，并分别平行于探头的 X 方向和 Y 方向。每个探头采集总计数不小于 1×10^6 （1 M）。

C.5.3 数据分析

如果线扩展函数采集的数据为二维矩阵，应将平行于狭缝方向的不大于 30 mm 数据叠加形成线扩展函数。对每条线扩展函数以像素为单位，找出峰值、峰位，并求出半高全宽。用两条线扩展函数的峰位宽度（像素单位）和两条线源的物理距离（100 mm）之比，可将像素值转换为毫米，或采用设备生产厂家给出的值。空间分辨力报告应取 X 方向和 Y 方向空间分辨力的平均值，精确到 0.1 mm。

C.6 全身成像系统空间分辨力

C.6.1 检测条件

检测条件同本标准第 C.5.1 条。

C.6.2 数据采集

用本标准的图 A.4 的平行双线源模体采集全身图像。SPECT 全身成像系统空间分辨力的测试，包括垂直和平行于运动方向分辨力的测试。SPECT 探头配低能准直器。将平行双线源模体置于检查床上，并分别使线源平行于和垂直于扫描床的运动方向，其中一根线源的中心点与扫描床的中心点重合，线源距准直器距离为 20 cm。采集矩阵 256×1024 或默认矩阵，扫描长度 195 cm；采用连续走床采集模式，走床速度设定为 15 cm/min。

C.6.3 数据分析

如果获取的数据为二维矩阵，应形成不大于 30 mm 宽，将平行于线源方向的数据叠加形成线扩展函数。对每条线扩展函数以像素为单位，最大值及相邻 2 点用抛物线拟合法确定峰值，峰值一半处相邻 2 点使用线性插值法确定半高位置并以此计算半高全宽。以毫米（mm）为单位，至少精确到 0.1 mm，报告计算得到的垂直于和平行于运动方向的空间分辨力的平均值。

C.7 旋转中心漂移

C.7.1 检测条件

检测所使用源为含 $^{99}\text{Tc}^m$ 的溶液，点源活度约为 37 MBq，体积约为 0.1 mL，源在各方向的尺寸不大于 5 mm。

C.7.2 数据采集

断层图像采集。置点源于旋转中心所在横向视野 X 方向偏离中心 5 cm 位置，探头旋转半径为 20 cm，图像矩阵为 256×256 ，每 6° 一帧，每帧采集 10s，放大倍数为 1，旋转方向为顺时针，断层图像采集 360° 。

C.7.3 数据分析

计算每帧点源图像的坐标值。根据每帧点源图像 X 方向和 Y 方向的坐标值，采用最小二乘法进行正弦和直线拟合， X 方向漂移值为拟合中心与图像几何中心之差， Y 方向漂移值为拟合值的最大残差，单位为毫米（mm）。

附 录 D
(资料性)
CZT 类型 SPECT 质量控制检测方法

D.1 能量分辨力

D.1.1 检测条件

检测使用的源为 ^{57}Co 或 $^{99}\text{Tc}^m$ ，线源或点源，活度约为 40 MBq，放射源置于探头视野中心。

D.1.2 数据采集

对 ^{57}Co 或 $^{99}\text{Tc}^m$ 进行类泛源采集，探头总计数不低于 2.0×10^7 (20 M)。

D.1.3 数据分析

对 ^{57}Co 和 $^{99}\text{Tc}^m$ 两种核素的类泛源图像，计算能谱曲线。在每个能谱曲线上，计算能谱曲线的峰值和半高全宽，用道数表示。由 $^{99}\text{Tc}^m$ 和 ^{57}Co 的能量差和峰位差（道数值），得校准因子（keV/道）。用能峰中心值除以半高全宽，得出能量分辨力，用百分数值表示。

D.2 系统均匀性

D.2.1 检测条件

放射源为 ^{57}Co 或 $^{99}\text{Tc}^m$ ，活度约为 40 MBq 放射源置于探头视野中心。

D.2.2 数据采集

对 ^{57}Co 或 $^{99}\text{Tc}^m$ 进行类泛源采集，多探头总计数不低于 2.0×10^7 。

D.2.3 数据分析

系统积分均匀性和系统微分均匀性数据分析方法同本标准第 C.1.3 条。

D.3 带散射的断层空间分辨力

D.3.1 检测条件

采用线源模体测试带散射的断层空间分辨力。将放射性浓度大于 740 MBq/mL 的含 $^{99}\text{Tc}^m$ 的溶液注入线源管中。线源模体见本标准的图 A.5，模体外周为一长 20 cm，内径 20 cm 的丙烯酸（类）树脂圆柱体，内有一个直径 1 mm，长 20 cm 的线源，线源位于圆柱体的轴心，与圆柱模体的轴相平行。模体中充满水，放置于探头视野中心。

D.3.2 数据采集

使用临床采集条件进行数据采集，采集的视野应包含整个线源，采集时间不低于 30 min。

D.3.3 数据分析

计算线源图像 X 方向和 Y 方向的半高全宽，用两个方向的平均值表示 SPECT 带散射的断层空间分辨力，单位毫米（mm）。

D.4 体积灵敏度

D.4.1 检测条件

将活度约为 74 MBq 的 $^{99}\text{Tc}^m$ 放射源均匀注入体积灵敏度模体内。

模体见本标准的图 A.6。

D.4.2 数据采集

应使模体内的放射性溶液充分混合均匀。将模体放置于系统成像区域的中心，并使其对称轴与SPECT系统的旋转轴重合。数据采集应采用临床采集模式，采集图像总数不少于120帧或时间不少于20分钟。采集完成后，记录采集所需的总时间，包括在投影角之间移动所需的时间。

D.4.3 数据分析

用成像的总计数除以总时间，计算数据采集的平均计数率 $\bar{A}$ （单位为 s^{-1} ）。根据 $^{99}Tc^m$ 核素的半衰期，计算采集中间时刻的放射源活度浓度 B_c 。

采集中间时刻的放射源活度浓度 B_c 按公式(D.1)计算：

$$B_c = A_0 \times (0.5)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \times V^{-1} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

B_c ——放射源活度浓度，单位为兆贝可每立方厘米（MBq/cm³）；

A_0 ——初始活度，单位为兆贝可（MBq）；

t ——测量活度时刻至采集中间时刻经过的时间，单位为秒（s）；

$T_{1/2}$ ——放射源的半衰期，单位为秒（s）；

V ——模体内体积，单位为立方厘米（cm³）。

系统体积灵敏度 S_{vol} 按公式(D.2)计算：

$$S_{vol} = \frac{\bar{A}}{B_c} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中：

S_{vol} ——系统体积灵敏度，单位为 $s^{-1}/(MBq/cm^3)$ ；

$\bar{A}$ ——平均计数率，单位为每秒（ s^{-1} ）；

B_c ——采集中间时刻 T 的放射源活度浓度，单位为兆贝可每立方厘米（MBq/cm³）。

参 考 文 献

[1] National Electrical Manufacturers Association. NEMA standards publication NU 1-2023: Performance Measurements of Gamma Cameras, 2023.

[2] International Atomic Energy Agency. IAEA HUMAN HEALTH SERIES No. 6. Quality Assurance for SPECT Systems, 2009.
