

GEMINI GXL16 PET-CT 的验收与 NEMA 标准的应用

李德志 赵新明 何洪涛 孙如铁 陈盛祖

【摘要】目的 依照美国国家电气制造协会(NEMA)最新版 NEMA NU 2-2001 标准,对飞利浦公司生产的 GEMINI GXL16 PET-CT 仪进行验收和性能评估。**方法** 使用 NEMA NU 2-2001 标准的测试模型和测试方法,对 PET 的空间分辨率、能量分辨率、散射分数、计数丢失、灵敏度、PET 与 CT 图像的融合精度等参数进行测试。**结果** 空间分辨率[(半高宽) mm]轴向为 6.06(0 cm)和 6.44(10 cm),横向为 4.65(1 cm)和 5.98(10 cm);散射分数为 34.27%;能量分辨率为 18%;中心(0 cm)和偏离中心 10 cm 处的灵敏度分别为 8312 和 8472 (计数 \cdot s $^{-1}$ \cdot MBq);等效噪声计数率为 53.29 \times 10³ 计数/s;清楚分辨直径为 10 mm 的最小热球;PET 与 CT 图像融合无偏离(模型)。**结论** 该 PET-CT 仪的 PET 部分被测试指标均达到出厂要求,通过验收。

【关键词】 正电子发射断层显像术;体层摄影术, X 线计算机;质量控制

Acceptance tests and performance evaluation for GEMINI GXL16 PET-CT

LI De-zhi*, ZHAO Xin-ming, HE Hong-tao, SUN Ru-tie, CHEN Sheng-zu.

(*Department of Nuclear Medicine and PET-CT, The Fourth Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050011, China)

【Abstract】Objective To evaluate the performance specification of PHILIPS GEMINI GXL16 PET-CT through the acceptance tests. **Methods** Acceptance tests of GEMINI GXL16 PET-CT consist of PET performance measurements and the precise measurement of imaging fusion. The performance measurement of PET was based on NEMA standard (NU 2-2001 version). **Results** Spatial resolution (FWHM, mm) was 6.06/6.44 (axial, 2D/3D) and 4.65/5.98 (transverse, 2D/3D). Scatter fraction (SF) was 34.27 %. Energy resolution was 18 %. Sensitivity (counts \cdot s $^{-1}$ \cdot MBq $^{-1}$) was 8312/8472 (center/10cm). Noise equivalent count rate was 53.29 kcps. The phantom imaging can recognize small sphere with diameter 10 mm and the imaging fusion was precise. **Conclusion** The PET measurement results of the PET-CT met the requirement of manufacture's standard, therefore acceptance test was approved.

【Key words】 Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Quality control

2008 年 8 月笔者联合生产厂家的工程师、外请国内本专业知名专家组成验收组,根据美国国家电气制造商协会(national electrical manufacturers association, NEMA)最新版测试标准 NEMA NU 2-2001,对一台安装好的飞利浦公司生产的 GEMINI GXL16 PET-CT 仪进行了验收。主要进行了 PET 性能测试^[1]及 PET、CT 图像的融合精度测试。经认真测试,

该机各项指标达到出厂要求,通过验收,现报道如下。

1 材料与方法

测试模型的制备、测试步骤和数据处理均按 NEMA NU2-2001 标准^[2]进行,并参考生产厂家提供的测试技术手册,测试指标包括 PET 的空间分辨率、能量分辨率、灵敏度、计数丢失、散射分数和图像融合精度。

PET 性能测试前应注意以下事项:①确保系统开机 12 h 以上;②确保 PET 系统每日质控成功,没有错误提示;③PET 服务器硬盘中至少要有 6.0 GB 的空间;④使计算机显示时间与放射性

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2010.04.011

基金项目:河北省普通高等学校强势特色学科肿瘤学组资助(冀教高[2005]52)

作者单位:050011 石家庄,河北医科大学第四医院核医学科及 PET-CT 中心(李德志,赵新明);100005 北京,飞利浦中国有限公司(何洪涛,孙如铁);100021 北京,中国医学科学院肿瘤医院核医学科(陈盛祖)

通信作者:赵新明(E-mail: xinm_zhao@yahoo.com.cn)

核素(如 ^{18}F) 剂量校准时间同步。

1.1 测试模型

1.1.1 空间分辨率测试模型

①点源制作: 所用 ^{18}F 溶液不稀释, 比活度在 1480~2220 MBq/ml 最好。用注射器针头滴 1 滴在玻璃板或胶片上, 用长度为 100 mm、内径 ≤ 1 mm、外径 ≤ 2 mm 的毛细管吸取 2~5 mm ^{18}F 溶液, 制成的点源活度在 1.85~3.70 MBq 为最佳; ②点源位置: 将 3 个点源固定在一个 XY 平面支架上, 分别是 $X=0$ cm、 $Y=1$ cm; $X=0$ cm、 $Y=10$ cm; $X=10$ cm、 $Y=0$ cm; ③点源和平面支架固定在扫描床前端(图 1)。

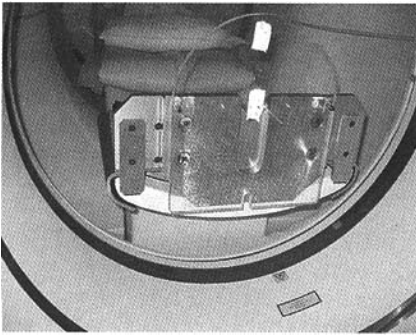


图 1 PET 空间分辨率测试模型

1.1.2 灵敏度测试模型

①模型体: 由 5 支管长为 700 mm, 外径分别为 6.4 mm、9.5 mm、12.7 mm、15.9 mm、19.1 mm 的铝套管套叠在一起组成, 形成一个 5 层可增减数量的活动套管。②线源制作: 将直径为 1 mm、长度为 800 mm 的软管一端封堵, 注入 ^{18}F 液体, 制成液体比活度为 7.4 MBq/3ml(比活度为 2.5 MBq/ml), 长度不小于 700 mm, 活度为 2.96~7.4 MBq, 将软管插入直径最小的金属套管内; ③模型用支架固定在扫描床的前端(图 2)。

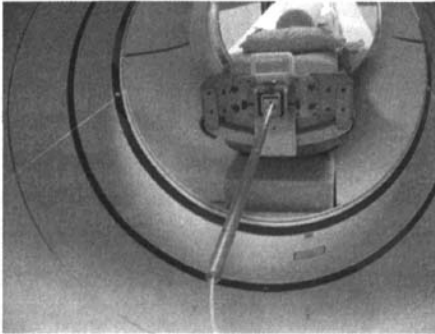


图 2 PET 灵敏度测试模型

1.1.3 计数丢失和随机符合计数(等效噪声计数)测试模型

①模型体: 用固体聚乙烯材料制成直径为 203 mm、长度为 700 mm 的柱状体, 在距其中心半径为 45 mm 处, 沿模型长轴开一个直径为 6.4 mm 的圆孔; ②线源制作: 将长度为 800 mm、内径为 3.2 mm、外径为 4.8 mm 的聚乙烯胶管一端用堵头封堵, 管内注满比活度为 555 MBq/5.6ml 的 ^{18}F 液体(比活度为 100 MBq/ml), 液体长度不小于 700 mm, 活度为 481~555 MBq; ③将制备好的线源插入模型体的小孔内, 模型放置在扫描床上, 模型和扫描床的长轴一致(图 3)。

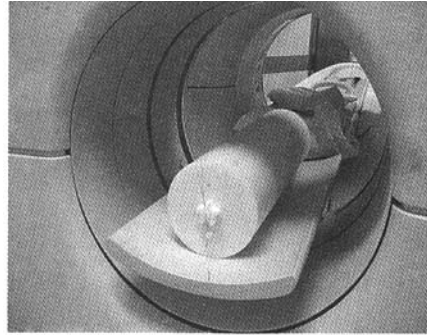


图 3 PET 计数丢失和随机符合计数测试模型

1.1.4 散射分数测试模型

模型与 1.1.3 节中的计数丢失和随机符合计数测试模型相同。

1.1.5 图像质量测试模型

①模型描述: 内部长度至少为 180 mm 的体模(body phantom), 材料为有机玻璃, 内有 6 个内径分别是 10、13、17、22、28 和 37 mm 的可充填空心球。②注入 ^{18}F 溶液: 先在体模中 4 个最小的空心球中充入 1/4 容量的水, 加入 74 MBq 的 ^{18}F 溶液混匀, 模拟热区病灶; 2 个最大的空心球内注入清水(不含放射性), 模拟冷区病灶; 再将整个体模用清水充满作为本底活性溶液, 模拟正常人体组织本底。同时使用固体聚乙烯柱状体测试模型, 将直径为 3.2 mm、长度为 800 mm 的软胶管一端封堵, 注入 148 MBq/5.6 ml 的 ^{18}F 溶液(比活度为 100 MBq/ml), 将软胶管插入固体聚乙烯柱状体模型的小孔内。③体模在前, 固体聚乙烯柱状体测试模型紧邻其后, 置于扫描床上。用定位灯调整体模的位置, 使所有球体的中心对应于扫描仪的中心层(图 4)。



图4 PET图像质量测试模型

1.1.6 临床全身扫描测试模型

使用体模和 300 mm 系统测试模型 (该模型直径为 300 mm)。体模条件与图像质量测试 (1.1.5 节) 相同, 做完上一项后直接用其做此项测试。300 mm 系统测试模型中先注入 90% 的水, 然后注入 148 MBq 的 ^{18}F 溶液, 混匀后再将模型充满水。300 mm 系统测试模型由专用支架固定在扫描床的前端, 体模顺放其后 (图 5)。

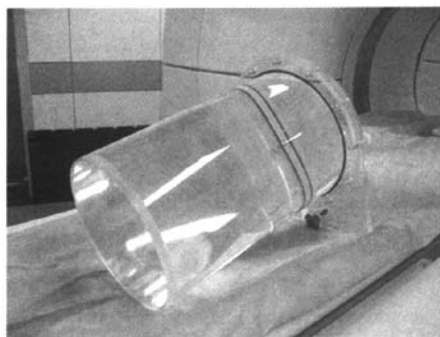


图5 300 mm 系统测试模型

1.1.7 能量分辨率测试模型

使用每日质控模型, 专用支架上装有放射性点源 ^{22}Na , 活度为 3.7 MBq (图 6)。

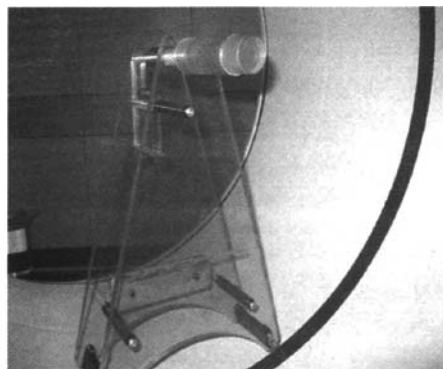


图6 PET 每日质控模型

1.2 性能指标测试

1.2.1 空间分辨率

空间分辨率是 PET 系统分辨 2 个相邻点源或线源的能力, 用点源或线源伸展函数的半高宽表示, 单位为 mm。本次验收使用点源测试。用长度为 100 mm 的毛细管吸取 2~5 mm、活度为 1.85~3.70 MBq (3.70 MBq 最佳) 的 ^{18}F 溶液, 用激光定位线将模型置于视野中心。模型的采集、处理由仪器提供的测试程序自动完成, 并给出空间分辨率测试结果。

1.2.2 散射分数

散射分数表征 PET 系统对散射计数的敏感程度。散射分数越小, 系统剔除散射线的能力越强。散射分数是散射计数在总计数中所占的百分比, 测量散射分数所用的活度要足够低, 在该活度下产生的死时间计数丢失和随机符合计数均 $< 1\%$ 。用 ^{18}F 线源在水模中产生的散射评估散射分数。线源在全视野中的计数为总计数, 线源垂直轴向, 半径为 2 cm 内的计数为真实计数。为评估整个扫描视野内的散射效应, 将线源分别置于距离中心 0 cm、5 cm 和 9 cm 的 3 个位置, 计算散射分数时取加权平均值。

1.2.3 灵敏度

灵敏度是 PET 系统在低活度情况下对单位浓度放射源的敏感程度, 或称放射性活度下每秒产生的计数, 单位为 计数 $\cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$ 。测量灵敏度的关键是初始活度测量要精确, 并记录测量时间。另外, 用于测试的源活度要低, 此时的计数丢失和随机符合计数可忽略不计。本测试通过改变衰减体的厚度模拟放射源剂量的变化, 从而推算没有衰减情况下 PET 系统的灵敏度。测试时模型固定在支架上, 模型与扫描床长轴平行, 用激光定位线将模型定位在有效视野中心。采集过程中可依次去掉各层铝套管, 共采集 5 次。模型的采集、处理由设备提供的测试程序自动完成。

1.2.4 计数丢失和随机符合计数 (等效噪声计数)

该测试的目的是评估系统对高活度、高符合计数率采集的耐受能力, 它与 PET 系统死时间、脉冲堆积符合时间窗有关。本测试使用了固体聚乙烯材料的柱状体测试模型进行, 在胶管内注入 555 MBq 的 ^{18}F 溶液, 使用激光定位线将模型定位在有效视野中心。模型的采集、处理由仪器提供

的测试程序自动完成。

1.2.5 图像质量测试

该项测试使用了2个模型,体模和固体聚乙烯柱状体测试模型,体模内注有74 MBq的¹⁸F溶液,固体聚乙烯柱状体测试模型胶管内注有148 MBq的¹⁸F溶液。测试时体模置于扫描床前端,固体聚乙烯柱状体测试模型与其相邻,模型长轴与扫描床的长轴一致。测试由启动仪器提供的Image Quality测试程序自动完成。

1.2.6 临床全身扫描测试

此项测试也使用了2个模型,其中体模的准备与图像质量测试(1.2.5节)相同。300 mm系统测试模型内注入了148 MBq的¹⁸F溶液,测试时,300 mm系统测试模型由支架固定在扫描床的前端,体模紧邻其后,启动临床全身扫描程序,完成一次完整的PET-CT扫描采集,用Ramp滤波重建CT及PET横断层图像,并进行图像融合。从PET模型断层图像上观察分辨最小球的直径,作为空间分辨评估。观察空白区图像,评估均匀性和伪影。计算“冷”、“热”区比值的对比度。

1.2.7 能量分辨率测试

将每日质控模型放置在PET机架孔洞中的特定位置,装入²²Na源,使其位于所有PET探测器的中心,启动能量分辨率测试程序,仪器自动完成计数并计算半高宽的百分比。测量曲线越尖锐、百分比越小则表示所有PET探测器的一致性越好。

2 结果

2.1 PET性能测试结果

PET性能测试能量分辨率、轴向空间分辨率(0 cm及10 cm处)、横向空间分辨率(1 cm及10 cm处)、灵敏度(中心及偏离中心10 cm处)、等效噪声计数率及散射分数与出厂值比较,各参数均优于出厂值,结果见表1。

2.2 PET总体性能评估

PET模型重建横断面图像质量良好,PET与

CT图像融合无偏离。断面放射性分布均匀,无明显伪影,分辨率测试断面可清晰分辨直径为10 mm的最小热球。实测数据曲线图见图7至图12。

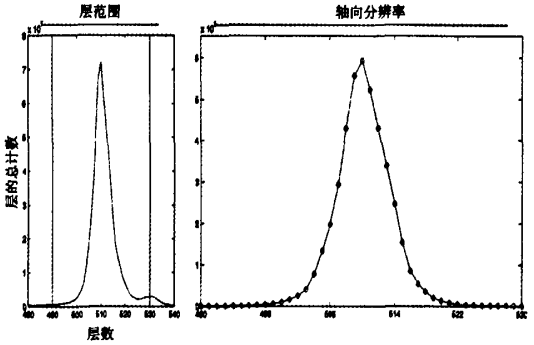


图7 GEMINI GXL16 PET-CT仪0 cm处轴向空间分辨率

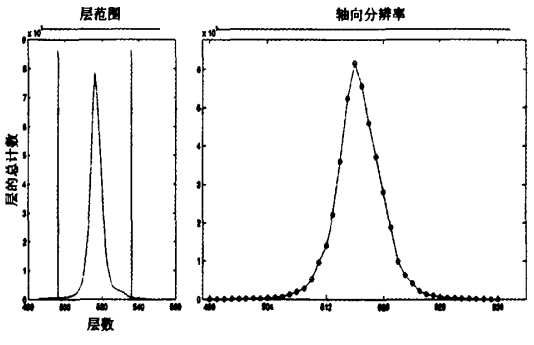


图8 GEMINI GXL16 PET-CT仪10 cm处轴向空间分辨率

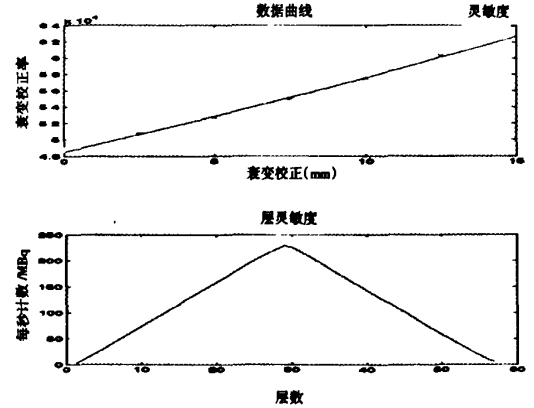


图9 GEMINI GXL16 PET-CT仪中心处灵敏度

表1 PET性能测试结果与出厂值比较

| | 能量分辨率 (%) | 轴向空间分辨率 (mm) | | 横向空间分辨率 (mm) | | 灵敏度 (计数·s ⁻¹ ·MBq ⁻¹) | | 等效噪声计数率 (×10 ³ ·计数/s) | 散射分数 (%) |
|-----|--------------|-----------------|-------|-----------------|-------|---|-------|-------------------------------------|-------------|
| | | 0 cm | 10 cm | 1 cm | 10 cm | 0 cm | 10 cm | | |
| 实测值 | 18 | 6.06 | 6.44 | 4.65 | 5.98 | 8312 | 8472 | 53.29 | 34.27 |
| 出厂值 | ≤18 | <6.5 | <7.0 | <5.7 | <6.5 | ≥6800 | ≥7100 | ≥60 | <40 |

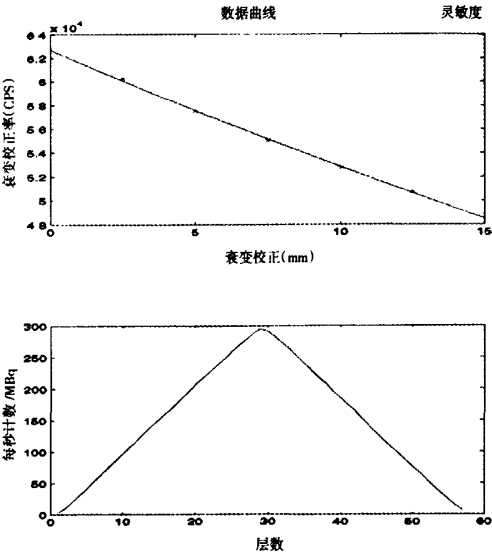


图 10 GEMINI GXL16 PET-CT 仪 10 cm 处灵敏度

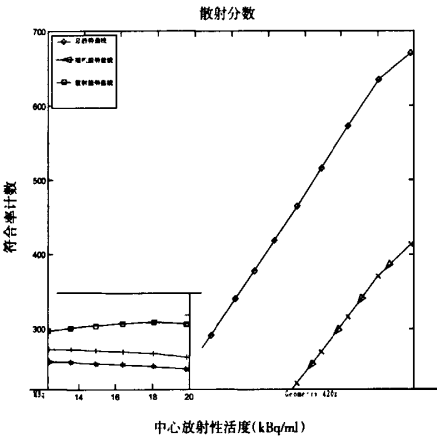


图 11 GEMINI GXL16 PET-CT 仪散射分数

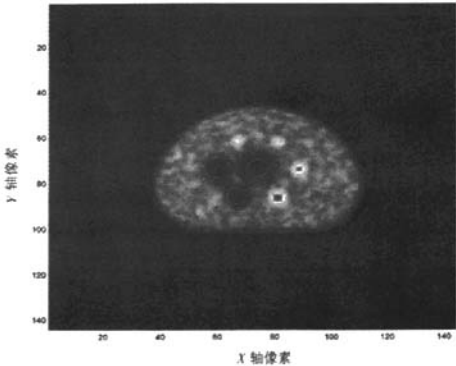


图 12 GEMINI GXL16 PET-CT 仪图像质量

3 讨论

PET-CT 的验收工作是国家对大型医疗设备管理的要求,是设备保修期限认定的起始日期,本验收依据厂商提供的出厂性能指标及测试步骤,对飞利浦公司生产的 GEMINI GXL16 PET-CT 仪进行了逐项测试,被测试指标均达到出厂要求,通过验收。考虑到放射源利用的安全问题,测试次序和时间的合理安排非常重要。

强调测试过程中使用的活度计(放射性活度计量仪)很重要,测试源活度的精准度将直接影响测试结果。例如,灵敏度测试是 PET 系统从单位浓度放射源探测到的真实符合事件的每秒计数率,初始活度测量的准确度和测量时间就显得尤为重要。测试前注意调整计算机显示时间与剂量校准时间同步。所用活度要低,满足计数丢失低于 1%,随机符合率低于真符合率的 5%。由于模型制备步骤繁杂,要求概念清晰,计算准确,应事先制定详细的实验步骤。由于 ^{18}F 的半衰期比较短,部分模型的制备又需要较长时间,要考虑预留放射源剂量的裕量,保证测试时模型的活度符合系统测试要求。

采用 NEMA 标准对 PET 系统进行性能测试需要专用的测试模型和测试软件,均应由 PET 生产厂家提供。所有 PET 性能测量报告均采用 SI(国际标准)单位表示。使用 NEMA 标准的目的是正确评价 PET/CT 设备性能的方法。厂家引用这种标准化的测试结果来表述他们产品的性能水平。这一标准化的测试方法也被用户用于设备安装完成后的验收,其中部分项目可作为日常质量控制的指标。所有测试是在不改变任何仪器参数的情况下进行。验收测试结果以及有关的数据和图片等应存档,作为安装、调试后的设备性能基准值,便于日后进行质量控制、重要部件更换或维修后的测试结果与之对比。

参 考 文 献

[1] 李小花, 贺小红, 李凡勇, 等. Discovery LS PET 性能测试与 NEMA 标准的应用. 中华核医学杂志, 2006, 26(2): 104-106.
[2] 贺小红, 冯彦林. PET 性能测量——2001 版 NEMA 标准. 国外医学·放射医学核医学分册, 2003, 27(5): 218-224.

(收稿日期: 2010-01-19)