

Albira SI 小动物 SPECT-CT 对^{99m}Tc 的检测性能研究

唐 婕, 徐 栋, 胡潜岳, 张 波, 李 伟, 王立振, 俞惠新, 赵富宽

(国家卫生健康委员会核医学重点实验室, 江苏省分子核医学重点实验室, 江苏省原子医学研究所, 无锡 214063)

摘要: Albira SI 小动物单光子发射断层显像-X线计算机体层成像仪(SPECT-CT)是单光子放射性药物临床前研究的先进影像工具, 其质量控制及检测性能是图像质量和实验数据可靠性的基本保障。为评价 Albira SI SPECT-CT 设备应用的真实性、可靠性, 采用临床常用单光子核素^{99m}Tc 对 Albira SI 小动物 SPECT-CT 进行季度性质量控制, 同时进行测量结果的线性、稳定性、偏差的检测, 并初步尝试小动物骨代谢扫描。结果表明, 该设备与放射性活度之间线性关系良好, 稳定性强, 与常用活度测量设备测量结果差异较小。Albira SI 小动物 SPECT-CT 能够准确反映单光子核素^{99m}Tc 的放射性活度分布, 小鼠骨代谢显像效果好, 适用于临床前放射性药物研究。本研究建立的系统研究 SPECT-CT 性能的方法可为类似设备的操作提供方法学依据。

关键词: 小动物 SPECT-CT; ^{99m}Tc; 检测性能; 质量控制

中图分类号: TL816+9

文献标志码: A

文章编号: 1000-7512(2025)01-0095-08

doi: 10.7538/tws.2024.youxian.066

Detection Performance of ^{99m}Tc in Albira SI Small-Animal SPECT-CT

TANG Jie, XU Dong, HU Qian Yue, ZHANG Bo, LI Wei,

WANG Lizhen, YU Huixin, ZHAO Fukuan

(NHC Key Laboratory of Nuclear Medicine, Jiangsu Key Laboratory of Molecular Nuclear Medicine,
Jiangsu Institute of Nuclear Medicine, Wuxi 214063, China)

Abstract: Small-animal single-photon emission computed tomography-X-ray computed tomography (SPECT-CT) is an advanced imaging tool for preclinical research of single-photon radiopharmaceuticals. Its detection performance is the foundation of image quality and the reliability of experimental data. This study aims to evaluate the performance of Albira SI SPECT-CT in terms of advisable test range, linearity, stability, deviation of measurement results, related to the radioactive isotope ^{99m}Tc, and to explore the authenticity and reliability of the scan results. The Albira SI SPECT-CT was subjected to quarterly quality control using the clinically commonly used single-photon radionuclide ^{99m}Tc. The linearity, stability, and deviation of the measurement results were tested, and preliminary attempts were made at small-animal bone metabolism scanning. The device demonstrated a strong linear correlation between radioactivity and measurement results, exhibited

收稿日期: 2024-05-31; 修回日期: 2024-10-30

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32371434); 江苏省基础研究计划(前沿引领技术)(BK20192005); 江苏省中医药科技发展计划项目(MS2022144)

通信作者: 赵富宽

high stability, and showed minimal variation when compared to commonly used radioactivity measurement devices. The Albira SI small animal SPECT-CT accurately reflects the distribution of the radioactive activity of the single photon isotope ^{99m}Tc , showing excellent imaging of mouse bone metabolism, suitable for preclinical radiopharmaceutical research. The method for evaluating SPECT-CT performance established in this study is expected to provide a reference for the operation of similar equipment.

Key words: small-animal SPECT-CT; ^{99m}Tc ; detection performance; quality control

单光子发射计算机断层(sing photon emission computed tomography, SPECT)和多排螺旋 X 射线计算机断层扫描仪(computed tomography, CT)组合而成的一体化诊断显像设备是在 SPECT 基础上一次突破发展。通过结合 CT 的解剖显像及 SPECT 的功能显像优势,从分子水平反馈功能和代谢信息、精准定位病灶位置、反映病灶的结构功能,为临床诊断、治疗提供有效的影像信息,是实现精准医疗的重要手段之一,为国内核医学科的主流设备,广泛应用于肺癌、乳腺癌、心脏病学、骨骼病变、神经系统疾病、甲状腺癌等疾病的诊断及治疗^[1-2]。随着 SPECT-CT 技术的广泛推广,国内三甲医院 SPECT-CT 的配置已超过 800 台,单光子药物的研发与应用也受到越来越多的重视^[3]。临床前小动物显像是医药研究不可或缺的部分,具有更高空间分辨率及检测灵敏度,适用于大小鼠的小动物 SPECT-CT 是放射性药物从实验室制备到临床转化的重要工具^[4]。

Albira SI Micro SPECT-CT (Bruker 公司, 德国),专门针对小动物活体显像,能够对同一动物进行活体的 SPECT 与 CT 双重扫描,能实现同体、不同时间点的长程、纵向跟踪,减少了批间、组间个体差异,且动物用量明显减少,更符合伦理要求^[5-6]。采用 PMOD 等一系列分析软件实现 SPECT 的定量显像,有益于单光子放射性诊断、治疗新药的疗效监测评价^[7],可评估单光子放射性新药临床转化可行性,在药物开发过程中必不可少。与此同时,CT 通过检测穿过动物体内不同密度组织的 X 射线,实现精确定位, SPECT 与 CT 的组合可同时提供结构和功能数据,为肿瘤、神经退行性疾病等各种疾病的病理学研究提供更好、更准的可视化信息^[5-6,8]。

Albira SI Micro SPECT-CT 对放射性药物体内显像,能够准确反映其放射性活度的分布。

鉴于此,全面而深入地了解显像系统的各项特性是开展图像定量分析的先决条件。因此,在正式投入应用之前,须对 Albira SI Micro SPECT-CT 实施一系列基础性能测试。本研究通过测量临床及临床前常用放射性核素 ^{99m}Tc 的系统响应,对江苏省原子医学研究所新装机的 Albira SI 小动物 SPECT-CT 进行系统内置的季度性质量控制,对设备的测量线性、检测稳定性、检测范围进行测试,探讨该设备对于放射性核素 ^{99m}Tc 的检测性能,并进行动物显像的初步尝试。本研究结果可为类似设备的操作提供方法学依据。

1 仪器与材料

1.1 主要仪器

Albira SI Micro SPECT-CT: 德国 Bruker 公司; CRC-25R 型活度计: 美国 Capintec 公司; 双探头 WIZARD2 2470 伽玛计数仪: 美国 Perkin Elmer 公司; 迷你涡旋混匀器: 中国 Titan 公司。

1.2 主要试剂

高锝(^{99m}Tc)酸钠注射液: 上海新客医药有限公司苏州分公司; 注射用水: 海南华拓天涯制药有限公司; 注射用亚锡亚甲基二膦酸盐: 江原实业技贸有限公司江原制药厂。

1.3 实验动物

ICR(Institute of Cancer Research)小鼠, 体重 22 g, SPF 级, 数量为 3 只, 购自常州卡文斯实验动物有限公司。江苏省原子医学研究所实验动物伦理审查委员会已对本研究涉及的所有动物实验流程予以审查通过, 伦理批件号为 JSINM-024-167。

2 实验方法

2.1 质量控制

Albira SI Micro SPECT-CT 要求三个月进行一次系统质量控制, 高锝(^{99m}Tc)酸钠注射液

(约 3.7×10^6 Bq/mL), 灌入 Bruker 公司专属校准模具中, 外径为 40 mm, 高为 60 mm, 内部为圆柱体空腔, 体积为 19 mL, 结构示于图 1。将模具置于涡旋混匀器上, 充分摇匀后, 用活度仪测定模具的准确放射性活度, 记录准确测量时间。随后将模具置于校准专用检测固定设备上, 在标准准直器(Pinhole)视场下, 进行 SPECT/CT 的扫描, SPECT 扫描方式为旋转式双探头捕捉信号模式, 每个探头扫描 180° , 共两个探头, 系统将其分为 60 个角度进行信号捕捉, 每个角度捕捉信号时间即为捕捉时间。SPECT 扫描条件为, 视场 120 mm, 捕捉时间 90 s; CT 扫描条件如下, CT 成像视野 68.25 mm, 层厚 90 μ m, 捕获方式为分步照射, 电压为高压 45 kV, 强度是高剂量 400 μ A, 扫描时间约为 1 h, 其中 SPECT 约为 45 min, CT 约为 15 min。扫描结束后, 用以下条件进行重建, SPECT 的算法采用 OSEM, 交互为 2; CT 的算法采用 FBP。所得结果提交 Albira SI SPECT-CT 质控检测程序(Supervisor 程序), 检测设备状态是否合格。

2.2 检测性能

2.2.1 不同放射性活度高锝(^{99m}Tc)酸钠注射液的标准曲线 用注射用水配制不同放射性活度($0 \sim 1.85 \times 10^8$ Bq)的高锝(^{99m}Tc)酸钠注射液, 注满模具, 充分摇匀后, 用活度仪测量模具的准确活度, 记录测量准确时间, 作为参照。随后, 置于校准专用检测固定设备上在多孔准直器(Multipinhole, MPH)视场上进行 SPECT 扫描, 条件为: SPECT 的视场为 50 mm, 捕捉时间为

60 s, 扫描时间为 30 min。扫描结束后, 按照 OSEM 算法, 交互 2 的条件重建。随后, 采用 PMOD 3.3 软件(瑞士, PMOD Technologies LLC)对模具整体放射性信号进行定量分析, 对图像勾画 5 次, 记录不同放射性活度下所得图像单位体积内的放射性活度($\text{kBq} \cdot \text{mL}^{-1}$), 计算均值与偏差, 定量分析结果用 Graphpad Prism 软件进行线性分析。

2.2.2 检测稳定性评估 用注射用水配制约 3.7×10^7 Bq 高锝(^{99m}Tc)酸钠注射液, 注满模具, 充分摇匀。随后, 置于校准专用检测固定设备上在 MPH 准直器视场上进行 SPECT/CT 扫描, 扫描条件为 SPECT 视场为 25 mm, 捕获时间为 20 s; 用同一注射液注满模具扫描 10 min, SPECT 连续扫描五次, 扫描时须在系统内输入准确测量时间和放射性活度, 系统对扫描结果自动进行衰变校正, 扫描结果经系统衰减校正后, 将五次扫描结果参照 2.1 小节方法进行重建, 并用 PMOD 3.3 软件进行定量分析, 勾画模具整体放射性信号作为感兴趣区, 测量所得为单位体积内的放射性活度值($\text{kBq} \cdot \text{mL}^{-1}$), 5 次测得值算出均值, 并计算放射性活度值与均值间的偏差, 从而评价检测稳定性。

2.2.3 检测性能及数据相关性 在实际实验操作中, 活度仪与伽马计数仪是常用放射性活度测量设备, 因此在本研究中需将 SPECT-CT 所测得活度分别与活度仪和伽马计数仪进行比较, 将结果归一化为 $\text{kBq} \cdot \text{mL}^{-1}$, 计算 SPECT-CT 结果与活度仪、伽马计数仪结果之间的偏差, 以评价

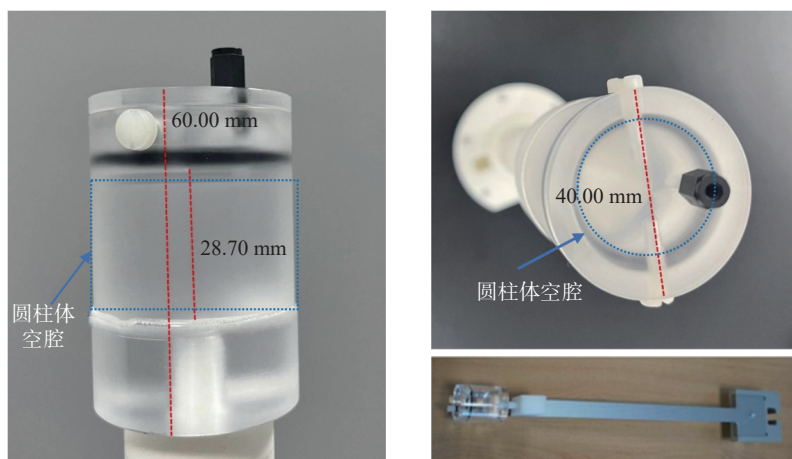


图 1 校准模具

Fig.1 The calibration phantom

SPECT-CT 的检测性能。

用注射用水分别配制不同放射性活度($1.85 \times 10^3 \sim 3.7 \times 10^7$ Bq)高锝(^{99m}Tc)酸钠注射液,注满模具,充分摇匀后,用活度仪测量活度,记录测量准确时间,随后对模具进行 SPECT-CT 扫描,扫描条件参照 2.2.2 小节。SPECT-CT 扫描结束后,用 PMOD 3.3 软件进行定量分析,得到不同放射性活度下 SPECT 图像所测得的单位体积内放射性活度值($\text{kBq} \cdot \text{mL}^{-1}$),运用公式(1)可得活度仪所测得的单位体积放射性活度($\text{kBq} \cdot \text{mL}^{-1}$),比较 SPECT-CT 活度与活度仪测量结果之间的偏差。

$$A_1 = \frac{A_2}{V} \quad (1)$$

式中, A_1 为活度仪所测得的单位体积放射性活度, $\text{kBq} \cdot \text{mL}^{-1}$; A_2 为活度仪所测得的放射性总活度; V 为模具体积, 19 mL。

扫描同时,取不同放射性活度高锝(^{99m}Tc)酸钠注射液各 10 μL 置于放免管中,每种放射性活度溶液各取 3 次,用伽马计数器对不同放射性活度的伽玛计数率($\text{CPM}, \text{min}^{-1}$)进行测量,得三次 CPM 的平均值作为伽马计数器所测得的 CPM 结果。运用公式(2)将 SPECT 和伽马计数器的测量值都转换为所测得的溶液放射性浓度,即单位为 $\text{kBq} \cdot \text{mL}^{-1}$,比较 SPECT-CT 活度与伽马计数器测量结果之间的偏差。

$$A_3 = \frac{\text{CPM}}{f} \quad (2)$$

式中, A_3 为伽马计数器所测得的单位体积内放射性活度, $\text{kBq} \cdot \text{mL}^{-1}$; CPM 为伽马计数器测得数值。 f 是 420 为 CPM 转换为 kBq/mL 公式简化而来,详细转化过程为 $1 \text{ Bq} = 60 \text{ DPM} = 60 \times \text{CPM} / 70\%$ (计数效率;伽马计数器计数效率每年均经 PE 工程师针对不同核素按照产品手册进行检测,2023 年该设备针对 ^{99m}Tc 所测得的计数效率为 70%); Bq 为一个放射源在单位时间内发生衰变的原子核数(1 次核衰变/s), DPM 为每分钟发生衰变数, $1 \text{ Bq} = 60 \text{ DPM}$, DPM 等于 CPM/计数效率;单位体积内的放射性活度(单位为 kBq/mL) = $\text{CPM} / (60 \times 70\% \times 0.010 \times 1000)$;其中 CPM/70% 得相应的 DPM 值, DPM/60 得相应的放射性活度(单位为 Bq), 0.010 为取样 10 μL 转化为 0.010 mL,

1000 为 Bq 转化为 kBq 的倍数关系。

采用 Graphpad Prism 软件对 SPECT-CT、活度仪、伽马计数器所测得的结果进行相关性分析,验证 Albira SI SPECT-CT 对放射性活度检测的可靠性。

2.3 动物显像

2.3.1 锝(^{99m}Tc)亚锡亚甲基二膦酸盐注射液的制备 3.7×10^8 Bq 高锝(^{99m}Tc)酸钠注射液 1 mL,注入注射用亚锡亚甲基二膦酸盐冻干品瓶中,充分振摇使冻干物溶解,静置 5 min,即得锝(^{99m}Tc)亚锡亚甲基二膦酸盐注射液(^{99m}Tc]MDP 注射液)。

2.3.2 小鼠 SPECT-CT 骨代谢显像 ICR 小鼠,尾静脉注射 3.2264×10^7 Bq (0.1 mL) ^{99m}Tc]MDP 注射液后 3 h,在异氟烷麻醉下,将小鼠固定于 Bruker 专用小动物显像床上,经过 CT 2D 扫描定位后,将扫描中心定位于小鼠躯体中心位置,进行全身 SPECT/CT 静态扫描,显像条件采用 MPH 准直器;视场为 80 mm;捕获时间为 90 s;高分辨率 CT 采用 45 keV, 0.5 mA;系统分为 60 个角度进行扫描,扫描时间为 45 min (SPECT)+30 min (高分辨率 CT)。所得图像经过重建后(SPECT 采用 OSEM 算法,交互为 1;CT 采用 FBP 算法),用 PMOD 3.3 软件进行图像融合,最终得小鼠 ^{99m}Tc]MDP 体内分布 SPECT、CT 图像及 SPECT-CT 融合图像。勾画心、肾、膝关节、肩关节、颈椎、尾椎、腰椎、胸椎等感兴趣区得到相应 SUV(标准摄取值, $\text{ID}\% \cdot \text{mL}^{-1}$)。

2.4 数据处理和分析

图像数据使用 PMOD 3.3 进行定量分析;利用 Graphpad Prism 6.0 软件对所得其他数据进行处理,数据采用 $\text{mean} \pm \text{SD}$ 的形式呈现。

3 结果与讨论

3.1 质量控制

Albira SI SPECT-CT 每三个月系统会自动提醒进行质控,按照要求配制 7.4×10^7 Bq 左右高锝(^{99m}Tc)酸钠注射液注满模具,进行季度性质量控制检测,检测结果用 Albira SI SPECT-CT 自带 Supervisor 程序进行检测。检测结果列于表 1,若检查合格,程序显示绿色 PASSED 图标,不合格显示红色 FAILED 图标,检查均为合格。

3.2 检测性能

3.2.1 不同放射性活度高锝(^{99m}Tc)酸钠注射液

表 1 Albira SI 小动物 SPECT 质量控制数据汇总
Table 1 Validation status summary of Albira SI Micro SPECT

测试内容	测量值	可接受的偏差值	检查结果
SPECT能量分辨率(Camera 1)	15.79%	<20%	PASSED
SPECT能量分辨率(Camera 2)	13.08%	<20%	PASSED
SPECT灵敏度	18.75 cps/MBq	>10 cps/MBq	PASSED
SPECT解压度	32.00 mm	(30.00±10.00)%	PASSED
SPECT均匀度	10.074%	<15%	PASSED
CT霍斯菲尔德数(水)	-5.13 u	(0.00±20.00) u	PASSED
CT霍斯菲尔德数(空气)	-1 000.00 u	(-1 000.00±20.00) u	PASSED
X-Y轴CT值均匀度	12.60 u	(0.00±25.00) u	PASSED
Z轴CT值均匀度	12.23 u	(0.00±25.00) u	PASSED

的标准曲线 取不同活度($0\sim 1.85\times 10^8$ Bq)的高锝(^{99m}Tc)酸钠注射液注满模具中,进行 SPECT 扫描,勾画模具整体放射性信号,所得结果分别用 PMOD 3.3 软件进行定量分析,对图像勾画 5 次得不同放射性活度下,单位体积内 Albira SI 小动物 SPECT 测得的放射性活度 PMOD 值($\text{kBq}\cdot\text{mL}^{-1}$),结果列于表 2。不同放射性活度($0\sim 1.85\times 10^8$ Bq)下的 PMOD 分析值用 Graphpad 进行线性分析,结果示于图 2,模具的放射性活度在 $0\sim 2.59\times 10^7$ Bq 范围内,具有优异的线性关系,线性方程为 $y=0.8119x$, $R^2=0.9979$;放射性活

度在 $0\sim 3.7\times 10^7$ Bq 范围内,线性良好,线性方程为 $y=0.8352x$, $R^2=0.9987$;放射性活度在 $0\sim 7.4\times 10^7$ Bq 范围内,线性良好,线性方程为 $y=0.6785x$, $R^2=0.9920$;而随着测试放射性活度的增加,线性随之降低,在 $0\sim 1.85\times 10^8$ Bq 范围内,线性方程为 $y=0.4480x$, $R^2=0.9222$ 。此结果提示在 $0\sim 7.4\times 10^7$ Bq 范围内线性相关,能够反映放射性活度的变化趋势。

3.2.2 检测稳定性 取约 3.7×10^7 Bq 的高锝(^{99m}Tc)酸钠注射液,注满模具中,进行 SPECT 扫描,扫描结果经 PMOD 3.3 软件进行分析后得到五次测量的单位体积的放射性活度 PMOD 分析值,结果列于表 3。5 次测量值分别为 1598.79、1603.82、1648.07、1645.12、1699.88 $\text{kBq}\cdot\text{mL}^{-1}$,计算 5 次的均值与偏差,偏差小,表明检测稳定性良好,证明 Albira SI SPECT-CT 能够稳定反应测量样本的放射性活度,设备稳定性满足日常动物活体扫描的需要。

3.2.3 检测性能测试 用活度仪准确测量六种不同放射性活度(1702、3848、10508、21830、34706、40293 kBq)的高锝(^{99m}Tc)酸钠注射液用于 SPECT-CT 扫描,并分别平行抽取相同溶液同时进行伽马计数器测量,用于进行 Albira SI SPECT-CT 相对于放射性活度仪或伽马计数器(两种最常用放射性活度检测设备)的检测性能测试,以评价 Albira SI SPECT-CT 检测性能,结果列于表 4。由表 4 数据可知, SPECT 与活度仪或伽马计数器之间测量结果差异不明显。数据相关性分析结果示于图 3,由图 3 可知, PMOD 所分析的 SPECT 检测结果与放射性活度仪($R^2=$

表 2 Albira SI Micro SPECT 在不同放射性活度所测得的 Value 值($n=5$)

Table 2 Value measured with Albira SI Micro SPECT/CT at different radioactivity ($n=5$)		
活度/kBq (活度仪)	单位活度/ ($\text{kBq}\cdot\text{mL}^{-1}$)(活度仪)	PMOD/ ($\text{kBq}\cdot\text{mL}^{-1}$)($\bar{x}\pm s$)
0	0.00	0.02±0.00
37	1.95	0.93±0.38
111	5.84	3.91±0.58
185	9.74	13.39±1.47
444	23.37	37.90±3.62
2035	107.11	97.71±6.66
3996	210.32	186.89±12.34
8251	434.26	371.40±24.25
16391	862.68	685.15±49.65
23606	1242.42	1056.28±65.47
40700	2142.11	1479.44±347.44
71521	3764.26	2434.05±133.74
86210	4537.37	2687.89±160.41
110630	5822.63	2875.71±184.07
176490	9288.95	3145.49±229.02

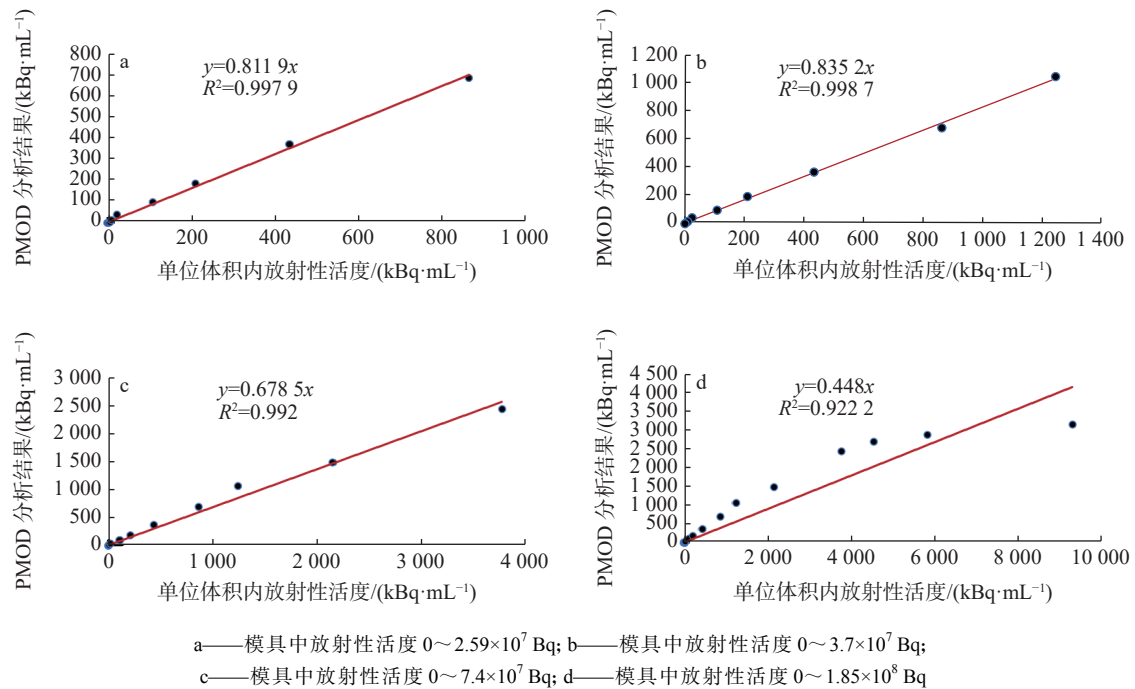
图2 多孔准直器视窗下的 ^{99m}Tc 标准曲线Fig.2 ^{99m}Tc standard curve with MPH collimator

表3 Albira SI SPECT-CT 测量数据稳定性

Table 3 Stability of Albira SI SPECT-CT measurement data

PMOD分析值/(kBq·mL ⁻¹)	均值/(kBq·mL ⁻¹)	偏差/%
1 598.79	1 639.14	-2.46
1 603.82		-2.15
1 648.07		0.55
1 645.12		0.37
1 699.88		3.71

0.999 1; $P < 0.000 1$)、伽马计数器所测得的计数率($R^2 = 0.999 1$; $P < 0.000 1$)都存在紧密的正相关,证明 Albira SI SPECT-CT 所反应的放射性活度的变化趋势,能够满足临床前小动物显像的研究需要。本研究中仅选用了 ^{99m}Tc 作为测试核

素,其他常用单光子核素如 ^{131}I 、 ^{177}Lu 将在后续研究中进行深入探讨,以完善 Albira SI SPECT-CT 的探测性能研究。

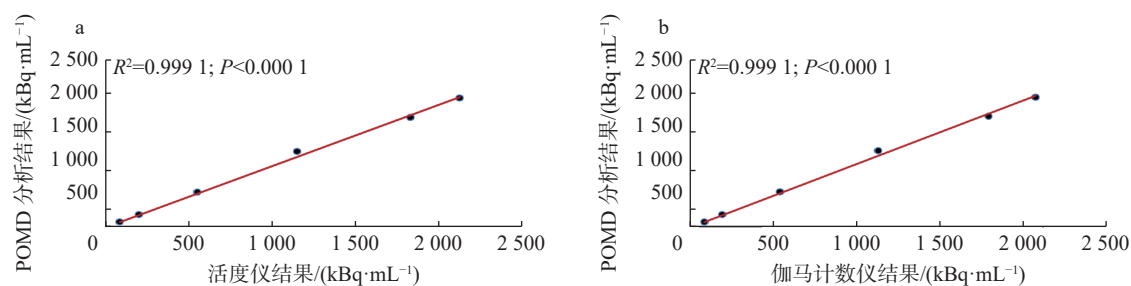
3.3 小鼠 Micro SPECT-CT 骨代谢显像

^{99m}Tc MDP 是临床常用且成熟的放射性药物之一,有广泛的临床应用价值,常用于全身或局部骨显像,诊断骨关节疾病、原发或转移性骨肿瘤病^[9-10]。小鼠尾静脉注射 3.2264×10^7 Bq (0.1 mL) ^{99m}Tc MDP 注射液 3 h 后进行 Micro SPECT/CT 扫描,扫描图像示于图 4,小鼠膝关节、肩关节、颈椎、胸椎、腰椎、尾椎等骨代谢较旺盛处有显著的特异性放射性高摄取,除膀胱外,其余脏器包括心脏、肾放射性摄取较低(表 5),与已有报道趋势一致^[11]。

表4 Albira SI Micro SPECT-CT 相对于活度仪、伽马计数仪的偏差

Table 4 Albira SI Micro SPECT/CT deviation from activity meter and gamma counter

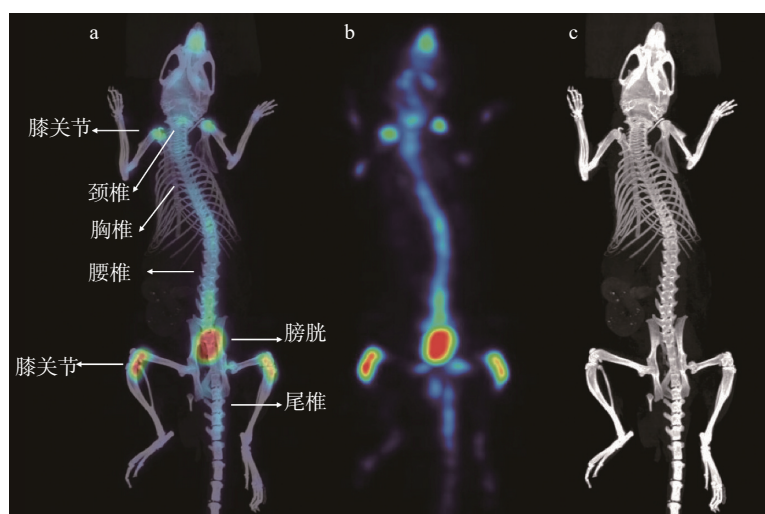
活度/kBq (活度仪)	单位活度/(kBq·mL ⁻¹) (活度仪)	PMOD/ (kBq·mL ⁻¹)	偏差/(kBq·mL ⁻¹) (活度仪)	单位活度/ (kBq·mL ⁻¹) (伽马计数器)	CPM/ min ⁻¹ (伽马计数器)	偏差/(kBq·mL ⁻¹) (伽马计数器)
1 702	89.58	85.68	-3.9	87.35	36 689	-1.67
3 848	202.53	192.79	-9.74	197.23	82 837	-4.44
10 508	553.05	529.68	-23.37	538.09	225 996	-8.41
21 830	1 148.95	1 133.37	-15.58	1 129.27	474 292	4.1
34 706	1 826.63	1 645.53	-181.1	1 802.14	756 900	-156.61
40 293	2 120.68	1 925.95	-194.73	2 068.07	868 591	-142.12



a——SPECT-CT 结果与放射性活度仪检测结果的相关性; b——SPECT-CT 结果与伽马计数器检测结果的相关性

图 3 Albira SI SPECT-CT 测量结果与活度仪及伽马计数器结果的相关性

Fig.3 Correlation between Albira SI SPECT-CT measurement results and radioisotope dose calibrator and γ -counter results



a——小鼠全身骨代谢 SPECT-CT 融合图; b——小鼠全身骨代谢 SPECT 图像; c——小鼠全高分辨率 CT 图像

图 4 小鼠尾静脉注射 [^{99m}Tc]MDP 3 h 后 Albira SI 小动物 SPECT-CT 扫描图像

Fig.4 SPECT/CT scanning images of whole-body bone metabolism in mouse three hours post-injection of [^{99m}Tc]MDP, acquired with the Albira SI SPECT-CT

表 5 小鼠 [^{99m}Tc]MDP 全身主要组织器官放射性摄取

Table 5 Radioactive uptake of [^{99m}Tc]MDP in major tissues and organs

组织/器官	SUV/(%ID·mL ⁻¹)	PMOD分析值/(kBq·mL ⁻¹)
膝关节	10.69±4.28	3 909.51±1 292.51
肩关节	7.775±1.42	2 842.52±518.32
颈椎	5.93±0.63	2 168.31±232.02
胸椎	6.47±0.53	2 367.76±192.48
腰椎	7.27±1.13	2 661.34±414.00
尾椎	5.61±0.31	2 053.69±114.89
肾	0.78±0.75	284.87±47.26
心脏	1.22±0.49	444.511±179.94
膀胱	16.42±5.95	6 008.21±2 177.07

4 结论

本研究考察了 Albira SI Micro SPECT-CT 对

单光子核素^{99m}Tc 的检测性能,结果显示,在 0~7.4×10⁷ Bq 范围内,检测性能具有线性相关和稳定性,能够反应放射性活度的分布及变化趋势。小动物 [^{99m}Tc]MDP 显像,图像清晰、融合效果好,能够反映放射性药物在体内各个器官摄取差异。本研究为利用该设备开展单光子核素^{99m}Tc 示踪药物的活体显像、药物代谢、体内分布、药效评价等后续研究提供了方法学支持。

参考文献:

- [1] 黄江华. 基于多模态分子影像技术的 SPECT/CT 在临床中的应用进展[J]. 中国继续医学教育, 2015, 7(13): 50.
Huang Jianghua. Application progress in SPECT/CT base on multimodality molecular imaging technology in

- clinical[J]. *China Continuing Medical Education*, 2015, 7(13): 50 (in Chinese).
- [2] 陆晓骞, 宗凌燕, 沈琪. 单光子发射计算机断层成像及计算机断层扫描(SPECT/CT)临床应用进展[J]. *中国辐射卫生*, 2023, 32(2): 198-201.
- Lu Xiaoqian, Zong Lingyan, Shen Qi. Progress in application of single-photon emission computed tomography/computed tomography(SPECT/CT)imaging in clinical practice[J]. *Chinese Journal of Radiological Health*, 2023, 32(2): 198-201 (in Chinese).
- [3] 许书钰, 曹大泉, 梁唯真, 等. 单光子发射型电子计算机断层扫描设备的研究进展[J]. *中国医学装备*, 2022, 8(10): 156-161.
- Xu Shuyu, Cao Daquan, Liang Weizhen, et al. Research progress of SPECT devices[J]. *China Medical Equipment*, 2022, 8(10): 156-161 (in Chinese).
- [4] Khalil M M, Tremoleda J L, Bayomy T B, et al. Molecular SPECT imaging: an overview[J]. *Biomacromolecules*, 2011, 2011: 796025.
- [5] Golestani R, Wu C, Tio R A, et al. Small-animal SPECT and SPECT/CT: application in cardiovascular research[J]. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 2010, 37(9): 1766-1777.
- [6] Chang K W, Chang P L, Tsai C J, et al. The titrated mannitol improved central [^{99m}Tc]Tc TRODAT-1 uptake in an animal model-a clinically feasible application[J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(4): 3773.
- [7] Ritt P, Kuwert T. Quantitative SPECT/CT—Technique and clinical applications[M]//Recent Results in Cancer Research. Cham: Springer International Publishing, 2020: 565-590.
- [8] Franc B L, Acton P D, Mari C, et al. Small-animal SPECT and SPECT/CT: important tools for preclinical investigation[J]. *J Nucl Med*, 2008, 49(10): 1651-1663.
- [9] Gao H, Li G, Fu C, et al. Comparison of diagnostic efficacy between ^{99m}Tc -methylene diphosphate SPECT/CT and MRI for bone and joint infections: a multicenter retrospective analysis[J]. *Frontiers in Endocrinology*, 2024, 15: 1359655.
- [10] Huang W, Qiu Y, Zhang J, et al. Accidental discovery of heterotopic ossification indicating skeletal muscle metastasis from rectal adenocarcinoma: insights from ^{99m}Tc -MDP scintigraphy[J]. *Asian Journal of Surgery*, 2024, 47(7): 3397-3398.
- [11] Gaut C, Sullivan J M, Biscaro B, et al. SPECT imaging of muscle injury with [^{99m}Tc]MDP in a mouse model of muscular dystrophy[J]. *Molecular Imaging and Biology*, 2020, 22(3): 562-568.