

短采集时间全身 PET/CT 显像在肺部及实质脏器中的临床应用可行性分析

赵敏捷 咎柯宇 程召平 崔晓 柴雷英 李坤 葛敏 段艳华

山东第一医科大学第一附属医院(山东省千佛山医院)核医学科, 济南 250014

通信作者: 段艳华, Email: dyh8212@163.com

【摘要】 目的 研究短采集时间全身 PET/CT 显像对肺部和实质脏器图像质量及病变可检测性的影响。**方法** 回顾性分析 2021 年 10 月至 2022 年 4 月于山东第一医科大学第一附属医院行全身 PET/CT 检查的 60 例肺结节(PN)患者[男 31 例,女 29 例,年龄(61.1±11.8)岁]和 53 例实质脏器病变(POL)患者[男 29 例,女 24 例,年龄(56.7±17.2)岁]的资料。PET 采集时间为 600 s,用采集的数据重建 30、60、120、180、300、600 s 的 PET 图像,即 G30、G60、G120、G180、G300、G600 组。使用 5 分 Likert 量表从图像整体质量、噪声和病变显著性 3 个方面对 PET 图像进行主观评分。客观分析指标包括纵隔血池 SUV_{mean} , 肝脏 SUV_{mean} 、标准差(SD)和信噪比(SNR),病灶 SUV_{max} 和靶本比(TBR),采用 Friedman 检验比较组间各指标差异(两两比较行 Bonferroni 校正)。以 G600 组为标准,评估其他组的病变可检测性。**结果** PN 患者各时间组和 POL 患者 G120、G180、G300 组在图像整体质量、噪声和病变显著性方面均可满足临床诊断需求(均评分>3 分)。各时间组之间纵隔血池 SUV_{mean} (PN: 中位值 1.52~1.56, POL: 中位值 1.35~1.47, χ^2 值: 10.23、11.02)和肝脏 SUV_{mean} (PN: 中位值 2.51~2.56, POL: 中位值 2.33~2.40, χ^2 值: 8.35、8.93)差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。肝脏 SD 随着采集时间的缩短而逐渐增加(χ^2 值: 400.99、400.00, 均 $P<0.001$; z 值: -16.90~-3.15, 均 $P<0.003$), SNR 随着采集时间的缩短而逐渐降低(χ^2 值: 397.32、400.00, 均 $P<0.001$; z 值: 2.98~16.90, 均 $P<0.003$)。病灶 SUV_{max} (PN: 中位值 3.55~4.01, POL: 中位值 5.77~6.08, χ^2 值: 8.58、3.02)和 TBR(PN: 中位值 2.42~2.81, POL: 中位值 2.36~2.45, χ^2 值: 9.83、3.69)在各时间组之间差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。以 G600 组为参考, PN 患者 G30 等各时间组和 POL 患者 G120、G180 和 G300 组的病灶检出率均为 100%(81/81 及 80/80)。**结论** 肺部采集时间为 30 s 及实质脏器采集时间为 120 s 的全身 PET/CT 图像可以同时保持图像质量和病变可检测性。

【关键词】 多发性肺结节; 图像处理, 计算机辅助; 时间因素; 正电子发射断层显像术; 体层摄影术, X 线计算机; 氟脱氧葡萄糖 F18

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20220714-00228

Evaluation on the feasibility of total-body PET/CT imaging with short acquisition time in lungs and parenchymal organs

Zhao Minjie, Zan Keyu, Cheng Zhaoping, Cui Xiao, Chai Leiyang, Li Kun, Ge Min, Duan Yanhua

Department of Nuclear Medicine, the First Affiliated Hospital of Shandong First Medical University & Shandong Provincial Qianfoshan Hospital, Jinan 250014, China

Corresponding author: Duan Yanhua, Email: dyh8212@163.com

【Abstract】 Objective To investigate the effects of total-body PET/CT imaging with short acquisition time on image quality and lesion detectability in lungs and parenchymal organs. **Methods** Sixty patients (31 males, 29 females, age (61.1±11.8) years) with pulmonary nodules (PN) and 53 patients (29 males, 24 females, age (56.7±17.2) years) with parenchymal organ lesions (POL) who underwent total-body PET/CT imaging in the First Affiliated Hospital of Shandong First Medical University between October 2021 and April 2022 were retrospectively analyzed. The acquisition time with PET was 600 s, and the reconstructed images were divided into 6 groups based on different duration (30, 60, 120, 180, 300 and 600 s), namely G30, G60, G120, G180, G300 and G600 groups. The subjective analysis was carried out with the 5-point Likert scale in 3 aspects: the overall impression of image quality, noise, and lesion conspicuity. The objective analysis indicators included the SUV_{mean} of the mediastinal blood pool (MBP); the SUV_{mean} , standard deviation (SD) and signal-to-noise ratio (SNR) of the liver; SUV_{max} and target-to-background ratio (TBR) of the lesions. Differences of the indicators among 6 groups were analyzed by Friedman test with Bonferroni correction. G600 served as the reference for the other 5 groups to test their lesion detectability.

Results The subjective image quality of different groups for PN and that of G120, G180, G300 groups for POL could meet the needs of clinical diagnosis in terms of the overall image quality, noise, and lesion conspicuity (all scores > 3). There was no significant difference in the SUV_{mean} of MBP among different time groups (median for PN: 1.52–1.56, median for POL: 1.35–1.47; χ^2 values: 10.23, 11.02, both $P > 0.05$). Difference was not found in SUV_{mean} of the liver either (median for PN: 2.51–2.56, median for POL: 2.33–2.40; χ^2 values: 8.35, 8.93, both $P > 0.05$). The liver SD significantly increased along with the shortened acquisition time (χ^2 values: 400.99, 400.00, both $P < 0.001$; z values: from -16.90 to -3.15, all $P < 0.003$). The SNR significantly decreased along with the shortened acquisition time (χ^2 values: 397.32, 400.00, both $P < 0.001$; z values: 2.98–16.90, all $P < 0.003$). The SUV_{max} (median for PN: 3.55–4.01, median for POL: 5.77–6.08; χ^2 values: 8.58, 3.02, both $P > 0.05$) and TBR (median for PN: 2.42–2.81, median for POL: 2.36–2.45; χ^2 values: 9.83, 3.69, both $P > 0.05$) of lesion were not significantly different among 6 groups. Taking G600 group as a reference, the lesion detection rates were 100% in G30 group and other 4 groups for PN (81/81) and in G120, G180, G300 groups for POL (80/80). **Conclusion** Total-body PET/CT imaging with acquisition time of 30 s for lungs and that with acquisition time of 120 s for parenchymal organs are feasible for clinical use, with the PET image quality and lesion detectability maintained.

【Key words】 Multiple pulmonary nodules; Image processing, computer-assisted; Time factors; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Fluorodeoxyglucose F18

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20220714-00228

^{18}F -FDG 全身 PET/CT 显像在肿瘤诊断、分期、再分期及疗效评估方面发挥着重要作用,并且能够指导临床治疗方案的选择^[1-2]。在临床实践中,出于对肿瘤患者耐受度的考虑,常需对 PET 采集时间进行调整。全身 PET 仪具有 194 cm 长轴视野 (field-of-view, FOV) 和较宽的接受角,可以在 1 次扫描中同时记录来自整个人体的符合光子,具有更高的光子探测效率,相较于传统短轴 PET,灵敏度提高了约 40 倍;另外,小型探测器单元的应用及单元之间仅 2.5 mm 的间隙能够减少光子向探测器外的扩散,提高空间分辨率,这些优点使得短时扫描及低注射活度 PET 显像成为可能^[3-4]。传统短轴 PET 通常完成全身扫描需要 5~9 个床位^[5],而全身 PET 仪使用 1 个床位即可完成。一些研究已证实全身 PET 仪在短采集时间方面的优势^[6-8]。1 项关于肺癌的半剂量研究表明,采集时间为 2 min 的全身 PET 与传统 PET 图像质量相当^[9]。

由于不同组织或器官的 FDG 摄取水平不同,位于不同器官的 FDG 摄取水平相同的病变的视觉可检测性可能不同。本研究旨在探讨全身 PET 短采集时间对于肺部和实质脏器图像质量的影响,并确定适合的短采集时间。

资料与方法

1. 研究对象。回顾性纳入 2021 年 10 月至 2022 年 4 月间于山东第一医科大学第一附属医院行 ^{18}F -FDG 全身 PET/CT 检查的 60 例肺结节 (pulmonary nodules, PN) 患者 [男 31 例,女 29 例,年龄 (61.1±11.8) 岁] 及 53 例实质脏器病变 (parenchymal organ lesions, POL) 患者 [男 29 例,女 24 例,年龄 (56.7±17.2) 岁]。

所有患者病理或临床随访证实。排除无 FDG 阳性病灶、肝内病灶影响感兴趣体积 (volumes of interest, VOI) 勾画和已经接受治疗的患者。本研究得到本院医学伦理委员会的批准 [批件号:【2021】伦审字 (S243) 号], 入选患者均签署知情同意书。

2. PET/CT 显像方法。采用上海联影医疗科技股份有限公司 uEXPLORER 全身 PET/CT 仪。 ^{18}F -FDG 由南京江原安迪科正电子研究发展有限公司提供,纯化纯 > 95%, 注射剂量为按患者体质量 2.96 MBq/kg。患者检查前 24 h 避免剧烈运动并禁食 6 h 以上,注射时空腹血糖水平低于 9.4 mmol/L, 安静等待 60~90 min 后行全身 PET/CT 扫描, PET 采集时间为 600 s。为了模拟短时间采集,使用 600 s 的数据重建 30、60、120、180、300 和 600 s 的 PET 图像 (G30、G60、G120、G180、G300、G600 组)。使用有序子集最大期望值迭代法重建 194 cm 的 PET 图像,参数如下:飞行时间和点扩散函数建模技术;3 次迭代和 20 个子集;矩阵大小 192×192;层厚 2.89 mm;FOV 600 mm (像素大小:3.125×3.125×2.89 mm³);高斯后滤波 (半高宽 = 3 mm)。所有 PET 图像都被传输到医学图像处理工作站 (uWS-MI, 上海联影医疗科技股份有限公司) 进行图像评估。

3. 图像质量分析。(1) 主观图像质量。主观图像质量由 2 位具有 5 年以上 ^{18}F -FDG PET/CT 诊断经验的核医学科医师进行评估。在对患者病史及图像采集时间不知情的情况下,2 位评分者使用 5 分 Likert 量表对 PET 图像整体质量、图像噪声和病变显著性进行独立、双盲、随机评分^[10]。结果不一致时,由第 3 位高年资医师进行评分。1 分:图像清晰度差,图像噪声明显,病变对比度差、无法识别;2 分:

图像模糊,噪声较明显,病变显示效果欠佳,诊断信心不足;3分:图像清晰度、图像噪声与病变对比度适中,但可以诊断,是满足临床诊断需求的最低图像质量水平;4分:图像稍模糊,图像噪声较小,病变显示尚清晰,病灶检出性能良好;5分:图像清晰,无明显噪声,病变显示清晰且无伪影,病变检出性能优秀。G600组图像质量被认为是优秀的,因此没有对其进行评分。

(2)客观图像质量。客观图像质量的评估由1位经验丰富的核医学科医师进行。在气管分叉水平升主动脉(避开管壁及钙化)及肝右叶显像剂分布均匀区域(避开病灶,距离肝脏边缘1cm以上)绘制直径13mm的球形VOI,记录每个VOI的 SUV_{mean} 及标准差(standard deviation, SD;代表背景噪声),肝脏信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)由肝脏 SUV_{mean} 除以SD获得。在融合图像上半自动勾画病灶VOI,阈值为病灶轮廓内 SUV_{max} 的50%,记录每个病灶的 SUV_{max} 。通过将PN SUV_{max} 除以纵隔血池 SUV_{mean} ,计算其靶本比(target-to-background ratio, TBR);POL的TBR通过将病灶 SUV_{max} 除以肝脏 SUV_{mean} 获得。为确保VOI的位置及大小在各时间组的图像中相同,在G600组的图像中绘制VOI,然后复制粘贴到其他时间组的图像中。在薄层CT轴位图像上测量每个病灶的最大径。

4.病变可检测性。本研究病变的可检测性取决于病变的检出率。由2位具有9~10年肿瘤放射学经验的核医学科医师按照随机顺序阅读所有PET图像,记录能够被识别的PN和POL,意见不一致时由第3位具有15年肿瘤放射学诊断经验的核医学主任医师进行二次阅片。以G600组的结果作为参考,评估其他组的病变可检测性。

5.统计学处理。使用IBM SPSS 26.0处理数据。符合正态分布的定量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,非正态分布的定量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示;定性资料以频数(百分比)表示。使用Cohen's Kappa检验评估主观分数的评分者间一致性,当kappa处于0.41~0.60、0.61~0.80和0.81~0.99时分别被认为是中等、较好和出色的一致性;各时间组之间主观图像质量得分的比较使用Kruskal-Wallis秩和检验,客观定量参数的比较使用Friedman检验,进一步两两比较行Bonferroni校正。 $P < 0.05$ (校正 $P < 0.005$ 或 < 0.003)表示差异或一致性有统计学意义。

结 果

1.一般资料。60例PN患者共81个结节,其中腺

癌48个、鳞状细胞癌(简称鳞癌)和肺转移瘤各9个、小细胞肺癌和肺泡细胞瘤各3个、肺结核7个、错构瘤2个;53例POL患者共80个病变,其中肝癌52个、肝转移瘤13个、胆管细胞癌和胰腺癌各5个、肝脓肿和脾脓肿各2个、肝血管瘤1个。2组病灶最大径分别为11.5(7.6, 17.0)和10.6(8.3, 16.6)mm。PN患者和POL患者的 ^{18}F -FDG注射剂量分别为 (198.0 ± 39.4) 和 (186.7 ± 40.3) MBq, PET/CT检查等待时间分别为 (72.4 ± 7.3) 和 (73.4 ± 7.9) min。

2.图像质量。(1)主观图像质量。评分者在PN图像整体质量、图像噪声和病变显著性方面的评分一致性均较好(kappa值:0.84、0.86、0.76,均 $P < 0.001$);其对POL患者的主观图像质量评分的一致性出色(kappa值:0.91、0.89、0.90,均 $P < 0.001$)。在PN患者中,G300、G180、G120、G60和G30组的主观图像质量评分在图像整体质量、图像噪声和病变显著性方面均大于3分,可满足临床诊断需求;在POL患者中,G30、G60组分别有35和10例图像整体质量低于3分,不能满足临床诊断需求,而G300、G180和G120组的主观图像质量均大于3分,能够满足临床诊断需求。具体数据及组间比较结果见表1。各时间组两两比较结果:PN及POL患者均为G120、G180及G300组两两比较差异无统计学意义(均 $P > 0.005$);其余时间组两两比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.005$)。

表1 不同时间组的PN和POL患者 ^{18}F -FDG全身PET/CT显像主观图像质量评分 $[M(Q_1, Q_3)]$

组别	图像整体质量(分)		图像噪声(分)		病灶显著性(分)	
	PN	POL	PN	POL	PN	POL
G30	4(4,4)	3(2,3)	4(3,4)	2(2,3)	4(4,4)	3(2,3)
G60	4(4,5)	3(3,4)	4(4,4)	3(3,4)	4(4,5)	3(3,4)
G120	5(4,5)	4(4,5)	5(4,5)	4(4,5)	5(4,5)	4(4,5)
G180	5(4,5)	5(4,5)	5(4,5)	4(4,5)	5(4,5)	5(4,5)
G300	5(5,5)	5(4,5)	5(4,5)	5(4,5)	5(5,5)	5(5,5)
H值	118.78	117.41	160.85	268.25	269.07	273.12
P值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:PN为肺结节,POL为实质脏器病变,患者数分别为60和53例;G30~G300组指使用600s的PET采集数据重建的30、60、120、180、300s图像组

(2)客观图像质量。客观图像质量参数包括纵隔血池 SUV_{mean} ,肝脏 SUV_{mean} 、SD和SNR以及病灶 SUV_{max} 、TBR,具体结果见表2。在PN和POL患者中,纵隔血池、肝脏 SUV_{mean} 在各时间组之间差异均无统计学意义(χ^2 值:8.35~11.02,均 $P > 0.05$);肝脏SD随着采集时间的缩短而逐渐增加(χ^2 值:400.99、

400.00, 均 $P < 0.001$; z 值: $-16.90 \sim -3.15$, 均 $P < 0.003$), SNR 随着采集时间的缩短而逐渐降低 (χ^2 值: 397.32、400.00, 均 $P < 0.001$; z 值: $2.98 \sim 16.90$, 均 $P < 0.003$); 病灶 SUV_{max} 和 TBR 在各时间组之间差异均无统计学意义 (χ^2 值: $3.02 \sim 9.83$, 均 $P > 0.05$)。

3. 病变可检测性。在 PN 患者中, G600 组的 81 个病灶均能在 G30 等其他时间组中被识别, 病灶检出率均为 100% (81/81)。在 POL 患者中, G120、G180 和 G300 组的病灶检出率为 100% (80/80); G60 组能够检出 91.2% (73/80) 的病灶, 有 7 个病灶不能被识别, 其中 6 个位于肝脏, 1 个位于胰腺; G30 组检

出了 83.7% (67/80) 的病灶, 在 13 个未能检出的病灶中, 12 个位于肝脏, 1 个位于胰腺。典型病例图像见图 1。

讨 论

扫描时间长引发的运动伪影是制约传统短轴 PET 应用的一大难题, 尤其对于肺和上腹部显像, 呼吸运动伪影和移动伪影会导致 PET 和 CT 图像的不匹配, 进而导致衰减校正和匹配错误。呼吸运动伪影也会对图像质量, 病变大小、形状、位置以及显像剂的定量产生影响^[11], 尤其对膈肌附近的小病灶。为了进一步减少呼吸运动对 PET 图像质量的影响,

表 2 不同时间组的 PN 和 POL 患者¹⁸F-FDG 全身 PET/CT 显像客观图像质量 [$M(Q_1, Q_3)$]

组别	纵膈血池 SUV_{mean}		肝脏 SUV_{mean}		肝脏 SD	
	PN	POL	PN	POL	PN	POL
G30	1.56(1.38, 1.73)	1.41(1.29, 1.69)	2.51(2.26, 2.82)	2.34(2.26, 2.67)	0.51(0.40, 0.61)	0.47(0.40, 0.67)
G60	1.53(1.35, 1.75)	1.35(1.31, 1.71)	2.51(2.25, 2.86)	2.40(2.25, 2.75)	0.36(0.31, 0.42)	0.41(0.29, 0.46)
G120	1.52(1.38, 1.74)	1.38(1.30, 1.69)	2.53(2.25, 2.87)	2.39(2.25, 2.77)	0.30(0.25, 0.35)	0.26(0.23, 0.35)
G180	1.55(1.40, 1.72)	1.40(1.26, 1.68)	2.55(2.25, 2.88)	2.38(2.25, 2.77)	0.21(0.20, 0.26)	0.21(0.17, 0.31)
G300	1.54(1.46, 1.68)	1.46(1.24, 1.64)	2.54(2.27, 2.90)	2.37(2.27, 2.69)	0.17(0.15, 0.21)	0.18(0.14, 0.25)
G600	1.56(1.45, 1.68)	1.47(1.22, 1.63)	2.56(2.27, 2.85)	2.33(2.27, 2.67)	0.13(0.11, 0.15)	0.14(0.10, 0.16)
χ^2 值	10.23	11.02	8.35	8.93	400.99	400.00
P 值	0.073	0.058	0.138	0.118	<0.001	<0.001

组别	肝脏 SNR		病灶 SUV_{max}		TBR	
	PN	POL	PN	POL	PN	POL
G30	4.92(4.26, 6.04)	4.88(3.39, 6.62)	4.01(2.31, 8.31)	6.04(4.01, 8.80)	2.71(1.65, 5.36)	2.43(1.66, 3.83)
G60	7.27(6.02, 8.21)	6.66(5.21, 9.96)	3.98(2.38, 8.79)	6.08(3.99, 8.91)	2.52(1.62, 5.80)	2.43(1.60, 3.90)
G120	9.00(7.50, 10.00)	8.73(6.40, 12.24)	3.67(2.39, 8.84)	5.88(4.18, 8.78)	2.54(1.63, 5.72)	2.36(1.61, 3.87)
G180	11.33(10.71, 12.69)	11.00(7.68, 16.32)	3.61(2.45, 8.84)	5.77(4.26, 8.86)	2.66(1.59, 5.73)	2.39(1.63, 3.81)
G300	15.06(13.50, 15.71)	13.35(9.48, 20.17)	3.55(2.48, 9.00)	5.87(4.22, 8.82)	2.81(1.61, 5.70)	2.45(1.67, 3.85)
G600	20.64(16.15, 21.42)	18.47(14.56, 24.85)	3.84(2.45, 8.73)	5.79(4.27, 8.76)	2.42(1.61, 5.65)	2.44(1.66, 3.71)
χ^2 值	397.32	400.00	8.58	3.02	9.83	3.69
P 值	<0.001	<0.001	0.127	0.698	0.080	0.594

注: PN 为肺结节, POL 为实质脏器病变, 患者数分别为 60 和 53 例; SD 为标准差, SNR 为信噪比, TBR 为靶本比; G30~G600 组指使用 600 s 的 PET 采集数据重建的 30、60、120、180、300、600 s 图像组

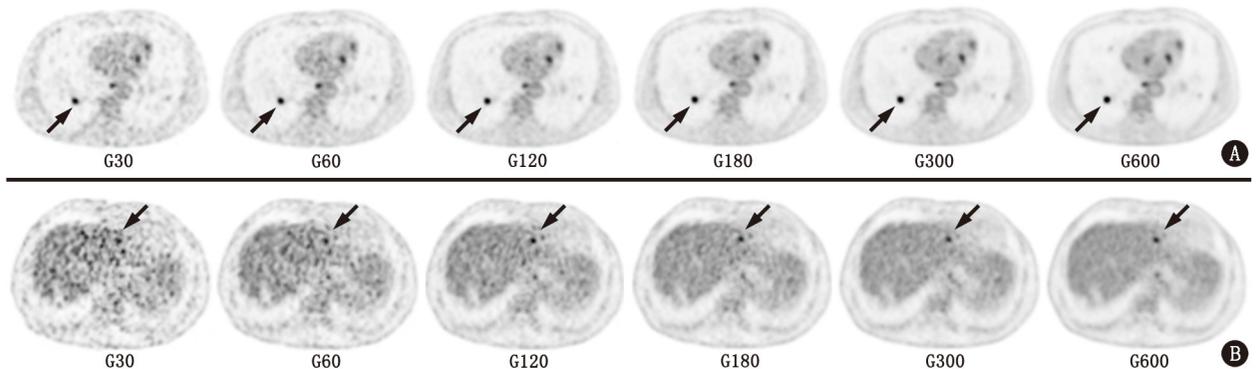


图 1 典型病例的轴位 PET 图像。G30~G600 指使用 600 s 的 PET 采集数据重建的 30、60、120、180、300 和 600 s 的图像(组)。A. 肝癌肺转移患者(男, 56 岁), 图中右下肺下叶病灶均能够清晰显示(箭头示); B. 鼻咽癌肝转移患者(女, 75 岁), 在 G600~G120 的图中肝左叶的¹⁸F-FDG 阳性病变(箭头示)均可被诊断, G60 与 G30 的图中病变与噪声难以区分

呼吸门控技术已被用于短轴 PET 肺部病变的临床研究^[12], 该技术有望提高对膈肌附近病变的检出率, 然而其需要额外对患者进行呼吸训练, 且呼吸同步性差可能需要反复检查^[13]。全身 PET/CT 的长轴 FOV 和高灵敏度可使图像 SNR 提高, 或者在保持图像 SNR 不变的情况下, 缩短采集时间和减少放射性药物的注射活度^[14]。uEXPLORER 全身 PET/CT 仪的灵敏度的显著提升使得短时扫描成为可能^[15]。研究表明, 对于恶性肿瘤, uEXPLORER 全身 PET 30~45 s 短采集时间可以与短轴 PET (每个床位 2~3 min) 获得同等图像质量^[8]; 全身 PET 30 s 短采集时间可以获得可接受的主观图像质量, 肿瘤检出率达 91.7%^[6]。PET 采集时间的缩短可以最大限度地减少由于患者运动产生的图像伪影, 并降低与 CT 衰减校正有关的量子噪声。这对于难以忍受剧痛的肿瘤患者, 需要镇静、麻醉的躁动患者以及儿科患者, 具有积极的意义; 此外, 更短的扫描时间还能够优化检查流程, 提升患者的就诊体验。

本研究探索了适合 PN 与 POL 的最佳短时采集方案, 研究结果表明, 对于 PN, 30 s 短采集时间的全身 PET/CT 主观图像质量能满足临床诊断需求, 且能够维持 100% 的病变检出率, 提示屏气 PET 扫描在诊断肺部病变方面具有潜力; 对于 POL, 120 s 采集时间可以同时保持图像质量和 100% 的病变检出率。另外, 本研究结果示, 缩短采集时间, 光子计数减少, 图像噪声 (肝脏 SD) 增加, 这与之前的研究结果一致^[6]; 而用来反映 VOI 中所有体素平均活度的本底 SUV_{mean} , 服从放射性核素衰变时固有的泊松分布规律, 不易受光子数、采集时间及重建算法的影响^[16-17], 因此本研究中肝脏 SNR 随着噪声 SD 升高而降低, 这也与之前的研究结果一致^[7,9]。

本研究使用病变检出率来衡量病变可检测性, 其取决于病变的大小、FDG 摄取、病变周围背景的纹理以及阅片者的主观因素。结果表明, 对于 POL 和 PN, 采集时间分别 ≥ 120 s 和 ≥ 30 s 可以获得与 600 s 相当的病灶检测性, 这可能是由于肝脏的本底噪声较纵隔血池更高, 相同 FDG 摄取的病灶在非实质脏器肺中更易被识别。高质量的 PET 图像还依赖于良好的 TBR, 本研究 POL 和 PN 患者各时间组之间的病变 TBR 均没有显著差别。本研究 POL 患者中 G60、G30 组病变检出率下降, 其原因是较低的光子计数引起过大的噪声, 未来可以在重建中使用更强的高斯滤波来改善短采集时间 PET 图像噪声。

本研究仍存在一些局限性。首先, 研究结果是

基于全身 PET/CT 系统获得的, 是否适用于其他 PET 系统, 需要更大样本、多中心的研究来验证; 第二, 由于小病灶数量有限, 未对不同大小的病变进行亚组分析, 另外, 未对磨玻璃结节与实性结节进行亚组分析, 今后将增大样本量分组分析采集时间对于不同结节的影响; 第三, CT 图像中的特征对于 PN 的诊断非常重要, 本研究主要集中在 PET 图像质量的分析上, 没有结合 CT 进行综合分析。

总之, 本研究表明, uEXPLORER 全身 PET 仪在显著缩短扫描时间的条件下仍能获得满足临床诊断的图像质量和良好的诊断效能, 对于肺部和实质脏器分别推荐使用 30 s 和 120 s 的短采集时间。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 赵敏捷、管柯宇、程召平、李坤: 研究实施、论文撰写; 崔晓: 统计分析; 柴雷英、葛敏: 技术支持; 段艳华: 研究指导、论文修改

参 考 文 献

- [1] Boellaard R, Delgado-Bolton R, Oyen WJ, et al. FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0 [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 42(2): 328-354. DOI: 10.1007/s00259-014-2961-x.
- [2] Findlay JM, Antonowicz S, Segaran A, et al. Routinely staging gastric cancer with ¹⁸F-FDG PET-CT detects additional metastases and predicts early recurrence and death after surgery [J]. Eur Radiol, 2019, 29(5): 2490-2498. DOI: 10.1007/s00330-018-5904-2.
- [3] Spencer BA, Berg E, Schmall JP, et al. Performance evaluation of the uEXPLORER total-body PET/CT scanner based on NEMA NU 2-2018 with additional tests to characterize PET scanners with a long axial field of view [J]. J Nucl Med, 2021, 62(6): 861-870. DOI: 10.2967/jnumed.120.250597.
- [4] Cherry SR, Jones T, Karp JS, et al. Total-body PET: maximizing sensitivity to create new opportunities for clinical research and patient care [J]. J Nucl Med, 2018, 59(1): 3-12. DOI: 10.2967/jnumed.116.184028.
- [5] Pan T, Einstein SA, Kappadath SC, et al. Performance evaluation of the 5-Ring GE Discovery MI PET/CT system using the national electrical manufacturers association NU 2-2012 Standard [J]. Med Phys, 2019, 46(7): 3025-3033. DOI: 10.1002/mp.13576.
- [6] Zhang YQ, Hu PC, Wu RZ, et al. The image quality, lesion detectability, and acquisition time of ¹⁸F-FDG total-body PET/CT in oncological patients [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2020, 47(11): 2507-2515. DOI: 10.1007/s00259-020-04823-w.
- [7] Zhao YM, Li YH, Chen T, et al. Image quality and lesion detectability in low-dose pediatric ¹⁸F-FDG scans using total-body PET/CT [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 48(11): 3378-3385. DOI: 10.1007/s00259-021-05304-4.
- [8] Hu P, Zhang Y, Yu H, et al. Total-body ¹⁸F-FDG PET/CT scan in oncology patients: how fast could it be? [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 48(8): 2384-2394. DOI: 10.1007/s00259-021-05357-5.
- [9] Tan H, Sui X, Yin H, et al. Total-body PET/CT using half-dose FDG and compared with conventional PET/CT using full-dose FDG in lung cancer [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 48(6):

- 1966-1975. DOI:10.1007/s00259-020-05091-4.
- [10] Hu Y, Liu G, Yu H, et al. Feasibility of acquisitions using total-body PET/CT with an ultra-low ^{18}F -FDG activity[J]. J Nucl Med, 2022, 63(6): 959-965. DOI:10.2967/jnumed.121.262038.
- [11] 秦嵩,郭悦,刘秀芹,等.呼气中期屏气 CT 扫描对 PET/CT 图像质量和肺组织 SUV 的影响[J].中华核医学与分子影像杂志, 2013, 33(5): 358-361. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2013.05.011.
- Qin S, Guo Y, Liu XQ, et al. Effects of breath holding CT scan during mid-expiration on PET/CT[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2013, 33(5): 358-361. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2013.05.011.
- [12] 武志芳,李思进,刘建忠,等.呼吸门控 PET/CT 对肺部结节 SUV 的影响[J].中华核医学与分子影像杂志, 2012, 32(2): 111-114. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2012.02.007.
- Wu ZF, Li SJ, Liu JZ, et al. The effect of respiratory gated PET/CT on SUV of lung nodules[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2012, 32(2): 111-114. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2012.02.007.
- [13] Balamoutoff N, Serrano B, Hugonnet F, et al. Added value of a single fast 20-second deep-inspiration breath-hold acquisition in FDG PET/CT in the assessment of lung nodules[J]. Radiology, 2018, 286(1): 260-270. DOI:10.1148/radiol.2017160534.
- [14] Tan H, Gu Y, Yu H, et al. Total-body PET/CT: current applications and future perspectives[J]. AJR Am J Roentgenol, 2020, 215(2): 325-337. DOI:10.2214/AJR.19.22705.
- [15] 蔡丹杰,石洪成.全身 PET/CT 临床研究的现况与展望[J].中华核医学与分子影像杂志, 2022, 42(1): 41-43. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20210209-00031.
- Cai DJ, Shi HC. Total-body PET/CT current research and future perspectives[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2022, 42(1): 41-43. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20210209-00031.
- [16] 隋秀莉,石洪成. SUV 测量准确性的影响因素及其解决对策[J].国际放射医学核医学杂志, 2021, 45(8): 521-526. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202007041-00080.
- Sui XL, Shi HC. The influencing factors on the accuracy of SUV measurement and their solutions[J]. Int J Radiat Med Nucl Med, 2021, 45(8): 521-526. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202007041-00080.
- [17] 解小芬,牟甜甜,李珺奇,等.点扩散技术对 FDG PET 图像质量和 SUV 的影响[J].中华核医学与分子影像杂志, 2017, 37(8): 475-477. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.08.006.
- Xie XF, Mou TT, Li JQ, et al. Impact of point spread function on image quality and SUV in FDG PET imaging[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2017, 37(8): 475-477. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.08.006.

(收稿日期:2022-07-14)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

2022 年本刊可直接用缩写的常用词汇

ATP(adenosine-triphosphate),三磷酸腺苷

AUC(area under curve),曲线下面积

CI(confidence interval),可信区间

CT(computed tomography),计算机体层摄影术

CV(coefficient of variation),变异系数

DNA(deoxyribonucleic acid),脱氧核糖核酸

FDG(fluorodeoxyglucose),脱氧葡萄糖

HAV(hepatitis A virus),甲型肝炎病毒

Hb(hemoglobin),血红蛋白

HBsAg(hepatitis B surface antigen),乙型肝炎表面抗原

HBV(hepatitis B virus),乙型肝炎病毒

HCV(hepatitis C virus),丙型肝炎病毒

MRI(magnetic resonance imaging),磁共振成像

PBS(phosphate buffered solution),磷酸盐缓冲液

PCR(polymerase chain reaction),聚合酶链反应

PET(positron emission tomography),正电子发射体层摄影术

PLT(platelet count),血小板计数

RBC(red blood cells),红细胞

RNA(ribonucleic acid),核糖核酸

ROC(receiver operating characteristic),受试者工作特征

ROI(region of interest),感兴趣区

SPECT(single photon emission computed tomography),单光子发射计算机体层摄影术

SUV(standardized uptake value),标准摄取值

SUV_{max}(maximum standardized uptake value),最大标准摄取值SUV_{mean}(mean standardized uptake value),平均标准摄取值

WBC(white blood cells),白细胞

WHO(World Health Organization),世界卫生组织

本刊编辑部