

国产核医学影像设备的发展现状

Development status of domestic nuclear medicine imaging equipment

Wang Wenrui, Hao Bowen, Zhang Guojian

引用本文:

王文睿, 郝博闻, 张国建. 国产核医学影像设备的发展现状[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2023, 47(8): 492-495. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202209020-00332

Wang Wenrui, Hao Bowen, Zhang Guojian. Development status of domestic nuclear medicine imaging equipment[J]. *International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine*, 2023, 47(8): 492-495. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202209020-00332

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202209020-00332>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

全国核医学现状与发展趋势研究分析

Current situation and development trend of nuclear medicine in China

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(2): 92-98 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2020.02.004>

核医学影像技术在烟雾病研究中的应用进展

The application progress in the study of moyamoya disease by nuclear medical imaging technology

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(2): 105-108 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2020.02.006>

北京市核医学2019年基本情况调查分析

Investigation and analysis of the basic situation of nuclear medicine in Beijing in 2019

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(6): 370-375 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202005045-00061>

核医学工作人员和受检者辐射防护现状

The status of radiation protection and control strategy for nuclear medicine workers and patients

国际放射医学核医学杂志. 2017, 41(4): 298-302 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2017.04.012>

神经内分泌肿瘤核医学显像剂的研究进展

Research progress of nuclear medicine imaging tracers for neuroendocrine neoplasma

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(9): 582-588 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201906012-00062>

医学影像与人工智能

Artificial intelligence in medical imaging

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(1): 2-4 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2020.01.002>

国产核医学影像设备的发展现状

王文睿¹ 郝博闻² 张国建¹

¹内蒙古医科大学附属医院核医学科, 呼和浩特 010050; ²内蒙古医科大学附属医院人民医院乳腺外科, 呼和浩特 010020

通信作者: 张国建, Email: zhangguojian0820@163.com

【摘要】近年来, 国家对医疗机构建设和医疗行业发展的不断投入, 对医疗资源配置的优化以及对医疗卫生体制改革的不断深入, 使得国产医疗设备得到创新发展及推广应用。同时核医学普及率及临床需求的逐渐提高, 使国产核医学设备数量大幅增加, 在 PET/CT、PET/MR 及 SPECT/CT 方面均取得了一定的创新及发展。笔者就目前国产核医学影像设备的发展情况及现状进行综述。

【关键词】核医学; 正电子发射断层显像术; 体层摄影术, X线计算机; 体层摄影术, X线计算机, 单光子; 磁共振成像

基金项目: 内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY21625); 内蒙古自治区卫生健康科技计划(202202192); 内蒙古自治区高校青年科技英才项目(NJYT22002); 内蒙古医科大学致远人才(善学人才)项目(ZY0202037)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202209020-00332](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202209020-00332)

Development status of domestic nuclear medicine imaging equipment

Wang Wenrui¹, Hao Bowen², Zhang Guojian¹

¹Department of Nuclear Medicine, Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Huhhot 010050, China; ²Department of Breast Surgery, Affiliated People's Hospital of Inner Mongolia Medical University, Huhhot 010020, China

Corresponding author: Zhang Guojian, Email: zhangguojian0820@163.com

【Abstract】 In recent years, the state has continuously invested in constructing medical institutions and developing the medical industry. With the optimization of the allocation of medical resources and the continuous deepening of the medical and health system reform, China's domestic medical equipment has been innovatively developed and popularized. At the same time, according to the popularity of nuclear medicine and the gradual improvement of clinical demand, domestic nuclear medicine equipment has increased significantly, and has made certain innovation and development in PET/CT, PET/MR and SPECT/CT. The authors review the development and current situation of domestic nuclear medicine imaging equipment.

【Key words】 Nuclear medicine; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Tomography, emission-computed, single-photon; Magnetic resonance imaging

Fund programs: Scientific Research Project of Colleges and Universities of Inner Mongolia Autonomous Region (NJZY21625); Health Science and Technology Project of Inner Mongolia Autonomous Region (202202192); University Youth Science and Technology Talents Project of Inner Mongolia Autonomous Region (NJYT22002); Zhiyuan Talents (Good Learning Talents) Project of Inner Mongolia Medical University (ZY0202037)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202209020-00332](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202209020-00332)

《“健康中国 2030”规划纲要》及《中国制造 2025》等一系列重大政策的相继出台,推动了国产医疗设备行业的发展^[1-2],使国产医学影像设备的占有率得到提高。同时,随着核医学优势在肿瘤、神经、心脏等领域的不断体现,其临床认可度不断提升^[3-4],国产核医学影像设备行业已逐渐发展成熟。截至目前,我国已有多家国产核医学影像设备企业,并已取得一定的成绩。

1 国产 PET/CT 影像设备

长期以来, PET/CT 在肿瘤领域具有独特的优势,其在临床中的需求也日益增加。目前,我国已有上海联影医疗科技股份有限公司(以下简称上海联影)、东软集团股份有限公司(以下简称东软)、明峰医疗系统股份有限公司、赛诺联合医疗科技(北京)有限公司、合肥锐世数字科技有限公司、北京锐视康科技发展有限公司、北京大基康明医疗设备有限公司和中派科技(深圳)有限责任公司等 8 家国产 PET/CT 企业。

在 PET/CT 影像设备领域,上海联影率先实现了从挑战者到领导者的跨越,先后推出了 uMI 510、uMI 550、uMI 780、uMI Vista、uExplorer 等型号的 PET/CT 设备。2021 年,上海联影推出业界首款可拓展轴向视野超高端的 PET/CT (uMI Panorama),达到了“190 ps 级”业界最高时间分辨率。Couceiro 等^[5]发现,轴向视野长度的增加会提高设备的灵敏度。uExplorer PET/CT 拥有 1940 mm 超长轴向视野及 8 个 PET 探测器单位,即使是大倾角发射的光子对也能被探测到,从而形成有效计数,获得足够的光子计数。光子探测效率越高,设备的灵敏度越高,相比传统的 PET/CT, uExplorer PET 的灵敏度提高了 40 倍,而扫描时的辐射剂量降低至传统 PET/CT 的 1/40,且在传统静态代谢过程三维显像的基础上增加了“时间”的维度,实现了四维全景显像,使肉眼可以清晰地观测到显像剂注射后在人体的分布、代谢的全过程^[6]。另外, uExplorer PET 采用的硅酸钇镧(LYSO)闪烁晶体具有光输出高、衰减时间短、有效原子序数大、密度大,并且物化性质稳定、不潮解、对 γ 射线探测效率高等特点。同时,蒋梨等^[7]基于美国国家电器制造商协会(National Electrical Manufacturers Association, NEMA)发布的 NEMA NU 2-2007 标准对 uExplorer PET 的物理和临床应用性能进行了测试,结果显示,该设备具有较高的空间分辨率(约 3 mm)、灵敏度(178.000 kcps/MBq)和噪声等效计数率(1 548.95 kcps)。该团队在对 1 名志愿者行首次扫描 4 h 后再次行延迟显像,结果显示,即使在低光子计数的情况下, uExplorer PET 图像仍可满足诊断要求,因此研究者认为 uExplorer PET 有可能会缩短扫描时间;同时该团队在对另 1 名志愿者的临床研究分析中,将显像剂

剂量由 370 MBq 降低至 18.5 MBq 后, uExplorer PET 仍能实现高质量显像,提示该设备低剂量显像是可行的。

2005 年,东软与美国 Positron 公司成立了合资公司,启动了 PET 和 PET/CT 的研发,完成了 PET 晶体、光导、机械加工以及高速前端电子、电路等关键部件的国产化。2020 年,东软推出全新一代 NeuWise 和 NeuWise Pro PET/CT,这 2 种设备同样采用了 LYSO 闪烁晶体及全新一代飞行时间(time of flight, TOF)技术,实现了超高灵敏度、超清分辨率的双重突破。为了避免扫描过程中误操作及不能及时察觉受检者异常动态所带来的风险, NeuWise PET/CT 采用了全息技术,其核心是将监控系统的采集端直接植入影像设备机体内,可全方位、全流程实时监控,实现扫描及监控同屏显示,同时配有运动提醒功能,以便及时调整工作流程。牟兴宇等^[8]还发现,在采用 NeuWise PET/CT 进行全身显像时,在 TOF 基础上同时选择点扩散函数及最大后验重建算法可以获得更高质量的图像及更精准的 SUV。

近年来,国产 PET/CT 设备发展迅速,其径向和轴向分辨率与进口同类 PET/CT 设备基本相当,但仍需临床进一步应用,以验证其性能。

2 国产 PET/MR 影像设备

PET/MR 现已应用于神经系统、心血管疾病及全身肿瘤等诸多领域的诊断。其在反映解剖学结构形态和生理学功能信息方面,特别是对于软组织病变方面的诊断具有独特的优势。

一体化 PET/MR 的技术难点在于 PET 与 MR 的融合,例如需要实现 PET 探测器在强磁场环境中的电磁兼容性、克服 PET 对 MR 的射频干扰和主磁场不均匀性的影响、PET 重建中基于 MR 图像的衰减校正等问题,以及如何利用 MR 图像提供的信息校正 PET 在长时间采集过程中产生的胸腹部运动伪影等^[9]。目前,由上海联影生产的 uPMR 790 PET/MR 突破了各项难点,已被广泛认可。uPMR 790 PET/MR 使用了全数字硅光电倍增管(SiPM)技术,基于高效冷却专利解决了 MR 中硅光电倍增管(SiPM)性能稳定性的问题;并使用快速迁移模糊聚类方法^[10]将 MR 图像划分成诸如空气、液体、软组织,以及骨头等不同组织成分,以实现 PET 数据的衰减校正,提升 PET 的图像质量及定量精度;另外,利用呼吸绑带或者基于 MR 导航门控的方法监测呼吸运动信息,解决了腹部扫描中运动伪影的干扰问题。

尽管 PET/MR 融合技术在临床中的应用价值存在持续的争论,但在过去的 5 年中,该技术已在全球范围内逐渐被应用。Chen 等^[11]按照美国 NEMA NU2-2012 标准对 uPMR 790 PET 性能(包括空间分辨率、灵敏度、散射分数、计数

丢失、随机符合、校正精度、图像质量及 TOF 分辨率)进行了定量评估,结果显示,在 PET 和 MR 图像同时采集时,MR 常规序列采集时的磁场环境对 PET 性能无显著影响。该团队同时进行了临床试验,结果显示,该系统能够同时生成高质量的 PET 和 MR 图像,与使用相同数字探测器技术获得的 PET/CT 图像比较,二者的图像质量相当。

3 国产 SPECT/CT 影像设备

SPECT 是使用最广泛的核医学显像设备。近年来,国产 SPECT/CT 的质量均得到了很大的提高。2002 年北京滨松光子技术股份有限公司自主研发了首台国产 BHP6601 型 SPECT 扫描仪,该设备组成部件选材优良、设计先进(包括旋转支架的主机和探头、准直器及小车、数据采集系统、图像处理系统、多功能床及总电源),并且该系统采用中文界面,操作方便。刘自来等^[12]参照厂方技术标准及美国 NEMA 标准,使用放射源(^{99m}Tc、¹³¹I)及常规测量模型测试并验证 BHP6601 型 SPECT 扫描仪的产品质量和各项性能指标,结果显示,该设备计算方法科学,各项性能指标、图像分辨率均达到或接近国外同类产品。此外,该团队还使用国产 BHP6601 型 SPECT 以及德国 Siemens 公司生产的 E.CAM 型 SPECT 同时对临床患者的骨骼、甲状腺、心肌、脑、肾脏等进行动态、静态以及断层等各种模式的采集与处理,结果显示,BHP6601 型 SPECT 在病灶的检出、图像质量方面与 E.CAM 型 SPECT 基本相当;灵敏度、特异度和准确率达到 91%、85% 和 86%,无论静态显像还是断层显像,其图像清晰、分辨率高,诊断病灶的位置、分布、形态、大小均与 E.CAM 型 SPECT 接近,并且动态数据及动态曲线可靠^[13]。然而在心肌和脑的断层扫描图像中,BHP6601 型 SPECT 的清晰度略低于 E.CAM 型 SPECT,这可能是由于校正因子设置的偏差和探头的旋转半径较大所致^[13]。

北京永新医疗设备有限公司研制的 ImaginE NET632 型 SPECT 是首台国产可变角、全数字化双探头扫描仪。姚树林等^[14]对国产 ImaginE NET632 型 SPECT 与荷兰 Philips 公司的 Brightview XCT 型 SPECT 以相同方法进行了临床试验前联合质控及试验过程中周质控验证,通过对比发现,2 台设备在甲状腺模型静态显像和复杂性能模型断层扫描测试中图像的质量基本相同。与进口 Philips Brightview XCT 型 SPECT 相比,ImaginE NET632 型 SPECT 的噪音和冷区分辨率稍差,但热区的分辨率更好;在试验前质控中,国产 ImaginE NET632 型 SPECT 的固有均匀性、最大观测计数率以及能量分辨率都有一定的优势;在试验过程的周质控中,线性和固有空间分辨率稍逊于进口 Philips Brightview XCT SPECT,但在能量分辨率和非均匀性方面均具有一定

优势。赵振峰等^[15]使用 ImaginE NET632 型和德国 Siemens 公司的 Symbia T16 型 SPECT 对 32 例疑似骨转移患者进行全身骨显像,结果显示,2 台设备获得的图像清晰度无明显差别,阳性病灶累及区域完全一致(均为 84 个)。

4 小结与展望

近年来,国产核医学影像设备发展迅速,在性能上已达到国外同类设备的要求,然而与发达国家相比,国产核医学影像设备的研发工作起步较晚,市场占有率及认可度较低,推广应用面临着很多挑战。但是,人口基数较大决定了我国对医疗设备的需求极大,另外,国家医疗改革的不断推进,人民对自身健康的关注、对医学知识的认识以及经济水平的不断提高,临床医师对核医学的逐渐认可,这些对于国产核医学影像设备的应用推广与创新升级有一定的促进作用,如果国产核医学设备能逐渐普及,不但可降低医院购进设备时的费用,也能造福广大患者。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 王文睿负责综述的撰写与修订;郝博闻负责综述最终版本的修订;张国建负责命题思路的设计、综述的审阅

参 考 文 献

- [1] 都勇,王大迢,冯莉,等.辽宁省基层医疗机构国产医疗器械配置现状及障碍因素的现象学研究[J]. *中国医学装备*, 2019, 16(6): 93-98. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2019.06.026.
Du Y, Wang DQ, Feng L, et al. Phenomenological study on current situations and obstacle factors of the configuration of domestic medical devices in primary medical institutions of Liaoning province[J]. *China Med Equip*, 2019, 16(6): 93-98. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2019.06.026.
- [2] 都勇,王大迢,张军,等.区域国产医疗器械“四位一体”阶梯化配置方案的构建[J]. *中国医学装备*, 2020, 17(6): 128-132. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2020.06.032.
Du Y, Wang DQ, Zhang J, et al. Construction of "quaternity step" configuration scheme of domestically medical devices at a region[J]. *China Med Equip*, 2020, 17(6): 128-132. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2020.06.032.
- [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, 19(10): 156-161. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2022.10.034.
Xu SY, Cao DQ, Liang WZ, et al. Research progress of SPECT devices[J]. *China Med Equip*, 2022, 19(10): 156-161. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2022.10.034.
- [4] 张志豪,朱晨亿,丛容,等.放射性金属核素及其核医学应用[J]. *国际医学放射学杂志*, 2023, 46(3): 333-339, 347. DOI: 10.19300/j.2023.Z20334.
Zhang ZH, Zhu CY, Cong R, et al. Radiometallic nuclides and

- their applications in nuclear medicine[J]. *Int J Med Radiol*, 2023, 46(3): 333–339, 347. DOI: 10.19300/j.2023.Z20334.
- [5] Couceiro M, Ferreira NC, Fonte P. Sensitivity assessment of wide axial field of view PET systems via monte Carlo simulations of NEMA-like measurements[J]. *Nucl Instrum Methods Phys Res A*, 2007, 580(1): 485–488. DOI: 10.1016/j.nima.2007.05.145.
- [6] 凌文嘉, 林晓琴, 龚琬玲, 等. 基于 uEXPLORER PET-CT 机的 NEMA 标准性能检测方法[J]. *中国医学物理学杂志*, 2022, 39(9): 1167–1172. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2022.09.018. Ling WJ, Lin XQ, Gong WL, et al. NEMA standard-based performance test for uEXPLORER PET-CT machine[J]. *Chin J Med Physics*, 2022, 39(9): 1167–1172. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2022.09.018.
- [7] 蒋梨, 黄衍超, 李洪生, 等. 基于 NEMA NU 2-2007 标准测试国产 uEXPLORER PET 系统性能[J]. *中国医学影像技术*, 2021, 37(11): 1725–1730. DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2021.11.031. Jiang L, Huang YC, Li HS, et al. Testing performance of domestic uEXPLORER PET system according to NEMA NU 2-2007 standards[J]. *Chin J Med Imaging Technol*, 2021, 37(11): 1725–1730. DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2021.11.031.
- [8] 牟兴宇, 秦洋洋, 李明, 等. 重建方法对 Neuwise PET/CT ^{18}F -FDG 全身显像图像质量及 SUV 的影响[J]. *中国医疗设备*, 2022, 37(5): 82–85. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1633.2022.05.017. Mu XY, Qin YY, Li M, et al. Effect of reconstruction methods on whole-body image quality and SUV of the Neuwise PET/CT ^{18}F -FDG[J]. *China Med Devices*, 2022, 37(5): 82–85. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1633.2022.05.017.
- [9] 曾天翼, 宋少莉, 吕力琅. 一体化 PET/MR 技术的发展及临床应用[J]. *肿瘤影像学*, 2019, 28(4): 276–282. DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2019.04.013. Zeng TY, Song SL, Lyu LL. Technical progress and clinical application of integrated PET/MR[J]. *Oncoradiology*, 2019, 28(4): 276–282. DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2019.04.013.
- [10] 陈兴, 赵军. PET/MR 的衰减校正技术[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2018, 42(4): 352–356. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.04.012. Chen X, Zhao J. Overview of PET/MR attenuation correction[J]. *Int J Radiat Med Nucl Med*, 2018, 42(4): 352–356. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.04.012.
- [11] Chen SG, Gu YS, Yu HJ, et al. NEMA NU2-2012 performance measurements of the United Imaging uPMR790: an integrated PET/MR system[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48(6): 1726–1735. DOI: 10.1007/s00259-020-05135-9.
- [12] 刘自来, 田嘉禾, 张锦明, 等. 国产 BHP6601 型 SPECT 固有性能测试[J]. *同位素*, 2004, 17(2): 93–98. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7512.2004.02.007. Liu ZL, Tian JH, Zhang JM, et al. The intrinsic function measurement of first domestic BHP6601 SPECT[J]. *J Isot*, 2004, 17(2): 93–98. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7512.2004.02.007.
- [13] 张书文, 田嘉禾, 刘自来, 等. 国产 BHP6601 型 SPECT 的临床应用[J]. *同位素*, 2005, 18(3): 186–188, 163. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7512.2005.03.015. Zhang SW, Tian JH, Liu ZL, et al. Clinical application of domestica manufactured BHP6601 SPECT[J]. *J Isot*, 2005, 18(3): 186–188, 163. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7512.2005.03.015.
- [14] 姚树林, 窦寰宇, 王新强, 等. 2 种 SPECT 联合质量控制与等效性比较[J]. *医疗卫生装备*, 2017, 38(8): 75–78, 90. DOI: 10.7687/j.issn1003-8868.2017.08.075. Yao SL, Dou HY, Wang XQ, et al. Comparison of joint quality control and equivalence between two SPECT machines[J]. *Chin Med Equip*, 2017, 38(8): 75–78, 90. DOI: 10.7687/j.issn1003-8868.2017.08.075.
- [15] 赵振峰, 王雪梅, 王瑞, 等. NET632 型 SPECT 与 Symbia T16 型 SPECT/CT 在全身骨骼显像中的图像对比[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2020, 44(2): 87–91. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2020.02.003. Zhao ZF, Wang XM, Wang R, et al. Comparing the NET632 SPECT and the Symbia T16 SPECT/CT images in whole-body bone scintigraphy[J]. *Int J Radiat Med Nucl Med*, 2020, 44(2): 87–91. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2020.02.003.

(收稿日期: 2022-12-30)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

关于投稿中化学元素与核素符号的书写要求

1. 化学元素符号应当用罗马(正)体书写, 首字母大写, 在符号后不加圆点。
2. 核素的核子数(质量数)标注在元素符号的左上角。例如: ^{14}C , ^{60}Co , 不写成 14 氮或 N^{14} , 60 钴或 Co^{60} 。
3. 分子中核素的原子数标注在核素符号的右下角。例如: $^{14}\text{N}_2$ 。
4. 质子数(原子序数)标注在元素符号的左下角。例如: $_{82}\text{Pb}$, $_{26}\text{Fe}$ 。
5. 离子价和表明阴、阳离子的符号“+”或“-”标注于元素符号的右上角, 离子价数写在符号前。例如: 正 2 价的镁离子, 应写成 Mg^{2+} , 不宜写成 Mg^{++} 。
6. 激发态标注在元素符号的右上角。例如: $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 不写成 $^{99\text{m}}$ 锝、 $\text{Tc}^{99\text{m}}$ 或 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。

本刊编辑部