

## · 短篇论著 ·

# 一体化 TOF PET/MR 全身显像中减少<sup>18</sup>F-FDG 剂量的可行性研究

许远帆<sup>1</sup> 梁江涛<sup>1</sup> 王石峰<sup>1</sup> 李峰<sup>1</sup> 郭金霞<sup>2</sup> 张建<sup>1</sup><sup>1</sup>杭州全景医学影像诊断中心 310009; <sup>2</sup>通用电气医疗(中国),上海 201203

通信作者:张建, Email: abiaoxp@163.com

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20190821-00179

## Feasibility of <sup>18</sup>F-FDG dose reductions in whole-body hybrid TOF PET/MR

Xu Yuanfan<sup>1</sup>, Liang Jiangtao<sup>1</sup>, Wang Shifeng<sup>1</sup>, Li Feng<sup>1</sup>, Guo Jinxia<sup>2</sup>, Zhang Jian<sup>1</sup><sup>1</sup>Hangzhou Universal Imaging Diagnostic Center, Hangzhou 310009, China; <sup>2</sup>GE Healthcare, Shanghai 201203, China

Corresponding author: Zhang Jian, Email: abiaoxp@163.com

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20190821-00179

一体化 PET/MR 技术的价值已得到临床的逐步认可。PET/MR 能提供与 PET/CT 同等或更高的诊断价值,其在神经系统、腹盆部实体肿瘤的诊断方面甚至更具优势<sup>[1-2]</sup>。更重要的是,MR 无电离辐射,能为受试者免去 CT 的辐射剂量。国外临床研究报道,PET/MR 显像中可降低显像剂的剂量<sup>[3-7]</sup>,从而进一步降低辐射剂量。本研究以 3.7 MBq/kg 标准剂量<sup>18</sup>F-脱氧葡萄糖(fluorodeoxyglucose, FDG)图像为参考标准,比较模拟减少剂量后半定量分析和病灶检出率结果与标准剂量结果间的差异,以验证在 PET/MR 检查中减少注射剂量的可行性。

### 一、资料与方法

1. 研究对象。2019 年 1 月至 2019 年 6 月间 20 例杭州全景医学影像诊断中心确诊恶性肿瘤患者的 PET/MR 图像被纳入该回顾性研究,男 8 例、女 12 例,年龄( $41.85 \pm 22.42$ )岁(范围:2~83)岁,体质指数( $20.40 \pm 4.20$ )kg/m<sup>2</sup>,注射剂量均为 3.7 MBq/kg,注射到显像间隔时间( $44.60 \pm 2.28$ )min。

2. PET/MR 采集与重建。采用一体化 PET/MR(美国 GE Healthcare, SIGNA)行颅顶至大腿上段扫描。MR 序列包括: $T_1$  加权序列、 $T_2$  加权脂肪抑制序列、弥散加权序列。PET 与 MR 同时采集,6 min/床位,共采集 5 个床位。采用有序子集最大期望值迭代法(ordered-subsets expectation maximization, OSEM)+飞行时间(time of flight, TOF)+点扩展函数(point spread function, PSF)方法,以 6 min/床位原始数据的 100%、75%、50%、25% 重建获得 4 组 PET 图像(25% 即前 1 min 30 s 的分段数据,以此类推)。

3. 数据处理。选取肝右叶无明显阳性病灶并远离肝门和主要血管的区域,设置感兴趣区(region of interest, ROI; 180 mm<sup>3</sup>)作为本底,由 AW PET-VCAR(GE Healthcare)平台获得同一患者不同重建剂量图像的最大标准摄取值(maximum standardized uptake value, SUV<sub>max</sub>)、平均标准摄取值(mean standardized uptake value, SUV<sub>mean</sub>)及信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)。从每例患者的图像上选择 3~5 个相对独立的 PET 阳性病灶,测得病灶最大径与 SUV<sub>max</sub>,以 SUV<sub>max</sub> 的 40% 为阈值,获得病灶 SUV<sub>mean</sub>、代谢体积(metabolic tumor volume, MTV)和病灶糖酵解总量(total lesion glycolysis, TLG)。

4. 视觉评分与结果判断。对同一患者的 4 个不同重建剂量图像采用独立盲法阅片。用三点量表法评估 PET 图像质量<sup>[8]</sup>:好(3 分)、中(2 分)、差(1 分)。分别标出各重建剂量图像的 PET 阳性病灶。

5. 统计学处理。采用 IBM SPSS 19.0 软件进行统计学分析,符合正态分布的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,不符合正态分布的计量资料以  $M(P_{25}, P_{75})$  表示。采用配对 t 检验比较各模拟剂量本底 SNR、SUV<sub>max</sub>、SUV<sub>mean</sub> 与标准剂量的差异;采用符号秩检验比较模拟剂量病灶 SUV<sub>max</sub>、SUV<sub>mean</sub>、MTV、TLG 及视觉评分与标准剂量的差异。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

### 二、结果

不同重建剂量图像对应结果数据见表 1。100%、75%、50%、25% 重建剂量肝脏本底对应的 SUV<sub>max</sub> 依次递增,SNR 依次递减。75%、50%、25% 重建剂量的 SUV<sub>max</sub> 与 100% 重建

表 1 20 例恶性肿瘤患者按不同比例重建图像的半定量分析与视觉评分结果

重建比例	肝脏本底( $\bar{x} \pm s$ )			病灶 [ $M(P_{25}, P_{75})$ ]				视觉评分[分; $M(P_{25}, P_{75})$ ]	
	SUV <sub>max</sub>	SUV <sub>mean</sub>	SNR	SUV <sub>max</sub>	SUV <sub>mean</sub>	MTV(ml)	TLG		
100%	2.78 ± 0.84	1.88 ± 0.66	8.10 ± 1.73	7.75(6.12, 9.91)	4.63(3.80, 6.29)	3.36(1.00, 7.61)	17.69(4.38, 52.91)	3.00(2.68, 3.00)	
75%	3.03 ± 0.89	1.86 ± 0.62	7.01 ± 1.38	7.67(6.08, 9.86)	4.57(3.77, 5.95)	3.00(0.95, 7.81)	17.08(3.91, 52.64)	3.00(2.42, 3.00)	
50%	3.43 ± 0.98	1.87 ± 0.62	5.79 ± 1.40	8.19(6.35, 9.84)	4.56(3.82, 5.75)	2.80(1.16, 7.90)	16.43(3.97, 50.15)	2.68(2.33, 2.68)	
25%	4.13 ± 1.36	1.87 ± 0.62	4.29 ± 1.46	8.77(6.82, 9.92)	4.86(4.14, 5.52)	2.57(1.03, 6.01)	15.71(4.26, 49.11)	2.25(1.68, 2.25)	

注:MTV 为代谢体积,SNR 为信噪比,SUV<sub>max</sub> 为最大标准摄取值,SUV<sub>mean</sub> 为平均标准摄取值,TLG 为病灶糖酵解总量;重建比例为按采集时间 6 min 的百分比进行分段重建,25% 即为前 1 min 30 s 的分段数据,以此类推

剂量结果相比差异均有统计学意义( $t$  值: 3.466、4.974、6.964, 均  $P < 0.05$ ), 其 SNR 与 100% 重建剂量结果差异亦有统计学意义( $t$  值: 5.040、9.638、11.166, 均  $P < 0.01$ ); 而  $SUV_{mean}$  与 100% 重建剂量结果相比差异均无统计学意义( $t$  值: 0.567、0.442、0.269, 均  $P > 0.05$ )。

20 例患者共检出 283 个 PET 阳性病灶, 选取其中 76 个行半定量分析, 病灶最大径为  $(22.88 \pm 15.08)$  (范围: 5~47) mm。75% 和 50% 重建剂量对应的病灶  $SUV_{max}$  ( $z$  值: -0.673、-0.797, 均  $P > 0.05$ )、 $SUV_{mean}$  ( $z$  值: -1.924、-1.127, 均  $P > 0.05$ )、MTV ( $z$  值: -0.43、-1.080, 均  $P > 0.05$ )、TLG ( $z$  值: -0.615、-1.958, 均  $P > 0.05$ ) 与 100% 重建剂量结果相比差异均无统计学意义。25% 重建剂量对应的病灶  $SUV_{mean}$  与 100% 重建剂量结果差异无统计学意义( $z = -0.843, P > 0.05$ ), 而  $SUV_{max}$ 、MTV 和 TLG 较 100% 重建剂量的差异有统计学意义( $z$  值: -2.141、-2.107、-2.550, 均  $P < 0.05$ )。

在视觉评分中, 100% 重建剂量结果高于 50% 与 25% 对应结果( $z$  值: -2.384、-3.746, 均  $P < 0.05$ ), 而与 75% 对应结果的差异无统计学意义( $z = -0.703, P > 0.05$ )。

75% 与 50% 重建剂量检出了全部 283 个 PET 阳性病变, 25% 重建剂量漏检 12 个病灶 [最大径  $(7.33 \pm 1.61)$  mm], 并多检出 8 个假阳性病灶。患者典型图像见图 1。

### 三、讨论

目前, PET/MR 显像剂普遍采用 PET/CT 的 3.70 MBq/kg 剂量标准。随着 PET 探测器的发展, 其系统灵敏度已有很大

提高<sup>[9]</sup>。PET/MR 采集时间较长, 图像 SNR 和对比度更好<sup>[10]</sup>。因此, 在 PET/MR 中减少显像剂用量在理论上是可行的。

有研究者采用总数据的不同百分比重建 PET 图像, 以此来模拟注射剂量的减少, 研究以儿童或单部位显像为主。Gatidis 等<sup>[3]</sup>对 24 例儿童肿瘤的 PET/MR 显像研究显示, 当剂量减少至 1.5 MBq/kg 时,  $SUV_{mean}$  与  $SUV_{max}$  相对于 3.0 MBq/kg 时的偏差在 5% 以内。Zucchetta 等<sup>[4]</sup>对 21 例儿童肿瘤的 PET/MR 显像研究显示, 剂量减低至 1.5 MBq/kg 时, 半定量结果与 3 MBq/kg 对应结果的差异无统计学意义。本研究的对象包含了儿童与成人, 更具临床普遍性。当剂量减低至 50% 标准剂量时, 虽然 SNR 有所减低, 但半定量结果及病灶检出率与标准剂量对应结果的差异并无统计学意义, 与上述研究结果一致, 因此可认为 50% 的剂量减低是一个可接受的水平。

在病灶检出率方面, Zucchetta 等<sup>[4]</sup>的研究显示, 剂量减低至 1.2 MBq/kg 时, 病灶检出率与 3 MBq/kg 时差异无统计学意义; 当减少至 0.6 MBq/kg 时, 有 8.9% (5/56) 的病灶漏检。本研究中, 采用 25% 标准剂量时, 出现 4.2% (12/283) 的漏检病灶与 8 个假阳性病灶。分析原因可能为:(1) 图像噪声增大, 小病灶的摄取易被掩盖, 即使 MR 发现了病灶, 也可能会被阅片者误判为 PET 阴性病灶;(2) 全身大视野的 MR 扫描在一些特定部位(如肺、肠道等)的分辨率相对较低, 当 PET 图像噪声增加时, MR 很难鉴别高代谢灶是噪声还是病灶。

在单部位显像中, 由于局部显像往往增加 MR 序列以获得更多的诊断信息, PET 采集时间更长。Sah 等<sup>[5]</sup>对 26 例患者乳腺 20 min PET/MR 显像的研究表明, 注射剂量可减低至 0.3 MBq/kg。Soret 等<sup>[6]</sup>的研究显示, 对于颅脑 20 min 的显像, 注射剂量可降低至 1 MBq/kg。根据文献报道的美国电气制造商协会(National Electrical Manufacturers Association, NEMA) 测试结果, 注射剂量、采集时间与设备所采集的有效计数在一定范围内呈线性正相关<sup>[9]</sup>, 因此通过延长采集时间使剂量进一步降低是可行的。本研究中, 全身显像 6 min/床位, 为临床 PET/MR 显像的常规时长, 当重建剂量为标准剂量的 25% 时, 半定量分析和病灶检出率出现偏差, 如采用此剂量进行显像, 应延长采集时间以保证结果的准确性。从另一方面理解, 对于依从性较差的受试者, 按标准剂量注射, 则可缩短 50% 的采集时间。

综上, 在一体化 TOF PET/MR 全身显像中, 将显像剂剂量减少至 1.85 MBq/kg, 病灶检出率和半定量结果不会受到影响, 图

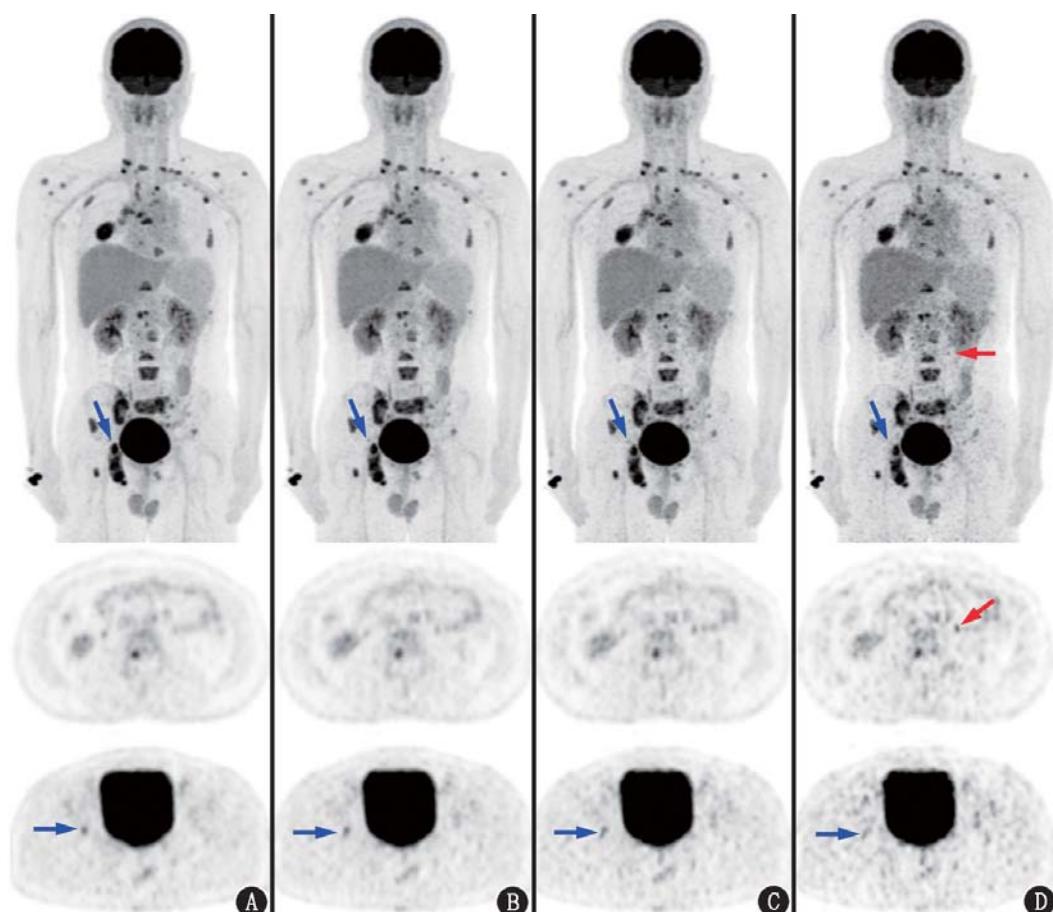


图 1 右肺癌伴淋巴结及骨骼广泛转移患者(男, 32岁) PET/MR 重建图像。可见信噪比(SNR)在 100% (A)、75% (B)、50% (C)、25% (D) 重建剂量对应的图像中依次递减。100% 重建剂量对应图像所示病灶在 75% 和 50% 图像上均能明确显示, 而 25% 重建剂量对应图像中漏检右侧髋臼病灶(蓝箭头示), 并出现假阳性病灶(红箭头示)

像质量和诊断性能可满足临床诊断需求。但不建议采用过小的剂量进行显像,必要时需延长扫描时间,以保证半定量分析和病灶检出的准确性。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参 考 文 献

- [1] 徐白萱,富丽萍,关志伟,等. PET/MR 与 PET/CT 的对比研究 [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2014, 34(6): 423-427. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2014.06.002.
- Xu BX, Fu LP, Guan ZW, et al. Comparison between PET/MR and PET/CT in evaluation of oncological patients [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2014, 34(6): 423-427. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2014.06.002.
- [2] Catalano OA, Rosen BR, Sahani DV, et al. Clinical impact of PET/MR imaging in patients with cancer undergoing same-day PET/CT: initial experience in 134 patients—a hypothesis-generating exploratory study [J]. Radiology, 2013, 269(3): 857-869. DOI: 10.1148/radiol.13131306.
- [3] Gatidis S, Schmidt H, la Fougère C, et al. Defining optimal tracer activities in pediatric oncologic whole-body <sup>18</sup>F-FDG-PET/MRI [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2016, 43(13): 2283-2289. DOI: 10.1007/s00259-016-3503-5.
- [4] Zucchetta P, Branchini M, Zorz A, et al. Quantitative analysis of image metrics for reduced and standard dose pediatric <sup>18</sup>F-FDG PET/MRI examinations [J]. Br J Radiol, 2019, 92(1095): 20180438. DOI: 10.1259/bjr.20180438.
- [5] Sah BR, Ghafoor S, Burger IA, et al. Feasibility of <sup>18</sup>F-FDG dose reductions in breast cancer PET/MRI [J]. J Nucl Med, 2018, 59(12): 1817-1822. DOI: 10.2967/jnumed.118.209007.
- [6] Soret M, Piekarzki E, Yeni N, et al. Dose reduction in brain [<sup>18</sup>F]-FDG PET/MRI: give it half a chance [J]. Mol Imaging Biol, 2020, 22(3): 695-702. DOI: 10.1007/s11307-019-01398-3.
- [7] Sekine T, Delso G, Zeimpekis KG, et al. Reduction of <sup>18</sup>F-FDG dose in clinical PET/MR imaging by using silicon photomultiplier detectors [J]. Radiology, 2018, 286(1): 249-259. DOI: 10.1148/radiol.2017162305.
- [8] Halpern BS, Dahlbom M, Auerbach MA, et al. Optimizing imaging protocols for overweight and obese patients: a lutetium orthosilicate PET/CT study [J]. J Nucl Med, 2005, 46(4): 603-607.
- [9] Queiroz MA, Delso G, Wollenweber S, et al. Dose optimization in TOF-PET/MR compared to TOF-PET/CT [J]. PLoS One, 2015, 10(7): e0128842. DOI: 10.1371/journal.pone.0128842.
- [10] 陈香,赵军,管一晖,等. PET/CT 图像采集时间对图像质量和病灶检出率的影响 [J]. 中华核医学杂志, 2007, 27(1): 43-45. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2007.01.015.
- Chen X, Zhao J, Guan YH, et al. The influence of acquisition time on PET/CT imaging quality and lesion detectability [J]. Chin J Nucl Med, 2007, 27(1): 43-45. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2007.01.015.

(收稿日期:2019-11-04)

## · 读 者 · 作 者 · 编 者 ·

### 关于论著文稿中、英文摘要的书写要求

根据 GB6447-86 的定义,文摘是以提供文献内容梗概为目的,不加评价和解释,简明确切地记述文献重要内容的短文。摘要应具有自明性和独立性,并拥有与一次文献同等量的主要信息。即不阅读全文就能获得必要的信息。它的详简程度取决于文献的内容,通常中文文摘以不超过 400 字为宜。应以第三人称的语气书写。不要使用“本人”、“作者”、“我们”等作为陈述的主语。

摘要的内容应包括四个要素,即目的、方法、结果、结论。(1)目的:指研究的前提和缘起,即为什么要作此项研究,可以有简单的背景材料。(2)方法:指研究所用的原理、对象、观察和实验的具体方法等。(3)结果:指研究的结果、效果、数据等,着重反映创新性的、切实可行的成果,包括本组研究中的重要数据。(4)结论:指对结果进行综合分析,逻辑推理得出的判断。有的可指出实用价值和推广价值;如有特殊例外的发现或难以解决的问题,可以提出留待今后深入探讨。英文摘要的内容与中文摘要的内容要求大体一致。

英文摘要要求做到语法正确,用词准确,与中文摘要对应,方法、结果可略详于中文摘要。必要时,作者在投稿前请英文书写水平高的人员帮助修改。英文文题后列出全部作者及其单位、科室(包括城市、邮编)的英文规范表达。要求使用 A4 纸打印,行间距为 2 行,纸边距两边各留 2~3 cm。

敬请广大读者、作者周知,并遵照此要求投稿。

本刊编辑部