

# <sup>18</sup>F-FDG PET/MR 对 MRI 阴性药物难治性癫痫患者致痫灶的定位价值

郭坤<sup>1</sup> 尚琨<sup>1</sup> 崔碧霄<sup>1</sup> 侯亚琴<sup>1</sup> 杨宏伟<sup>1</sup> 樊晓彤<sup>2</sup> 帅冬梅<sup>1</sup> 卢洁<sup>3</sup>

<sup>1</sup>首都医科大学宣武医院核医学科, 北京 100053; <sup>2</sup>首都医科大学宣武医院神经外科, 北京 100053; <sup>3</sup>首都医科大学宣武医院放射科, 北京 100053

通信作者: 卢洁, Email: imaginglu@hotmail.com

**【摘要】目的** 探讨<sup>18</sup>F-脱氧葡萄糖(FDG)PET/MR对常规MRI阴性的药物难治性癫痫患者术前致痫灶的定位价值。**方法** 回顾性分析2016年8月至2018年12月间在首都医科大学宣武医院接受手术治疗的57例[男36例、女21例, 年龄(24.0±10.3)岁]常规MRI阴性的药物难治性癫痫患者资料。所有患者术前均行发作间期<sup>18</sup>F-FDG PET/MR扫描, 采用视觉及半定量方法综合定位致痫灶。术后1年随访, 根据Engel分级评价手术疗效, 以手术切除病变及术后随访结果为定位诊断的“金标准”, 计算<sup>18</sup>F-FDG PET/MR定位致痫灶的灵敏度、特异性和准确性。**结果** 89.5%(51/57)的患者<sup>18</sup>F-FDG PET/MR表现为1处或多处葡萄糖代谢减低, 10.5%(6/57)的患者未见异常葡萄糖代谢改变。18例(31.6%, 18/57)常规MRI阴性的药物难治性癫痫患者<sup>18</sup>F-FDG PET/MR图像上检出微小结构异常。46例患者获得术后1年随访, 癫痫症状改善者(Engel I~III级)占84.8%(39/46)。<sup>18</sup>F-FDG PET/MR定位致痫灶的灵敏度、特异性、准确性分别为90.0%(27/30)、3/16、65.2%(30/46)。**结论** 对于常规MRI阴性药物难治性癫痫患者,<sup>18</sup>F-FDG PET/MR有助于致痫灶术前定位, 为手术治疗提供可靠信息。

**【关键词】** 癫痫; 正电子发射断层显像术; 体层摄影术, X线计算机; 磁共振成像; 脱氧葡萄糖

**基金项目:** 北京市医院管理局“登峰”计划专项(DFL20180802)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20200302-00083

## Preoperative localization of <sup>18</sup>F-FDG PET/MR in refractory epilepsy patients with negative MRI

Guo Kun<sup>1</sup>, Shang Kun<sup>1</sup>, Cui Bixiao<sup>1</sup>, Hou Yaqin<sup>1</sup>, Yang Hongwei<sup>1</sup>, Fan Xiaotong<sup>2</sup>, Shuai Dongmei<sup>1</sup>, Lu Jie<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Nuclear Medicine, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China;

<sup>2</sup>Department of Neurosurgery, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China;

<sup>3</sup>Department of Radiology, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China

Corresponding author: Lu Jie, Email: imaginglu@hotmail.com

**【Abstract】Objective** To explore the accuracy of <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose (FDG) PET/MR in preoperative localization of refractory epilepsy patients with conventional MRI negative. **Methods** From August 2016 to December 2018, 57 refractory epilepsy patients (36 males, 21 females, age (24.0±10.3) years) with conventional MRI negative who underwent surgery in Xuanwu Hospital were retrospectively enrolled. All patients received interictal <sup>18</sup>F-FDG PET/MR before surgery and the epileptogenic foci were determined by using visual and semi-quantitative methods. Patients were followed up for 1 year and the surgical outcome was evaluated according to Engel classification. The sensitivity, specificity and accuracy of <sup>18</sup>F-FDG PET/MR in locating epileptogenic foci were calculated according to surgical resection and followed-up results as the "gold standard". **Results** Of 57 patients, 51 (89.5%, 51/57) showed single or multiple hypo-metabolism focus on <sup>18</sup>F-FDG PET/MR, and 6 (10.5%, 6/57) showed no abnormal metabolism changes. The microstructure abnormality was found in 18 patients (31.6%, 18/57) on <sup>18</sup>F-FDG PET/MR images. Follow-up results were obtained from 46 patients, and 84.8% (39/46) with seizure improvement (Engel I-III). The sensitivity, specificity and accuracy of <sup>18</sup>F-FDG PET/MR in preoperative localization of epileptic foci was 90.0% (27/30), 3/16 and 65.2% (30/46), respectively. **Conclusion** <sup>18</sup>F-FDG PET/MR is helpful for the detection of epileptic foci in patients with MRI-negative refractory epilepsy, and can provide reliable information for further surgical treatment.

**【Key words】** Epilepsy; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Magnetic resonance imaging; Deoxyglucose

**Fund program:** Project of Beijing Municipal Administration of Hospitals' Ascent Plan (DFL20180802)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20200302-00083

癫痫是一种常见的慢性脑部疾病,以脑神经元过度放电引起反复性、发作性、短暂性的中枢神经系统功能失常为特征。对于药物难治性癫痫患者,手术治疗可以达到控制癫痫发作、缓解痫性精神症状的目的<sup>[1]</sup>。MRI 检查可发现脑部结构异常,有助于术前定位。对于 MRI 扫描阴性的药物难治性癫痫患者,<sup>18</sup>F-脱氧葡萄糖 (fluorodeoxyglucose, FDG) PET 具有较高的灵敏度,广泛应用于术前评估<sup>[2-5]</sup>。目前临床上也采用<sup>18</sup>F-FDG PET 和 MRI 融合技术,能够增加对致痫灶的检出能力,但配准过程复杂,容易出现错误<sup>[6-8]</sup>。一体化 PET/MR 扫描可以在相同的病理生理条件下同时获得结构和功能影像,并能进行图像的自动配准。本研究拟探讨<sup>18</sup>F-FDG PET/MR 对常规 MRI 阴性的药物难治性癫痫患者术前定位致痫灶的价值。

## 资料与方法

1. 研究对象。回顾性收集 2016 年 8 月至 2018 年 12 月间在首都医科大学宣武医院接受手术治疗的药物难治性癫痫患者临床资料和 PET/MR 影像学信息。纳入标准:(1)临床确诊为药物难治性癫痫,即接受了合理选择、规则使用至少 2 种抗癫痫药物,仍不能达到癫痫发作控制的患者;(2)MRI 扫描未见明确病变;(3)术前接受了<sup>18</sup>F-FDG PET/MR 扫描。排除标准:(1)未接受手术治疗,选择其他治疗方法;(2)常规 MRI 扫描发现明确结构异常。共纳入 57 例患者,其中男 36 例、女 21 例,年龄(24.0±10.3)岁。所有患者签署知情同意书。本研究符合《赫尔辛基宣言》的原则。

2. 影像学检查。<sup>18</sup>F-FDG 由本科室自行制备,纯化纯>98%。<sup>18</sup>F-FDG PET/MR 图像均在发作间期采集。患者按标准流程准备:空腹 4~6 h,血糖控制在 11.1 mmol/L 以下,按体质量注射 3.7~7.4 MBq/kg <sup>18</sup>F-FDG。注射药物后避免剧烈活动,安静状态下休息 40~60 min 开始 PET/MR 扫描。PET/MR 图像采集在一体化 Signa PET/MR 仪(美国 GE 公司)完成。Dixon 图像采集用于 PET 图像衰减校正,有序子集最大期望值迭代法用于 PET 图像重建,其具体参数为:8 次迭代,32 个子集,高斯滤波器的最大宽度为 3.0 mm。同时采集 MRI 解剖结构影像,T<sub>2</sub> 加权像:重复时间(repetition time, TR) 9 600 ms,回波时间(echo time, TE) 149 ms,矩阵 256×256,层厚 3.0 mm,层间距 1.0 mm;T<sub>2</sub> 液体衰减反转恢复(fluid attenuated inversion recovery, FLAIR):TR 6 000 ms,TE

149 ms,矩阵 256×256,层厚 3.0 mm,层间距 1.0 mm;三维 T<sub>1</sub> 加权像:TR 8.2 ms, TE 3.2 ms,矩阵 288×256,层厚 3.0 mm,层间距 1.0 mm。MRI 图像与 PET 图像进行任意层面融合。

3. 图像分析。由 2 名有经验的核医学医师共同阅片,综合观察 3 个层面的 PET/MR 图像。同一断面图像中连续 2 个或 2 个以上层面观察到较为明确的放射性核素减低区(相对于对侧或邻近区域),且在另外 2 个断层图像上得到印证。有分歧者采用 PET 图像半定量分析法,以患者健侧放射性摄取为标准,双侧大脑半球相应部位放射性比值<10%判断为正常,≥10%判断为异常<sup>[9]</sup>。

4. 手术及术后随访。所有患者常规 MRI 阴性,PET/MR 扫描所示低代谢区域均由神经外科医师和影像医师进行全面评估,包括临床特征、脑电图等,综合制定手术方案及切除范围。术后 1 年随访,根据 Engel 分级评价手术疗效:I 级为发作完全消失或仅有先兆发作;II 级为发作极少(≤3 次/年);III 级为发作>3 次/年,但发作减少≥90%;IV 级为发作减少<90%<sup>[10]</sup>。

5. 结果判读。Engel I~III 级为癫痫术后改善,Engel IV 级为术后无改善。在癫痫改善组中影像学定位与手术切除病变一致,定义为真阳性;在癫痫术后无改善组中影像学定位与手术切除病变不一致,定义为真阴性;假阳性为癫痫术后无改善组中影像学定位与手术切除病变一致,假阴性为癫痫改善组中影像学定位与手术结果不一致。

6. 统计学处理。采用 IBM SPSS 20.0 软件分析数据,符合正态分布的定量资料用  $\bar{x} \pm s$  表示,定性资料用频数(百分比)表示。以手术切除病变及术后随访结果综合为定位诊断的“金标准”,计算<sup>18</sup>F-FDG PET/MR 术前定位致痫灶的灵敏度、特异性和准确性。

## 结 果

1. 一般资料与随访结果。57 例癫痫患者的发病年龄(11.6±8.5)岁,病程(12.11±8.90)年。发作频率:每天发作者占 42.1%(24/57),每周发作者占 35.1%(20/57),每月发作者占 17.5%(10/57),每年发作者占 5.3%(3/57)。癫痫家族史、高热惊厥史、病毒性脑炎史均占 1.8%(1/57)。既往用药大于 2 种者占 52.6%(30/57)。46 例患者电话随访,癫痫症状改善者(Engel I~III 级)占 84.8%(39/46),其中 Engel I 级 28 例(60.9%)、Engel II 级 2 例(4.3%)、

Engel Ⅲ级 9 例(19.6%);无改善者(即 Engel Ⅳ级) 7 例(15.2%)。11 例患者未获得随访。

2. <sup>18</sup>F-FDG PET/MR 代谢异常(图 1)。51 例(89.5%,51/57)癫痫患者发作间期 PET 显像表现为葡萄糖代谢减低,单部位代谢减低 38 例(74.5%, 38/51),其中左侧 18 例(47.4%, 18/38)、右侧 20 例(52.6%, 20/38);多部位代谢减低 13 例(25.5%, 13/51),其中左侧 7 例(7/13)、右侧 3 例(3/13)、双侧 3 例(3/13)。6 例(10.5%, 6/57)PET 显像未见异常葡萄糖代谢改变。

3. <sup>18</sup>F-FDG PET/MR 结构异常(图 2)。57 例常规 MRI 扫描阴性的药物难治性癫痫患者,结合 PET/MR 图像,二次阅读 MRI 图像发现 18 例(31.6%)患者有微小结构异常,与 PET 所示低代谢区一致。18 例患者致痫灶的部位分别为:颞叶+海马 6 例,额叶 3 例,颞叶 2 例,顶叶 2 例,枕叶 2 例,多脑区 3 例;手术病理示局灶性脑皮质发育不良(focal cortical dysplasia, FCD) I 型 5 例,FCD II 型 2 例,海马硬化 5 例,瘢痕脑回 3 例,胶质细胞增生 3 例。随访 14 例患者,其中 Engel I 级 10 例,Engel II 级 4 例;4 例未获得随访。

4. <sup>18</sup>F-FDG PET/MR 定位致痫灶的准确性。46 例患者一体化 PET/MR 定位致痫灶的真阳性、真阴性、假阳性、假阴性病例数分别为 27、3、13、3;灵敏度、特异性、准确性分别为 90.0%(27/30)、3/16、65.2%

(30/46)。

### 讨 论

MRI 解剖结构影像在药物难治性癫痫术前评估中发挥着重要作用,但是如何准确定位 MRI 阴性癫痫患者的致痫灶是临床术前评估的重大挑战。本研究重点探讨了一体化<sup>18</sup>F-FDG PET/MR 在常规 MRI 阴性药物难治性癫痫患者术前定位致痫灶的价值,结果显示其有助于对致痫灶的检出,为临床手术提供有价值的信息。

PET 显像是目前临床上常用的脑功能显像方法,直接反映脑皮质的葡萄糖代谢水平,发作间期由于致痫灶神经元丢失,皮质萎缩、突触密度减低、胶质细胞增生等可能的病理基础,导致<sup>18</sup>F-FDG 摄取减低,图像上表现为低代谢。<sup>18</sup>F-FDG PET 在癫痫发作间期显示的局灶性低代谢灶在术前评估的定侧、定位价值已经获得认可,且<sup>18</sup>F-FDG PET 的不同代谢模式与颞叶癫痫患者手术预后相关,预后良好者(Engel I 级)FDG PET 显像表现为局灶性颞叶葡萄糖代谢减低,而预后较差者(Engel II ~ Ⅳ级)FDG PET 存在颞叶外低代谢表现<sup>[11-13]</sup>。<sup>18</sup>F-FDG PET 在致痫灶的定位较 MRI 灵敏度高,PET 能够发现 MRI 阴性患者的病灶,或者 MRI 检查显示多发病变或 MRI 所示病变与视频脑电图结果不相符时,PET 有助

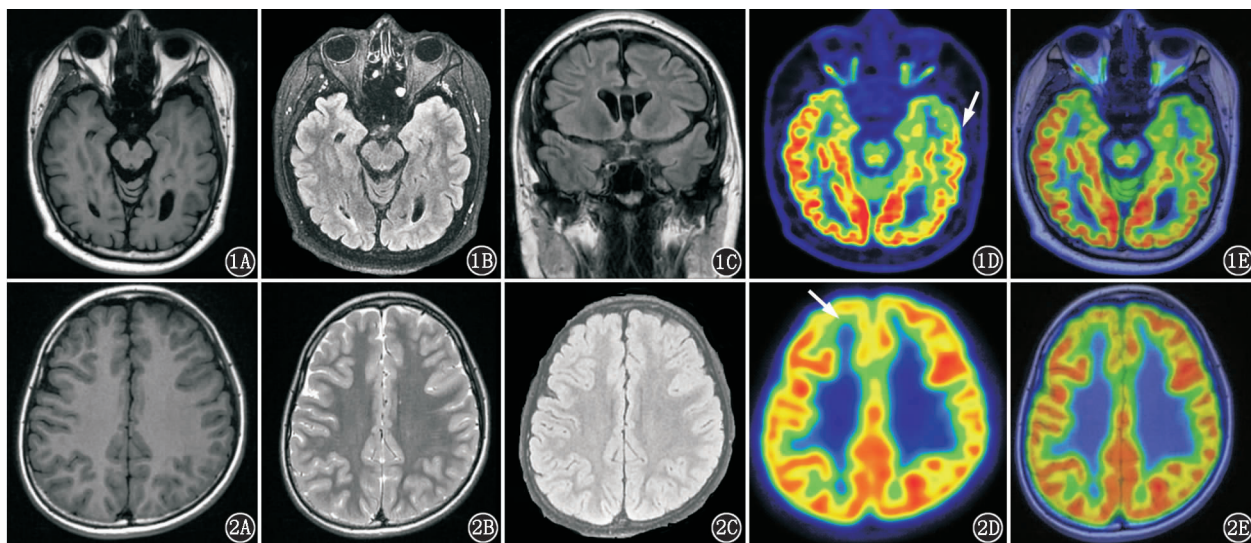


图 1 MRI 阴性药物难治性癫痫患者(男,17 岁,反复癫痫发作伴意识丧失 16 年余)<sup>18</sup>F-脱氧葡萄糖(FDG)PET/MR 显像图。横断面 T<sub>1</sub> 加权成像(WI;1A)、横断面 T<sub>2</sub>WI 液体衰减反转恢复(FLAIR;1B)、冠状面 T<sub>1</sub>WI FLAIR(1C)未见明显异常;横轴位<sup>18</sup>F-FDG PET(1D)及 PET/MR 融合图像(1E)显示左侧颞叶葡萄糖代谢较对侧减低(箭头示)。术后病理提示左侧颞叶局灶性脑皮质发育不良(FCD) I 型,随访无癫痫发作,Engel I 级 图 2 MRI 阴性药物难治性癫痫患儿(男,6 岁,癫痫发作 4 年余)<sup>18</sup>F-FDG PET/MR 显像图。横断面 T<sub>1</sub>WI (2A)、T<sub>2</sub>WI (2B)、T<sub>2</sub>WI FLAIR(2C)未见明显异常;<sup>18</sup>F-FDG PET (2D)示右侧额上回葡萄糖代谢局灶性减低(箭头示),PET/MR 融合显像(2E)示脑回变窄,葡萄糖代谢减低。术后病理提示 FCD I 型,随访无癫痫发作,Engel I 级

于鉴别可能的致痫灶。吴湖炳等<sup>[14]</sup>分析了 110 例拟行手术治疗的癫痫患者, PET 显像阳性检出率为 88.2%, 明显高于脑电图和 MRI (分别为 67.3%、43.5%)。Rathore 等<sup>[15]</sup>入组了 194 例癫痫患者, 其中 158 例 MRI 阴性, 12 例 MRI 显示微小结构异常, 24 例与视频脑电图结果不相符, 98 例 (50.5%, 98/194) 患者的<sup>18</sup>F-FDG PET 表现为单部位葡萄糖代谢减低, 24 例 (12.4%, 24/194) 表现为双侧葡萄糖代谢减低<sup>[14]</sup>。本研究中 89.5% (51/57) 患者 PET 表现为 1 处或多处葡萄糖代谢减低。

目前,<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 显像主要运用 CT 进行解剖结构定位, CT 软组织分辨率低限制了 PET/CT 检查在癫痫患者术前评估的价值。<sup>18</sup>F-FDG PET 和 MR 融合技术有助于难治性癫痫的术前评估。Rubí 等<sup>[16]</sup>研究了 37 例 MRI 阴性的 FCD 儿童患者, PET/MR 融合技术阳性预测值高达 86%, 对于影像结果与脑电图不相符的 13 例患者, PET/MR 融合技术可以为患者提供帮助, 确定致痫灶部位。Salamon 等<sup>[17]</sup>研究显示 FCD I 型患者 PET/MR 融合显像技术与脑电图的一致率为 52%, 而在 FCD II 型患者中高达 89%, 融合显像技术有助于 FCD 术前定位。由于融合技术中 PET 图像和 MRI 图像的采集机器和采集时间不同, 后期进行融合过程有可能出现误差; 而一体化 PET/MR 能够一站式完成多种脑显像, 同步采集、图像自动配准技术能够避免配准偏差<sup>[18]</sup>。Garibotto 等<sup>[19]</sup>报道了一体化 PET/MR 在神经系统疾病的临床应用价值, 其中包括 6 例癫痫患者, 结果显示一体化 PET/MR 可通过 1 次扫描同时获得 PET 和 MRI 信息, 最大程度地减少了患者的不适, 且最大化利用并优化影像学信息。Oldan 等<sup>[20]</sup>评估了一体化 PET/MR 对难治性局灶性癫痫的术前定位价值, 研究纳入了 74 例难治性癫痫患者, 42 例结构异常, 48 例表现为葡萄糖代谢异常, 一体化 PET/MR 额外检出了 10 例结构或代谢异常的病灶; 比较一体化 PET/MR 与 3T MRI、<sup>18</sup>F-FDG PET 在癫痫术前定位的准确性, 结果显示一体化 PET/MR 在检出潜在致痫灶具有较高灵敏度 (78% ~ 82%), 高于单独 MRI (71% ~ 77%) 和 PET 显像 (68% ~ 71%); PET/MR 定位致痫灶的特异性为 0 ~ 50%。此次研究纳入 57 例 MRI 阴性的癫痫手术治疗患者, 随访 1 年, 以手术病理和随访结果综合为定位“金标准”, 一体化 PET/MR 定位致痫灶的灵敏度为 90.0% (27/30), 特异性为 3/16、准确性为 65.2% (30/46)。本研究一体化 PET/MR 定位灵敏度略高于 Oldan

等<sup>[20]</sup>的报道, 可能纳入患者有差异。Ding 等<sup>[3]</sup>纳入了 67 例常规 MRI 阴性的颞叶外癫痫, 探讨了<sup>18</sup>F-FDG PET 和 MRI 融合技术对致痫灶的检出价值, 结果显示 46.3% 患者常规 MRI 阴性,<sup>18</sup>F-FDG PET 联合高分辨 MRI 再次阅读时发现微小病灶。本研究 57 例患者, 结合一体化 PET/MR 图像, 二次阅读 MRI 图像时 18 例发现微小结构异常, 检出率为 31.6% (18/57)。由于<sup>18</sup>F-FDG PET 较 MRI 灵敏度高, 因此一体化 PET/MR 可以增加对 MRI 阴性的癫痫病灶的识别, 为手术治疗提供机会。尽管一体化 PET/MR 将病变结构信息和代谢功能信息结合, 在癫痫术前定位中, 仍然存在假阳性、假阴性病例。假阳性病例存在的原因可能与 PET 显像较高的灵敏度, 脑皮质本底代谢较高, 以及视觉分析主观性强等有关; 在临床工作中更加关注的为假阴性病例, 其导致外科切除一部分脑组织的可能性更小, 癫痫术前评估不仅仅包括 PET 或 MRI, 还包括症状学、脑电图等, 因此, 高灵敏度的 PET/MR 发现更多的病灶, 有助于术前综合评估。

本研究尚存在不足之处。该研究为回顾性研究, 影响手术疗效的混杂因素较多, 未能较好地评估 PET/MR 术前定位准确性与手术疗效的关系; 其次, 本研究中术后癫痫未改善的病例数较少, 综合的术前评估还包括症状学、脑电图等, 因此评估 PET/MR 术前定位的特异性有限。总之, 对于常规 MRI 阴性的药物难治性癫痫患者, 一体化<sup>18</sup>F-FDG PET/MR 具有较高的灵敏度, 有助于发现更多的潜在病灶, 对患者手术前无创评估有重要价值。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参 考 文 献

- [1] Thijs RD, Surges R, O'Brien TJ, et al. Epilepsy in adults[J]. Lancet, 2019, 393(10172): 689-701. DOI:10.1016/S0140-6736(18)32596-0.
- [2] Shaikh Z, Torres A, Takeoka M. Neuroimaging in pediatric epilepsy[J]. Brain Sci, 2019, 9(8): 190. DOI: 10.3390/brainsci9080190.
- [3] Ding Y, Zhu Y, Jiang B, et al. <sup>18</sup>F-FDG PET and high-resolution MRI co-registration for pre-surgical evaluation of patients with conventional MRI-negative refractory extra-temporal lobe epilepsy[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2018, 45(9): 1567-1572. DOI:10.1007/s00259-018-4017-0.
- [4] Jayalakshmi S, Nanda SK, Vooturi S, et al. Focal cortical dysplasia and refractory epilepsy: role of multimodality imaging and outcome of surgery[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2019, 40(5): 892-898. DOI:10.3174/ajnr.A6041.
- [5] Kumar A, Chugani HT. The role of radionuclide imaging in epilepsy, part 1: sporadic temporal and extratemporal lobe epilepsy[J]. J Nucl

- Med Technol, 2017, 45(1): 14-21. DOI: 10.2967/jnumed.112.114397.
- [6] Chassoux F, Rodrigo S, Semah F, et al. FDG-PET improves surgical outcome in negative MRI Taylor-type focal cortical dysplasias [J]. Neurology, 2010, 75(24): 2168-2175. DOI:10.1212/WNL.0b013e31820203a9.
- [7] Desarnaud S, Mellerio C, Semah F, et al. <sup>18</sup>F-FDG PET in drug-resistant epilepsy due to focal cortical dysplasia type 2: additional value of electroclinical data and coregistration with MRI [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2018, 45(8): 1449-1460. DOI:10.1007/s00259-018-3994-3.
- [8] 桑林, 张凯, 张建国, 等. PET-MRI 影像融合技术在药物难治性癫痫病术前评估中的价值 [J]. 中华神经外科杂志, 2017, 33(6): 559-563. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2017.06.005.
- Sang L, Zhang K, Zhang JG, et al. Role of PET-MRI coregistration in presurgical evaluation of refractory epilepsy [J]. Chin J Neurosurg, 2017, 33(6): 559-563. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2017.06.005.
- [9] 候亚琴, 卢洁, 苏玉盛, 等. PET/CT 在致痫性 I 型局灶性脑皮层发育不良术前定位的价值 [J]. 医学影像学杂志, 2017, 27(4): 581-585.
- Hou YQ, Lu J, Su YS, et al. The value of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in localization epileptogenic zone in presurgical evaluation of type I focal cortical dysplasia [J]. J Med Imaging, 2017, 27(4): 581-585.
- [10] 刘明, 季涛云, 叶锦棠, 等. 正电子发射计算机断层成像/磁共振成像融合技术在提高儿童结构相关难治性癫痫致痫灶检出率的应用 [J]. 中华实用儿科临床杂志, 2018, 33(23): 1815-1819. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-428X.2018.23.015.
- Liu M, Ji TY, Ye JT, et al. Application of positron emission computed tomography/magnetic resonance imaging coregistration in improving epileptic foci detection rate of structural intractable epilepsy in children [J]. Chin J Appl Clin Pediatr, 2018, 33(23): 1815-1819. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-428X.2018.23.015.
- [11] Tomás J, Pittau F, Hammers A, et al. The predictive value of hypometabolism in focal epilepsy: a prospective study in surgical candidates [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2019, 46(9): 1806-1816. DOI:10.1007/s00259-019-04356-x.
- [12] Wong CH, Bleasel A, Wen L, et al. Relationship between preoperative hypometabolism and surgical outcome in neocortical epilepsy surgery [J]. Epilepsia, 2012, 53(8): 1333-1340. DOI:10.1111/j.1528-1167.2012.03547.x.
- [13] Guedj E, Bonini F, Gavaret M, et al. <sup>18</sup>F-FDG-PET in different subtypes of temporal lobe epilepsy: SEEG validation and predictive value [J]. Epilepsia, 2015, 56(3): 414-421. DOI:10.1111/epi.12917.
- [14] 吴湖炳, 王全师, 王明芳, 等. <sup>18</sup>F-FDG PET 显像对致痫灶的定位及在外科治疗中的价值 [J]. 中华核医学杂志, 2006, 26(2): 69-72. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2006.02.001.
- Wu HB, Wang QS, Wang MF, et al. The localization of epileptic foci in <sup>18</sup>F-FDG PET imaging and its use in surgical therapy [J]. Chin J Nucl Med, 2006, 26(2): 69-72. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2006.02.001.
- [15] Rathore C, Dickson JC, Teotônio R, et al. The utility of <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose PET (FDG PET) in epilepsy surgery [J]. Epilepsy Res, 2014, 108(8): 1306-1314. DOI:10.1016/j.epilepsyres.2014.06.012.
- [16] Rubí S, Setoain X, Donaire A, et al. Validation of FDG-PET/MRI coregistration in nonlesional refractory childhood epilepsy [J]. Epilepsia, 2011, 52(12): 2216-2224. DOI:10.1111/j.1528-1167.2011.03295.x.
- [17] Salamon N, Kung J, Shaw SJ, et al. FDG-PET/MRI coregistration improves detection of cortical dysplasia in patients with epilepsy [J]. Neurology, 2008, 71(20): 1594-1601. DOI:10.1212/01.wnl.0000334752.41807.2f.
- [18] 卢倩, 张桂霞, 刘丽英, 等. PET/MRI 在难治性癫痫中的应用价值 [J]. 中华神经医学杂志, 2017, 16(4): 344-348. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-8925.2017.04.005.
- Lu Q, Zhang GX, Liu LY, et al. PET/MRI in refractory epilepsy [J]. Chin J Neuromed, 2017, 16(4): 344-348. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-8925.2017.04.005.
- [19] Garibotto V, Heinzer S, Vulliemoz S, et al. Clinical applications of hybrid PET/MRI in neuroimaging [J]. Clin Nucl Med, 2013, 38(1): e13-18. DOI:10.1097/RLU.0b013e3182638ea6.
- [20] Oldan JD, Shin HW, Khandani AH, et al. Subsequent experience in hybrid PET-MRI for evaluation of refractory focal onset epilepsy [J]. Seizure, 2018, 61: 128-134. DOI:10.1016/j.seizure.2018.07.022.

(收稿日期:2020-03-02)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

## 本刊有关文章涉及课题基金项目的标注要求

论文所涉及的课题如取得国家或部、省级以上基金或属攻关项目,应列出(双语著录)。中英文基金项目分别置于中文关键词、英文 Key words 下方,如“基金项目:国家自然科学基金(39570835)”、“Fund program: National Natural Science Foundation of China (39570835)”,并附基金证书复印件。

本刊编辑部