

谨以此书献给

复旦大学附属中山医院核医学科
建科六十五周年

复旦大学附属中山医院核医学科团队对全球首台具有 194 cm 轴向视野的全身 PET/CT 进行了 3 年余系统的临床应用探索性研究,并发表了 30 余篇学术论文。本书以这些研究为基础,归纳总结出的“中山”经验进行分享。

全书共十章,各章既自成一体,又彼此关联。在概述全身 PET/CT 所具有的物理特性和潜在的临床优势应用领域的基础上,介绍了编者团队进行的系列临床应用研究,这些研究能将全身 PET/CT 的潜在优势转化为解决临床问题的有效方法和手段。第一,基于对全身 PET/CT 与常规数字 PET/CT 进行对比研究的结果,介绍了快速扫描的可行性及其诊断效能;第二,阐述了全身动态采集在药代动力学研究方面的独特价值和潜在优势,以及在动态采集图像基础上获得的参数、时间放射性曲线在肿瘤诊断中的增益价值;第三,介绍了半剂量和十分之一剂量全身 PET/CT 扫描的可行性和优化的成像参数;第四,介绍了门控技术、超低剂量 CT 等目前尚在探索和完善中的新技术;最后,介绍了《 ^{18}F -FDG 全身 PET/CT 肿瘤显像专家共识》的细节,以及多种应用场景下全身 PET/CT 检查工作流程的初步经验总结。

本书系统地介绍了全身 PET/CT 的临床应用价值、解决临床问题的方法,以及临床应用探索过程中的科研方法,为核医学科、影像科医生及相关领域工作人员的日常工作和科研提供参考。

编者名单

主 编

石洪成 刘国兵, 张一秋

副主编

余浩军 谭 辉 呼 岩 胡鹏程

编 者

(按姓氏汉语拼音排序)

蔡丹杰 陈曙光 陈雪琪 迪丽比热·阿迪力
高华萍 顾宇参 何依波 呼 岩 胡鹏程
林 禹 刘国兵 吕 靖 漆 赤 石洪成
隋秀莉 谭 辉 吴 哈 肖 杰 杨润君
余浩军 张一秋 郑 哲

主编简介



石洪成 博士,主任医师,教授,博士生导师
复旦大学附属中山医院核医学科主任
复旦大学核医学研究所所长
美国核医学研究院荣誉 FELLOW
中华医学会核医学分会候任主任委员
上海市医学会核医学分会主任委员
《中华核医学与分子影像杂志》副总编

承担国家自然科学基金、科技部重大专项等科研项目多项。以第一或通信作者发表论文 230 余篇,其中 SCI 收录论文 129 篇。主编《PET/CT 影像循证解析与操作规范》《SPECT/诊断 CT 操作规范与临床应用》和《心脏核医学》三部专著。担任九部人民卫生出版社规划教材主编、副主编。主译《人类行为的脑影像学 SPECT 图谱》。

曾荣获上海市政府质量金奖(个人)(2021 年)、上海市医务工匠(2020 年)、上海市十佳医生(2018 年)、国之名医·优秀风范(2018 年)和美国核医学与分子影像学会主席卓越贡献奖(2020 年)等多项荣誉和奖项。



刘国兵 医学博士,复旦大学附属中山医院核医学科主治医师。中国医学影像技术研究会核医学分会青年委员,上海市医学会第十一届理事会核医学与分子影像专业委员会影像学组委员。

主持国家自然科学基金青年基金 1 项、上海市“医苑新星”青年医学人才培养资助计划项目 1 项、复旦大学附属中山医院优秀青年人才计划项目 1 项,以重要参与人身份参与国家科技部重点研发计划子课题、国家工信部攻关项目子课题及国家自然科学基金面上项目等多项研究。

从事核医学诊疗工作及核医学分子影像研究。以第一或通讯作者发表论文 35 篇,其中 SCI 论文 26 篇,中国科学院一区影响因子大于 10 分论文 4 篇。作为副主编出版中文专著 1 部,参编英文专著 1 部。申请发明专利 4 项,2020 年获复旦大学附属中山医院新技术推广运用二等奖、第四届东方核医学与分子影像学术大会核医学优秀青年论文竞赛三等奖,2021 年获上海市优秀发明选拔赛优秀发明金奖、2021 年度中山医院新技术推广运用一等奖。荣获“复旦大学优秀团干”“中山医院优秀住院医师”“中山医院优秀专科医师”“中山医院优秀员工”等荣誉。



张一秋,医学博士,复旦大学附属中山医院核医学科副主任医师,硕士生导师。中国医院协会医学影像中心分会委员,上海市医学会核医学分会委员,上海市核学会核医学与分子影像专业委员会委员,上海市核学会实验核医学与核药学专业委员会委员。

参与多项国家自然科学基金科研项目,作为负责人完成上海市卫生健康委员会面上项目和复旦大学附属中山医院院级基金项目各 1 项,在研上海市科学技术委员会技术标准项目和复旦大学附属中山医院临床研究专项各 1 项。以第一、共同第一或通讯、共同通讯作者发表论文 56 篇,其中 SCI 收录论文 39 篇。担任《SPECT/诊断 CT 操作规范与临床应用》和《PET/

CT 影像循证解析与操作规范》副主编,参与多部核医学教材及专著编写。2019 年入选上海市“医苑新星”青年医学人才培养资助计划;以第二完成人获 2021 年上海医学科技奖三等奖,参与发明专利 6 项并获多项上海市优秀发明选拔赛优秀发明奖,荣获复旦大学附属中山医院优秀教学秘书、《复旦学报(医学版)》优秀审稿专家等荣誉。

2019年4月,上海联影医疗科技股份有限公司的创新产品——全球首台具有194 cm轴向视野的全身PET/CT落户复旦大学附属中山医院。石洪成教授带领核医学科团队,依托中山医院较强的综合实力,以解决医疗工作中的难点问题和关键问题为切入点,经过充分的调研论证和缜密的研究设计,开展了一系列由表及里、循序渐进的临床应用探索研究。首先是基于模型的实验研究,通过与常规数字PET/CT进行对比分析,验证了全身PET/CT的卓越性能。在此基础上,通过临床试验证实了全身PET/CT最快能在30 s内完成检查,以及2 min成像获得高质量诊断结果的可行性和诊断效能。通过全身PET/CT动态采集,首次以可视化的动态影像展示了放射性示踪剂 ^{18}F -FDG在体内分布的全过程,提出了可视化药代动力学、药效学的概念,为后续更深入的研究奠定了基础。通过对动态采集数据的分析,探索参数成像的临床应用价值,阐述了时间-放射性曲线在肝脏肿瘤鉴别诊断中的增益价值。基于药代动力学参数分析,证实了十分之一剂量的 ^{18}F -FDG PET/CT显像与常规剂量的显像除了峰值有差异外,在体内的分布相同。同时证实了以十分之一剂量完成全身PET/CT显像的可行性,并进一步优化了十分之一剂量和半剂量成像技术的参数设置。最后,在一系列临床研究的基础上,建立了全身PET/CT的操作规范,为该创新设备的推广普及和规范化临床应用奠定了坚实的基础。

石洪成教授团队通过3余年的实践探索,不仅以具有创新性的学术观点诠释了全身PET/CT的内涵,并通过团队合作、医企合作,集众人之智,持续推进高质量科研成果的产出,打造了一支优秀的团队。更为重要的是,石洪成教授团队的创新研究让更多既往无法接受PET/CT检查的患者,通过全身PET/CT快速扫描、超低剂量成像等方法,享受到先进医疗设备带来的福利,该方法也逐渐成为临床影像学检查中的优先选择。

全球首台全身PET/CT在复旦大学附属中山医院开展的临床探索应用,是“中山-联影”医产学研全面深入合作的缩影,充分体现了复旦大学附属中山医院“创新、合作、智慧、优质、高效”的发展理念。在此过程中,复旦大学附属中山医院核医学科团队得到了历练,学

科水平显著提高。希望在后续的临床探索中,石洪成教授团队能赋予这一先进医学影像设备更高的实用价值,以高质量创新成果造福患者。

中国科学院院士
复旦大学附属中山医院院长



2023 年 3 月 27 日

具有 194 cm 轴向视野的全身 PET/CT(TB PET/CT),通过一个床位扫描就能够获得自颅顶到足尖的全身影像,有别于具有 15~30 cm 轴向视野的常规 PET/CT 通过多个床位采集后,“拼图”而成的自颅顶到大腿中部的所谓“全身影像”,不仅可以“一网打尽”全身具有显像剂聚集的病灶,更为重要的是,基于长轴向视野,TB PET/CT 的探测效率是具有 20 cm 轴向视野常规 PET/CT 的 40 倍左右。如此高的灵敏度赋予 TB PET/CT 诸多内涵,提升了其临床服务能力。

作为全球首台 TB PET/CT(uEXPLORER)的用户,复旦大学附属中山医院于 2019 年 4 月开启了 TB PET/CT 临床应用的新纪元。至 2022 年底,经过 3 年多的临床应用探索,对 2 万余例次(其中动态采集 1764 例次)患者医学影像资料进行研究,将 TB PET/CT 临床应用研究的结果通过 30 余篇学术论文在国内外具有影响力的医学影像期刊上发表,并应邀在诸多的国内、国际学术会议上进行展示、交流和推广,得到了业界的普遍关注和高度认可。

因其具有诸多亮点,长轴向视野 PET/CT 已成为核医学影像设备发展的新趋势。在全球范围内,越来越多的此类高端医学影像设备投入临床使用。但是,就目前而言,该领域的参考文献还很有限,专业书籍更加匮乏。本书将编者团队所取得的阶段性成果,经过梳理、归纳而总结成文,系统地介绍了 TB PET/CT 的临床应用价值、解决临床问题的方法,以及临床应用探索过程中的科研方法。作为单中心、阶段性的研究成果,先进性和局限性兼而有之,在此一并呈现给读者,希望大家持续探索的航程中,能够发挥一盏航标灯的作用。

石洪成

2023 年 3 月

第一章	全身 PET/CT 的特点与临床应用	001
第一节	PET/CT 发展简史	001
第二节	uEXPLORER TB PET/CT 的特点与潜在优势应用领域	002
第三节	TB PET/CT 临床应用的探索性研究	003
第四节	TB PET/CT 探索性临床应用的阶段性成果	006
第五节	TB PET/CT 临床应用展望	007
第二章	全身 PET/CT 与常规数字 PET/CT 的对比研究	010
第一节	TB PET/CT 与常规数字 PET/CT 对照研究	010
第二节	TB PET/CT 2 min 采集图像与常规数字 PET/CT 图像的对比 分析	014
第三节	TB PET/CT 与常规数字 PET/CT 在病灶探测效率方面的队列 研究	015
第三章	全身 PET/CT 快速扫描的临床应用	019
第一节	^{18}F -FDG TB PET/CT 快速扫描的可行性研究	019
第二节	^{18}F -FDG TB PET/CT 快速扫描的临床应用	022
第四章	全身 PET/CT 在分析药物体内分布中的应用	030
第一节	临床药理相关药物代谢动力学理论要点	031
第二节	PET 药物代谢动力学的介绍	039
第三节	TB PET/CT 药物体内分布研究的案例展示	051
第四节	TB PET/CT 药物体内分布研究的现状和展望	057

第五章 全身 PET/CT 动态采集信息解读与应用	063
第一节 TB PET/CT 参数成像及应用探索	063
第二节 TAC 在肝脏肿瘤鉴别诊断中的应用	065
第三节 TB PET/CT 全身动态影像评价靶器官功能状态	066
第六章 半剂量全身 PET/CT 显像的临床应用	070
第一节 半剂量 TB PET/CT 显像的可行性研究	070
第二节 半剂量 TB PET/CT 采集条件的验证	074
第三节 半剂量 TB PET/CT 显像在大动脉炎中的应用	076
第七章 十分之一剂量全身 PET/CT 显像的临床应用	081
第一节 十分之一剂量 ¹⁸ F-FDG TB PET/CT 显像的方法学建立	082
第二节 十分之一剂量 ¹⁸ F-FDG TB PET/CT 显像的临床验证	085
第三节 十分之一剂量 ¹⁸ F-FDG TB PET/CT 显像的临床应用	086
第八章 全身 PET/CT 探索中的应用技术	092
第一节 TB PET/CT 显像中门控技术的应用	092
第二节 TB PET 图像的小体素重建	095
第三节 十分之一剂量 TB PET 显像图像重建参数的优化	096
第四节 TB PET/CT 显像低剂量 CT 的应用	097
第九章 ¹⁸F-FDG 全身 PET/CT 肿瘤显像专家共识解读	099
第十章 全身 PET/CT(uEXPLORER)工作流程的构建	106
第一节 TB PET/CT 高效运营体系的构建	106
第二节 TB PET/CT 高效运转案例分享	107
后记	113

第一章

全身 PET/CT 的特点与临床应用

2019 年 4 月,全球首台具有 194 cm 轴向视野(axial field of view, AFOV)的全身 PET/CT(total body PET/CT, TB PET/CT)uEXPLORE 落户复旦大学附属中山医院,开启了 TB PET/CT 临床应用的新纪元。

第一节 PET/CT 发展简史

1974 年,正电子发射计算机断层显像(positron emission tomography, PET)(PETT III)投入商业化运营。1998 年 David Townsend 团队首次将 PET/CT 用于患者检查。同年,美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)批准¹⁸F-FDG PET 用于肿瘤患者的检查。2000 年 PET/CT 开始商业化运营。随着技术进步,PET/CT 影像设备在硬件和软件性能方面都在不断地完善和持续提升中。例如,PET 探测器从早期的碘化钠晶体发展到锗酸铋(bismuth germanite, BGO),再到现在的硅酸镧(lutetium oxyorthosilicate, LSO)及硅酸镧钇(lutetium yttrium oxyorthosilicate, LYSO);图像重建由最初的滤波反投影法发展到有序子集最大期望值法等。同时,PET/CT 中的 CT 也从早期的 1 排、2 排,发展到现在的 64 排或 128 排。随着 PET/CT 整体性能的提升和临床应用的深入,其应用领域不断拓展,所发挥的作用也得到更多的认可。经过 20 多年的发展与完善,PET/CT 已经成为一种先进的核医学分子影像检查技术,成为唯一能在活体上显示分子代谢、受体及神经介质活动的影像学检查技术。如何借助高质量的 PET/CT 影像,充分捕捉示踪剂的分布信息,更加敏感地发现早期病变或者早期评价病变的动态变化,依然面临着诸多挑战。

PET/CT 图像质量受到放射性药物注射剂量、信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)、成像时间、设备分辨率等多因素影响。目前商用常规 PET/CT 的轴向视野约为 15~30 cm,每个床位扫描,仅能覆盖身体八分之一的范围,所接收到的信号仅为人体发射出符合光子量的 1%左右,制约了系统的探测效率和灵敏度。长轴向视野的 PET/CT 成为打破这些束缚的突破点。

长轴向视野(long axial field-of-view, LAFOV)PET/CT 的概念最早由 Terry Jones 在 20 世纪 90 年代初提出。2004 年 6 月日本学者介绍了具有 68.5 cm 轴向视野的 PET/CT (Hamamatsu SHR-92000),但并没有在临床上应用。2018 年美国加州大学戴维斯分校

(UC Davis)与上海联影医疗科技有限公司合作开发的具有 194 cm 的长轴向视野全身 PET/CT 成像系统——uEXPLORER 面世。复旦大学附属中山医院核医学科团队与研发团队合作,参与了该设备的临床前探索性研究。2019 年 1 月 uEXPLORER 获得 FDA 批准,2019 年 4 月全球首台长轴向视野 PET/CT(uEXPLORER)落户复旦大学附属中山医院,并开始了临床验证。2019 年 12 月获得国家食品药品监督管理局的上市许可。

2020 年西门子公司研发的具有 106 cm 轴向视野的 Biograph Vision Quadra PET/CT 投入临床应用。尚处于研发阶段的 LAFOV PET/CT 还有飞利浦公司与宾夕法尼亚大学联合开发的 PennPET Explorer。三种 LAFOV PET/CT 的关键参数见表 1-1。

表 1-1 LAFOV PET/CT 关键参数比较

PET/CT 系统	uEXPLORER	PennPET Explorer	Biograph Vision Quadra
晶体	LYSO	LYSO	LSO
晶体大小(mm)	2.76×2.76×18.1	3.86×3.86×19	3.2×3.2×20
探测器内径(cm)	68.6	70	78
轴向长度(cm)	194.8	140	106
能量分辨率(%)	11.7	12.0	10.7
TOF 分辨率(ps)	430	250	228
灵敏度(kcps/MBq)	174	55	174
空间分辨率(mm)	2.9	4.0	3.3
散射分数(%)	35.8	32	36

(吕 靖 蔡丹杰 石洪成)

第二节 uEXPLORER TB PET/CT 的特点与潜在优势应用领域

■ TB PET/CT 物理特点

uEXPLORER TB PET/CT 的轴向视野为 194 cm、横向视野为 68.6 cm。理论上推导轴向视野为 194 cm 的 PET/CT 若赋予飞行时间技术,其探测效率是轴向视野为 20 cm 常规 PET/CT 的 40 倍。uEXPLORER TB PET/CT 实现了一个床位采集获得自头顶到足尖的全身影像,较常规 PET/CT 经过多个床位采集后,“拼图”实现从头顶到大腿中部的“全身”图像具有明显优势。

■ TB PET/CT 潜在优势应用领域

SNR 是评价 PET/CT 图像质量的关键指标。 $SNR \approx k\sqrt{S \times A \times T}$,其中 k 为常数, S

为灵敏度(sensitivity), A 为放射性药物的活度(activity), T 为采集时间(time)。从理论上推导, uEXPLORER 的超高灵敏度为提升图像质量、缩短采集时间、减少注射剂量、超长时间延迟显像、药代动力学参数研究等方面的应用奠定了基础。

(吕 靖 刘国兵)

第三节 TB PET/CT 临床应用的探索性研究

TB PET/CT(uEXPLORER)具有 194 cm 的轴向视野,与生俱来的先天优势就是通过单床位、高效率采集获得自头顶到足尖的全身影像。有别于常规 PET/CT 通过多个床位间的部分重叠采集,“组合”而成的从头顶到大腿中部的所谓全身图像。长轴向视野所赋予的高灵敏度,提升了探测更小或者显像剂聚集不明显病灶的能力(图 1-1)。

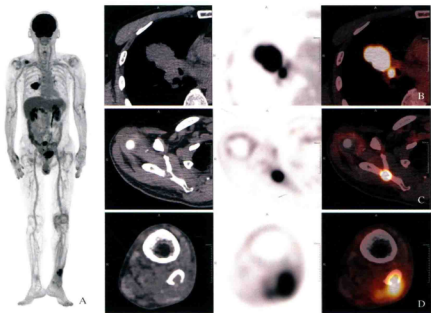


图 1-1 右肺中央型肺癌伴右侧肩胛骨和左侧腓骨转移

男性,65岁。最大密度投影(A)示右肺门旁、右侧肩胛骨和左侧小腿远端见显像剂异常聚集灶。在与之对应的横断面图像上可见,右肺中叶支气管旁糖代谢异常增高灶局部突入支气管腔内(B),伴远端糖代谢异常增高的实性病灶;右侧肩胛骨(C)和左侧腓骨远端(D)见局灶性溶骨破坏伴软组织肿块形成。

TB PET/CT 在理论上所具有的优势,如何转化为临床实践中解决问题的有效方法,复旦大学附属中山医院核医学科团队经过系列、层层递进的探索性研究,归纳总结了 uEXPLORER TB PET/CT 的临床优势应用领域,建立了与之对应的操作规范(图 1-2)。

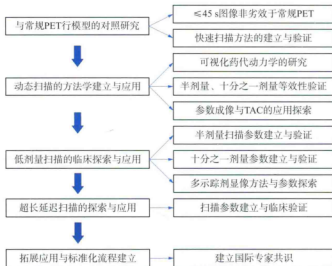


图 1-2 复旦大学附属中山医院核医学科团队探索 TB PET/CT 临床应用线路图

快速扫描的探索性研究

通过对模型的研究,在图像质量非劣效于常规数字 PET/CT 的前提下,探索了 uEXPLORER TB PET/CT 快速扫描的可行性,建立了快速扫描的参数和采集条件。

可视化药代动力学的探索性研究

传统的药代动力学研究重点关注血药浓度变化,缺少药物在不同组织和器官中分布的信息。药效学评价需要在用药后的一段时间才能获得相关信息。TB PET/CT 的临床应用为可视化药代动力学研究奠定了基础。应用 uEXPLORER TB PET/CT 对健康志愿者研究进行动态采集,首次展示了 ^{18}F -FDG 在人体内实时动态分布的图像,同时还揭示了 ^{18}F -FDG 在人体不同组织和器官内的动态分布过程,并应用半定量参数予以展示。

低剂量扫描的探索性研究

(一) 半剂量与十分之一剂量显像

应用 uEXPLORER TB PET/CT 对健康志愿者进行显像剂在体内动态分布的研究,发现全剂量(3.7 MBq/kg)与十分之一剂量(0.37 MBq/kg) ^{18}F -FDG PET 显像,除了峰值的

差异之外, ^{18}F -FDG 在人体内分布是一致的,为十分之一剂量(0.37 MBq/kg) ^{18}F -FDG TB PET 显像的临床应用提供了翔实的证据。随后,又通过对一组患者进行头对头的半剂量(1.75 MBq/kg)和十分之一剂量(0.37 MBq/kg) ^{18}F -FDG TB PET 显像的临床研究发现,半剂量与十分之一剂量 ^{18}F -FDG 在患者体内的分布没有差异,而且采用合适的采集时间对病灶的探测效率没有影响,进一步证实了半剂量和十分之一剂量应用于临床的可行性。继而,探索并建立了半剂量和十分之一剂量 ^{18}F -FDG TB PET/CT 显像的采集参数。

(二) 个性化注射剂量

根据受检者体重指数(body mass index, BMI)给予个性化的显像剂剂量,对于保证图像质量均一化具有重要价值。基于此,复旦大学附属中山医院核医学科团队设计了队列研究,所有纳入研究的患者在显像前的状态尽量保持一致,如空腹血糖 $<6.1\text{ mmol/L}$ 。第一队列由 78 例肿瘤患者组成,予以全剂量 ^{18}F -FDG TB PET/CT 检查,得到的数据用以制订个性化注射剂量方案。使用线性和非线性方法将代表图像质量的 SNR_{norm} (归一化的 SNR_{L} , normalized liver signal-to-noise ratio)与患者相关参数进行拟合,发现 SNR_{norm} 和 BMI 的线性拟合度最好,并据此推导出了基于 BMI 的注射剂量建议方案:注射剂量 $=39.2\text{ MBq}/(-0.03\times\text{BMI}+1.49)^2$ 。为了进一步验证该基于 BMI 的注射剂量方案,纳入了 38 例肿瘤患者作为研究的第二队列。根据注射剂量公式计算出个性化的 ^{18}F -FDG 注射剂量并完成 TB PET/CT 检查,所获得图像的 SNR_{L} 不再随着 BMI 的增加而降低,实现了均一化的图像质量,验证组中不同 BMI 组间 SNR_{L} 值的图像质量差异无统计学意义。

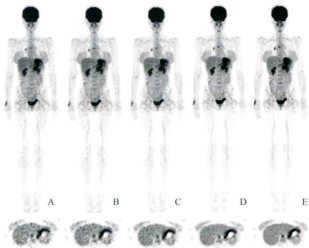


图 1-3 个性化注射剂量不同采集时长的 TB PET/CT 图像

女性,32 岁。身高 171.1 cm ,体重 51.7 kg ,BMI 17.7 kg/m^2 ,根据个性化注射方案,予以注射 40.7 MBq ^{18}F -FDG,较欧洲核医学协会指南推荐剂量的 191.3 MBq 降低约 78.8%。采集时长 60 s 的图像质量能够满足临床诊断需求。

($P>0.05$)。此外,与第一队列相比,四组不同 BMI 组患者注射剂量较常规显像剂剂量模式分别降低了 $75.6\%\pm 2.9\%$ 、 $72.1\%\pm 4.0\%$ 、 $67.1\%\pm 4.4\%$ 和 $64.8\%\pm 3.5\%$ 。说明基于 BMI 的线性剂量方案,能够实现具有不同 BMI 的患者获得同质化的图像质量,且所给予的显像剂剂量低于欧洲核医学协会指南推荐的使用量。

四 多示踪剂低剂量显像的应用

通过多示踪剂显像获得不同示踪剂间优势互补的生物学信息,能够进一步提升对疾病诊断或评价的效能。但是,不同示踪剂所使用的放射性核素间的相互影响是制约多示踪剂联合应用的瓶颈。采用非同日的低或超低剂量多示踪剂 TB PET/CT 显像,方法简便易行,但是耗时、可操作性不强。采用同日法可以减少患者的多次往返,有效地降低时间成本,但是需要优化出更加合理、适用的成像参数,达到既能节省时间,又能够解读出其中内涵的多示踪剂联合显像方法。复旦大学附属中山医院核医学科团队的相关研究还在进行中。

(肖杰 林禹 石洪成)

第四节 TB PET/CT 探索性临床应用的阶段性成果

自 2019 年 4 月至 2022 年 12 月,复旦大学附属中山医院核医学科应用 uEXPLORER PET/CT 完成 20 000 余例次检查,其中动态采集 1 764 例次,涵盖不同的示踪剂和同种示踪剂的不同剂量。经过逐层递进的系列探索性临床应用研究,基于大量详实的临床证据,取得了阶段性的成果,充分展示了 uEXPLORER TB PET/CT 的临床应用优势,实现了快速扫描、半剂量或十分之一剂量扫描和动态扫描,并建立了操作规范,提升了 PET 的临床服务能力。

一 实现了从理论推断到临床应用的跨越

使用轴向视野为 15~30 cm 的常规 PET/CT 检查,欧洲核医学协会指南中推荐注射 ^{18}F -FDG 的剂量成人 3.7 MBq/kg,采集时间为 2~3 min/床位,平均每人需要 15~30 min 的检查时间。基于我们团队的探索性应用研究,建立了满足个性化需求的 uEXPLORER TB PET/CT 整体采集方案并形成了国际专家共识。可选择方案包括按照欧洲核医学协会指南推荐注射剂量 ^{18}F -FDG 显像的快速扫描,标准采集时间为 0.5~2 min,快速采集时间为 0.5~1 min;半剂量 ^{18}F -FDG 显像的标准采集时间为 3~5 min,快速采集时间为 2~4 min;十分之一剂量 ^{18}F -FDG 显像的标准采集时间为 7~15 min,快速采集时间为 6~8 min。通过延迟显像提升对特殊病变探测的敏感性,借助动态采集更好地获得病变信息。

二 将 TB PET/CT 的优势转化为临床服务能力

快速扫描、低剂量扫描使得既往难以接受 PET/CT 的检查者可选择适宜的条件进行显像,扩展了 PET/CT 的临床适用范围;借助快速扫描模式,实现了单位时间内检查患者数量最大化的目标;快速扫描与低或超低剂量的组合式应用,实现了在固定药物剂量的前提下,

检查患者量的最大化;动态扫描为疾病的诊断提供了增益价值。

三 初步构建 TB PET/CT 检查工作流程

在探索性临床应用过程中,初步建立了病史采集、确立个性化检查方案(动态或者静态)、按照个性化剂量注射显像剂、个性化的采集方案与图像后处理方案等环环相扣的工作流程。在工作流程的每个节点,高度强调每个环节的高质量与环节间的密切沟通和高效率合作,以保证整体运营效能的最大化。在强调图像质量优先的前提下,满足个性化需求的工作流程,为充分发挥 uEXPLORER TB PET/CT 的优势,保证患者获益的最大化奠定了基础。

四 促进了 PET/CT 的规范化应用

通过与常规 PET/CT 的系列对比研究,明晰了 TB PET/CT 的优势所在,知晓了如何在临床实践中规避常规 PET/CT 的局限性,为充分发挥 PET/CT 的临床应用价值起到了促进作用,同时也为 PET/CT 临床应用指南的更新提供了翔实的证据。

复旦大学附属中山医院核医学科团队通过不懈的努力,在持续推进 uEXPLORER TB PET/CT 临床探索性应用的进程中,发表了系列学术论文近 30 篇,其中在《欧洲核医学与分子影像杂志》和《(美国)核医学杂志》上发表学术论著 12 篇,应邀在国际学术会议上分享学术成果 13 次,提升了 TB PET/CT 的知晓度。

五 谱写了医产研合作的新篇章

在 uEXPLORER TB PET/CT 临床应用探索过程中,医者从满足临床应用的角度品味设备的应用性能,并提出需要解决的问题;生产企业以其专业优势,对医者提出的问题予以改进和完善,或者将医者的专利转化为设备新的性能,两者优势互补、合作共赢。两者的深入合作为产品性能验证、优化和持续改进节约了时间成本,建立了富有内涵的医-产-研合作新模式。

(刘国兵 谭 辉 石洪成)

第五节 TB PET/CT 临床应用展望

随着超长轴向视野 PET/CT 的普及和临床应用探索的不断深入,昔日诸多的潜在优势已经成为临床实践过程中解决实际问题的得力方法;同时,又有新的问题不断涌现,需要持续的探索。目前关注的一些热点问题如下:

一 在新药研发中的应用

近年来微剂量方法成为药物研发领域的热点之一。通过将微量的新药引入人体研究药代动力学和药效学以及药物毒理学,最大程度地避免了在动物模型上研究所遇到的诸多瓶颈问题。TB PET/CT 所具有的高灵敏度和全身实时动态显像的优势,为微剂量研究创

此为试读,需要完整PDF请访问