

¹⁸F-FDG PET 在颞叶外癫痫术前评估中的作用

郭瑞杰¹ 李奇骏¹ 金丽日² 窦万臣³ 崔瑞雪¹

¹中国医学科学院、北京协和医学院北京协和医院核医学科、疑难重症及罕见病全国重点实验室、中国医学科学院罕见病研究中心、核医学分子靶向诊疗北京市重点实验室, 北京 100730; ²中国医学科学院、北京协和医学院北京协和医院神经内科, 北京 100730; ³中国医学科学院、北京协和医学院北京协和医院神经外科, 北京 100730
通信作者: 崔瑞雪, Email: mmdhmm@126.com

【摘要】目的 分析¹⁸F-FDG PET 在颞叶外癫痫 (ETLE) 患者术前评估中的应用价值, 并探讨提高其定位准确性的改进方法。**方法** 纳入 2006 年 1 月至 2022 年 11 月间于北京协和医院行手术治疗、最终证实致痫灶位于颞叶外的 41 例患者 [男 25 例、女 16 例, 年龄 (22.7±7.5) 岁], 采用视觉及半定量方法回顾性分析其术前独立¹⁸F-FDG PET 显像, 以及¹⁸F-FDG PET 与 MRI 联合应用对致痫灶检出的准确性, 及对治疗决策的影响。采用 Fisher 确切概率法分析数据。**结果** 41 例患者中, 独立¹⁸F-FDG PET 视觉分析发现 40 例颞叶外脑部代谢异常, 其中 26 例为单一部位的局灶性代谢异常, 定位为致痫灶; 14 例为多灶性代谢异常, 其中 8 例经半定量分析进一步明确致痫灶。有 1 例 PET 视觉分析阴性的患者发现其 MRI 异常信号部位存在微小代谢增高灶。在 13 例独立 MRI 阅片结果为阴性的患者中, 9 例在¹⁸F-FDG PET 所示代谢减低脑区发现存在微小结构异常。¹⁸F-FDG PET 帮助 18 例 (43.9%, 18/41) 患者改善临床决策。73.2% (30/41) 的患者术后无癫痫发作, 其中局灶性与多灶性¹⁸F-FDG PET 代谢异常患者间预后无明显差异 [73.1% (19/26) 和 10/14, $P = 1.000$]。**结论** ¹⁸F-FDG PET 对于 ETLE 患者是一种有用的术前评估工具。半定量分析有助于在多灶性代谢异常中检出致痫灶。¹⁸F-FDG PET 和 MRI 联合评估可提高颞叶外致痫灶定位的准确性。

【关键词】 癫痫; 正电子发射断层显像术; 氟脱氧葡萄糖 F18; 磁共振成像; 脑电描记术

基金项目: 国家自然科学基金 (81771874); 中央高水平医院临床科研专项 (2022-PUMCH-B-070)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240103-00002

Role of ¹⁸F-FDG PET in the preoperative evaluation of extratemporal lobe epilepsy

Guo Ruijie¹, Li Qijun¹, Jin Liri², Dou Wanchen³, Cui Ruixue¹

¹Department of Nuclear Medicine, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, State Key Laboratory of Complex Severe and Rare Diseases, Center for Rare Diseases Research, Beijing Key Laboratory of Molecular Targeted Diagnosis and Therapy in Nuclear Medicine, Beijing 100730, China; ²Department of Neurology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100730, China; ³Department of Neurosurgery, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100730, China

Corresponding author: Cui Ruixue, Email: mmdhmm@126.com

【Abstract】Objective To analyze the application value of ¹⁸F-FDG PET in the preoperative evaluation of patients with extratemporal lobe epilepsy (ETLE) and explore improved methods to enhance its localization accuracy. **Methods** A total of 41 patients (25 males, 16 females, age (22.7±7.5) years) who underwent surgery and ultimately confirmed ETLE in Peking Union Medical College Hospital between January 2006 and November 2022 were enrolled. The accuracy of preoperative independent ¹⁸F-FDG PET imaging and the combined application of ¹⁸F-FDG PET and MRI in detecting epileptogenic foci and their impacts on treatment decisions were retrospectively analyzed by using visual and semi-quantitative methods. Fisher's exact test was used to analyze the data. **Results** In all 41 patients, 40 cases were found metabolic abnormalities in extratemporal lobe by independent ¹⁸F-FDG PET based on visual analysis. Among them, 26 showed unifocal metabolic abnormalities, which were localized as epileptogenic foci. Fourteen patients showed multifocal metabolic abnormalities, and the epileptogenic foci were further verified in 8 cases through semi-quantitative analysis. In 1 case with negative PET visual analysis, a micro-metabolism focus was found at the abnormal MRI signal area. Among 13 patients with negative independent MRI, 9 were found micro-

structures abnormalities in brain regions with hypometabolism. ^{18}F -FDG PET improved clinical decision-making in 18 patients (43.9%, 18/41). There were 30 patients (73.2%, 30/41) with seizure-free postsurgery, and the prognosis was not significantly different between patients with unifocal ^{18}F -FDG PET metabolic pattern and those with multifocal ones (73.1% (19/26) vs 10/14, $P=1.000$). **Conclusions** ^{18}F -FDG PET can be a useful diagnostic tool for patients with ETLE. Semi-quantitative analysis helps to detect more epileptogenic foci with multifocal metabolic abnormalities. The combined evaluation of ^{18}F -FDG PET and MRI can improve the accuracy in localizing epileptogenic foci outside the temporal lobe.

【Key words】 Epilepsy; Positron-emission tomography; Fluorodeoxyglucose F18; Magnetic resonance imaging; Electroencephalography

Fund program: National Natural Science Foundation of China (81771874); National High Level Hospital Clinical Research Funding (2022-PUMCH-B-070)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240103-00002

癫痫是较为常见的慢性神经系统疾病^[1]。对于局灶性癫痫,手术是有效的治疗方式,经术前对致痫灶精确定位,超过 70% 的局灶性癫痫患者在术后 2 年无癫痫发作^[2]。 ^{18}F -FDG PET 脑代谢显像在局灶性癫痫的致痫灶术前定位中的作用已得到广泛认可^[3-7],但相比颞叶癫痫(temporal lobe epilepsy, TLE)患者, ^{18}F -FDG PET 对颞叶外癫痫(extratemporal lobe epilepsy, ETLE)人群术前致痫灶定位和手术预后并不理想^[8]。目前关于 ^{18}F -FDG PET 在 ETLE 致痫灶定位方面的研究相对有限,基于中国人群的 ETLE 患者术前评估策略的研究较少。本研究分析了于北京协和医院进行手术治疗的 41 例 ETLE 患者,探讨 ^{18}F -FDG PET 在 ETLE 患者术前评估中的应用价值,并探讨提高其定位准确性的改进方法。

资料与方法

1. 研究对象。回顾 2006 年 1 月至 2022 年 11 月间在北京协和医院神经科接受癫痫术前评估、可获得病历资料且完成发作间期 ^{18}F -FDG PET 检查的癫痫患者 615 例,根据纳入排除标准最终纳入 41 例接受手术治疗并确诊为 ETLE 的患者,其中男 25 例、女 16 例,年龄(22.7±7.5)岁,病程(11.8±8.4)年;其中,每日发作者 30 例,每周发作者 5 例,发作间隔>1 周者 6 例;既往使用抗癫痫药物≥2 种者 38 例。

纳入标准:患者经立体定向脑电图(stereo-electroencephalography, SEEG)监测和(或)手术切除证实为 ETLE;患者知情同意并接受随访。排除标准:部分致痫灶位于颞叶;病理为高级别胶质瘤。研究经北京协和医院伦理审查委员会批准(批件编号:ZS-1034),患者均签署知情同意书。

纳入的 41 例患者术前均接受完整的综合评估,包括临床症状学定位、癫痫发作间期 ^{18}F -FDG PET 检查、3.0T MRI 检查(Discovery MR750,美国 GE 公司)和视频脑电图(video electroencephalogram,

VEEG)监测等,其中 MRI 为常规癫痫序列,未采用高扫扫描。24 例接受 SEEG 监测。手术类型包括致痫灶切除术、大脑离断手术和 SEEG 引导下的射频热凝毁损治疗。

2. ^{18}F -FDG PET 显像。 ^{18}F -FDG PET 脑显像检查均在癫痫发作间期完成。 ^{18}F -FDG 由本科室自行制备,放化纯>95%。患者检查前禁食 4~6 h,血糖控制在 11.1 mmol/L 以内,根据患者体质量经静脉注射 ^{18}F -FDG 3.70~5.55 MBq/kg,患者于安静、避光环境中休息 40 min 后行 PET/CT 检查[Polestar m660,赛诺联合医疗科技(北京)有限公司;Biograph 64,德国 Siemens 公司]。嘱患者平躺于扫描床上,采集过程中头颅放于头托内并保持位置不变。PET 图像重建通过有序子集最大期望值迭代法完成(4 次迭代,10 个子集),重建矩阵 512×512,像素大小 1.18 mm×1.18 mm×1.87 mm,图像校正基于 CT 衰减校正、飞行时间校正、随机事件校正和散射校正等。

3. 图像分析。图像判读采用视觉和软件半定量分析。先由 2 位经验丰富的核医学医师独立判读 ^{18}F -FDG PET 图像,对异常的代谢增高或减低区进行定侧和定位,意见不一致时由第 3 位上级医师判定。对于多部位代谢异常图像,再使用 MIMneuro 软件(美国 MIM 软件公司)行半定量分析,获得不同脑区的 Z 分数(Z-scores,单个样本数据与标准差的倍数)。

本研究使用典型的局灶性癫痫 ^{18}F -FDG 代谢模式分析结果:从病灶和癫痫起始区、癫痫传播区到未受癫痫异常放电影响的区域,放射性摄取减低程度呈阶梯式分布,病灶和癫痫起始区代谢减低程度最明显,癫痫传播区其次,未受癫痫异常放电影响的区域代谢减低程度最轻^[9]。当患者符合上述代谢模式时,代谢减低最明显(Z 值绝对值最高)区域为致痫灶所在区域。这一代谢模式与本中心既往癫痫诊治经验相符。

4. 癫痫术前多学科综合评估。手术决策由癫痫

术前多学科诊疗 (multi-disciplinary team, MDT) 完成。来自不同科室且有丰富癫痫诊治经验的医师 (至少 6 位) 对临床症状、VEEG、MRI 及 PET 进行回顾和联合阅片,提供个性化诊疗建议。在癫痫术前评估中,临床症状与各检查结果一致时,可直接定位致痫灶并进行手术;若临床症状和各项检查结果间存在不一致,则建议通过 SEEG 进一步定位致痫灶;手术获益不足时,建议患者选择药物治疗或其他治疗手段。

5. 随访及疗效评价。术后随访患者癫痫发作情况至少 1 年。根据国际抗癫痫联盟 (International League Against Epilepsy, ILAE) 分级评估手术疗效, ILAE 1~2 级为术后癫痫发作完全缓解, 3~4 级为部分改善, 5~6 级为无改善。

6. 统计学处理。采用 IBM SPSS 22.0 软件处理数据。符合正态分布的定量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 定性资料采用频数和 (或) 百分比表示。采用 Fisher 确切概率法比较 ^{18}F -FDG PET 不同代谢模式患者间手术结局的差异。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

41 例患者最终证实的致痫灶脑区分布: 额叶 21 例 (51.2%, 21/41)、顶叶 12 例 (29.3%, 12/41)、枕叶 8 例 (19.5%, 8/41)。MRI 正确定位致痫灶 28 例, 占 68.3% (28/41)。VEEG 监测偏侧性定位 35 例, 占 85.4% (35/41); 脑叶定位 23 例, 占 56.1% (23/41)。

1. ^{18}F -FDG PET 单独图像判读结果。经视觉分析, 40 例 (97.6%, 40/41) ETLE 患者发作间期 ^{18}F -FDG PET 提示代谢异常, 其中 26 例 (63.4%, 26/41) 表现为单一部位的局灶性代谢异常 (图 1) 并最终证实为致痫灶; 14 例表现为多灶性脑区代谢异常且多累及额叶, 未能直接定位致痫灶; 1 例未发现代谢异常。

26 例局灶性代谢异常患者中, 3 例为高代谢, 23 例为低代谢; 受累脑叶位于额叶 11 例, 顶叶 9 例, 枕叶 6 例。14 例多灶性脑区代谢异常患者中, 经 MIMneuro 软件半定量分析, 8 例符合局灶性癫痫 ^{18}F -FDG 代谢模式, 其癫痫起始区与最终被证实的致痫灶位置一致 (在多灶性代谢异常中确定病灶示例见图 2), 其 ^{18}F -FDG PET 均为低代谢; 致痫灶位于额叶 10 例, 顶叶 2 例, 枕叶 2 例; 12 例合并额叶代谢减低。

致痫区表现为代谢减低者主要病理结果为脑皮质发育不良以及致痫性肿瘤; 致痫区 (或部分致痫灶) 代谢增高者 2 例为灰质异位, 1 例为血管中心性胶质瘤。

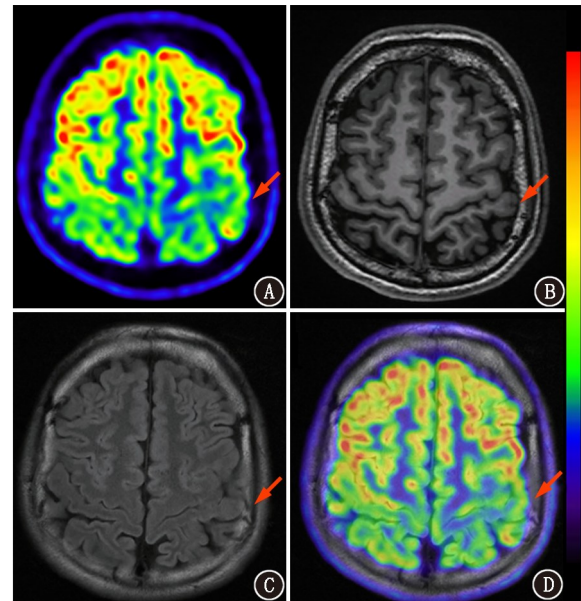


图 1 局灶性癫痫患者 (男, 23 岁) ^{18}F -FDG PET/MR 图像。患者癫痫反复发作 19 年。A. ^{18}F -FDG PET 示左侧顶叶局灶代谢减低 (箭头示); B~D. T₁ 加权反转恢复序列图像 (B)、T₂-液体衰减反转恢复 (T₂-FLAIR) 序列图像 (C) 及 PET/MR 融合图像 (D) 提示左侧中央沟附近偏后侧局部灰白质分界不清 (箭头示); 立体定向脑电图 (SEEG) 证实致痫灶位于左侧顶叶中央后回

2. ^{18}F -FDG PET 和 MRI 联合图像判读结果。癫痫术前行 MDT 对全部 ^{18}F -FDG PET 和 MRI 图像再次阅片, 31 例 MDT 前后图像判读一致 (4 例 MRI 阴性), 10 例存在不一致情况 (1 例 PET 阴性, 9 例 MRI 阴性)。

1 例 PET 阴性图像经联合阅片发现左侧顶叶存在微小代谢增高灶, 术后病理提示血管中心性胶质瘤, 合并局灶性皮质发育不良 (focal cortical dysplasia, FCD) 及血管畸形, 术后癫痫发作完全缓解。9 例常规 MRI 阴性图像中发现微小结构异常 (图 1), 为局部灰质可疑增厚、T₂ 信号局限性增高以及灰白质分界模糊, 符合 FCD 表现; 结构异常区域均在 PET 所示代谢减低区, 位于额叶 7 例, 顶叶 2 例; 术后 6 例癫痫发作完全缓解, 2 例部分改善, 1 例因致痫灶与脑右侧手功能区关系密切, 未能行手术切除或完整热凝毁损病灶, 术后癫痫发作未改善。4 例患者 MRI 图像经联合阅片仍为阴性, 后于 PET 代谢异常脑区行 SEEG 监测, 监测结果示致痫灶位于额叶 2 例、枕叶 2 例; 2 例术后癫痫发作完全缓解, 1 例术后部分改善, 1 例仅行热凝后癫痫发作未改善。

经 MIMneuro 软件半定量分析和 ^{18}F -FDG PET 和 MRI 联合图像判读, 共 85.4% (35/41) 的患者可

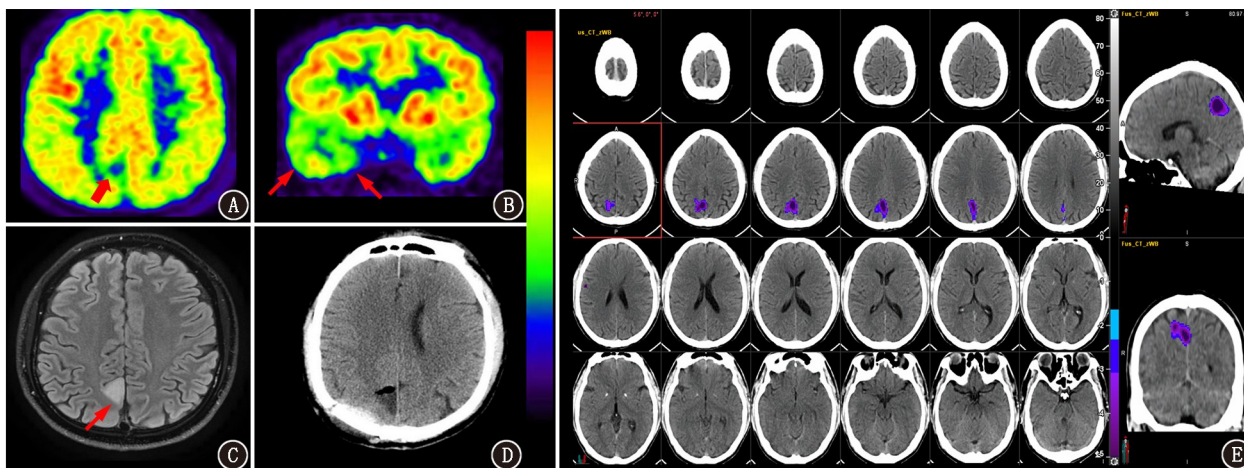


图2 局灶性癫痫患者(男,27岁) ^{18}F -FDG PET/MR、术后CT及MIMneuro Z值分析结果图像。患者发作性愣神8年,发作期脑电提示癫痫起源于右前颞。A. ^{18}F -FDG PET示右侧顶叶局灶性代谢缺损区(箭头示);B.右侧颞叶内侧和新皮质区代谢均较对侧减低(箭头示);C. T₂-液体衰减反转恢复(FLAIR)序列图像仅见右侧顶叶斑片状T₂高信号(箭头示);立体定向脑电图(SEEG)监测提示异常放电最先起源于右侧顶叶,后传播至右侧颞叶;遂行右侧顶叶病变切除术;D.术后CT显示右侧顶叶病变完全切除;E. MIMneuro Z值分析结果显示右侧顶叶局灶性低Z值区(颜色越深表示Z值越低),提示致痫灶位于右侧顶叶

在 ^{18}F -FDG PET图像对致痫灶准确定位,其中26例致痫灶经PET单独视觉分析定位,8例经半定量分析定位,1例经PET和MRI联合阅片发现。

3. PET改善临床决策。回顾癫痫MDT记录及后续治疗可知, ^{18}F -FDG PET共帮助18例(43.9%, 18/41)患者明确改善临床决策。在癫痫MDT中, ^{18}F -FDG PET帮助放射科医师在9例常规MRI阴性图像中发现微小结构异常;对于癫痫MDT后MRI及VEEG均未得到阳性结果的2例患者,PET图像提示局灶性代谢异常,这帮助神经外科医师明确SEEG颅内电极植入部位甚至手术范围。此外,对于MRI与VEEG阳性结果不一致的7例患者, ^{18}F -FDG PET帮助其进一步定位致痫灶和(或)确定了SEEG监测范围。

4. 癫痫术后结局。41例患者均完成随访(12~36个月)。其中完全缓解者30例,占73.2%(30/41);部分改善者8例;无改善者3例。MRI阴性4例,2例PET与VEEG结果一致,术后均无癫痫发作;MRI阳性37例,其PET与MRI均一致,28例(75.7%, 28/37)术后癫痫完全缓解;PET、MRI及VEEG结果一致25例,其中19例(76.0%, 19/25)术后癫痫完全缓解;12例VEEG阴性或结果与最终明确的致痫灶不符,9例术后癫痫完全缓解。

在 ^{18}F -FDG PET表现为局灶性代谢异常的26例患者中,19例(73.1%, 19/26)术后癫痫完全缓解;14例多灶性代谢异常患者中,10例(10/14)术后癫痫完全缓解。2组间预后差异不具有统计学意义($P=1.000$)。

讨论

^{18}F -FDG PET在TLE术前评估中的价值已被充分评估,其中包括多项随机对照研究^[10-12]。而关于ETLE的研究相对较少,一项纳入951例样本的多中心回顾性研究发现:在接受术前评估的癫痫患者中,ETLE患者数明显低于TLE患者(219与479例),253例未能明确致痫灶位置;经癫痫术前评估,仅33%(71/219)的ETLE患者进行手术治疗,低于TLE队列(44%, 211/479);癫痫手术后,ETLE组术后无癫痫发作的占比小于TLE组(48%与64%)^[8]。本中心既往经验显示,接受癫痫外科治疗的患者大多为TLE患者,ETLE术前致痫灶定位和手术预后方面均不理想。这可能与ETLE多样的病因有关^[13],但即使为相同病理相关性癫痫,ETLE患者术前致痫灶定位准确性和手术预后均劣于TLE^[14]。

本研究中,63.4%(26/41)的患者在 ^{18}F -FDG PET中表现为单一部位局灶性代谢异常,PET提供了直接的致痫灶定位信息。在14例 ^{18}F -FDG PET表现为多灶性脑区代谢异常的患者中,PET常提示致痫区以外脑叶代谢减低,12例位于颞叶。对于大多数患者而言,致痫区以外脑区代谢减低的原因因为反复发生的异常放电而导致周围脑组织功能障碍^[15-16]。当致痫灶明确时,局灶性代谢异常组和多灶性脑区代谢异常组癫痫术后癫痫完全缓解的占比分别为73.1%(19/26)和10/14,2组间手术预后差异无统计学意义。此外,一些研究发现,广泛的代谢

异常也可能与复杂致病网络相关,即存在多个癫痫起始区^[17-18],但这些情况相对少见。因此,¹⁸F-FDG PET 所示代谢异常可帮助规划深部电极的植入位置,借助 SEEG 监测鉴别广泛代谢异常是否与复杂致病网络相关。

¹⁸F-FDG PET 和结构 MRI 联合阅片,可充分利用那些不足以明确定位致痫灶的细微的代谢和结构异常信息,提高致痫灶定位的准确性、增强致痫灶定位信心。与先前研究一致^[19-20],本研究对 13 例 MRI 阴性图像重新阅片后发现 9 例存在微小结构异常。借助于 MRI 图像,在¹⁸F-FDG PET 图像中发现先前被忽视的微小代谢异常。

本研究结果显示,¹⁸F-FDG PET 影响了 43.9% (18/41) 患者的临床决策。当 MRI 阴性和 MRI 与 VEEG 结果不一致时,¹⁸F-FDG PET 显像客观上帮助 18 例患者获得 SEEG 监测和(或)手术机会。在之前的一项多中心研究中,¹⁸F-FDG PET 影响了 47% 的术前决策^[8],与本研究一致。本研究还发现,MRI 与 PET 结果一致以及 MRI 与 VEEG 结果一致的 ETLE 患者术后分别有 75.7% (28/37) 与 76.0% (19/25) 无癫痫发作,不劣于 TLE 手术预后状况 (64.0% ~ 70.9%)^[2,8]。

本研究 41 例患者,经 MIMneuro 软件分析和 PET-MRI 联合图像判读,85.4% (35/41) 的致痫灶可在¹⁸F-FDG PET 图像中准确定位。一些新的放射性示踪剂可更好地检出脑皮质发育不良以及致痫性肿瘤等 ETLE 常见病因,包括靶向突触囊泡糖蛋白 2A (synaptic vesicle glycoprotein 2A, SV2A) 和易位蛋白 (translocator protein, TSPO) 的 PET 显像。Xiao 等^[21]评估了¹⁸F-FDG PET 和 SV2A PET 显像对 FCD II 型病灶术前定位的价值,纳入的 17 例 MRI 阴性儿童癫痫患者的¹⁸F-FDG PET 显像表现为广泛的代谢异常,而 SV2A PET 仅在病变区域显示放射性摄取减低,其灵敏度、特异性、阳性预测值和阴性预测值分别为 94.1%、97.5%、84.2% 和 99.1%。Kagitani-Shimono 等^[22]纳入 27 例接受 TSPO PET 的儿童癫痫患者,发现 FCD 和肿瘤病灶的 TSPO 信号增高,这提示 TSPO PET 在 ETLE 癫痫手术治疗中具有潜在价值。

本研究存在局限性。(1) 回顾性研究,可能存在难以避免的选择偏倚。(2) 其次,使用 MIMneuro 软件分析儿童和青少年患者(年龄分别为 8、16、16 和 17 岁)时未使用年龄匹配的对照组;使用成人组会产生图像伪影^[23],尽管经过评估这些伪影不会导

致结果错误,但更细致的年龄匹配的对照组会使致痫灶定位更加准确。(3) 结果仅反映本中心 ETLE 手术治疗的实际情况。未来需更大规模以及多中心的前瞻性队列研究来评估¹⁸F-FDG PET 以及 PET/MR 同机显像在 ETLE 术前评估中的应用价值,以提高其致痫灶定位性能。

综上,¹⁸F-FDG PET 在 ETLE 患者术前评估中发挥着重要的作用,是有用的致痫灶定位工具,可为更多的 ETLE 患者提供手术机会。¹⁸F-FDG PET 和 MRI 联合应用可发现微小的代谢和结构异常,提高对致痫灶的检出率,可提高颞叶外致痫灶定位的准确性和临床诊断信心。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 郭瑞杰:研究设计与实施、数据采集、统计学分析、论文撰写;李奇骏:数据采集与分析;金丽日、窦万臣:研究指导;崔瑞雪:研究设计与指导、论文修改、经费支持

参 考 文 献

- [1] Wang WZ, Wu JZ, Wang DS, et al. The prevalence and treatment gap in epilepsy in China: an ILAE/IBE/WHO study [J]. *Neurology*, 2003, 60 (9): 1544-1545. DOI: 10.1212/01.wnl.0000059867.35547.de.
- [2] Baud MO, Perneger T, Rácz A, et al. European trends in epilepsy surgery [J]. *Neurology*, 2018, 91 (2): e96-e106. DOI: 10.1212/WNL.0000000000005776.
- [3] 中华医学会神经病学分会,中华医学会神经病学分会脑电图与癫痫学组.中国成人局灶性癫痫规范化诊治指南[J].*中华神经科杂志*, 2022, 55 (12): 1341-1352. DOI: 10.3760/cma.j.cn113694-20220411-00289. Chinese Neurology Society, Epilepsy and Electroencephalography Group of Chinese Neurology Society. Chinese guidelines for standardized diagnosis and treatment of focal epilepsies in adults [J]. *Chin J Neurol*, 2022, 55 (12): 1341-1352. DOI: 10.3760/cma.j.cn113694-20220411-00289.
- [4] 中国抗癫痫协会,中华医学会神经外科学分会神经生理学组,中华医学会神经病学分会癫痫与脑电图学组,等.癫痫外科术前评估中国专家共识(2022 版)[J].*中华神经外科杂志*, 2022, 38 (10): 973-979. DOI: 10.3760/cma.j.cn112050-20220126-00056. Chinese Association Against Epilepsy, Neurophysiology Group of Neurosurgery Branch of Chinese Medical Association, Epilepsy and EEG Group of Chinese Society of Neurology, et al. Chinese expert consensus on preoperative evaluation of epilepsy surgery (2022 edition) [J]. *Chin J Neurosurg*, 2022, 38 (10): 973-979. DOI: 10.3760/cma.j.cn112050-20220126-00056.
- [5] 佟正灏,范岩,王荣福,等.小儿癫痫¹⁸F-FDG PET/CT 高代谢灶的判读及分析[J].*中华核医学与分子影像杂志*, 2018, 38 (4): 234-237. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.04.002. Tong ZH, Fan Y, Wang RF, et al. Analysis of hypermetabolic lesions on ¹⁸F-FDG PET/CT scan in pediatric patients with epilepsy [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2018, 38 (4): 234-237. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.04.002.
- [6] 郭坤,尚琨,崔碧霄,等.¹⁸F-FDG PET/MR 对 MRI 阴性药物难

- 治性癫痫患者致痫灶的定位价值[J].中华核医学与分子影像杂志, 2021, 41(7): 410-414. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20200302-00083.
- Guo K, Shang K, Cui BX, et al. Preoperative localization of ¹⁸F-FDG PET/MR in refractory epilepsy patients with negative MRI [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 41(7): 410-414. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20200302-00083.
- [7] 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.
- [8] Steinbrenner M, Duncan JS, Dickson J, et al. Utility of ¹⁸F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in presurgical evaluation of patients with epilepsy: a multicenter study [J]. Epilepsia, 2022, 63(5): 1238-1252. DOI:10.1111/epi.17194.
- [9] Lagarde S, Boucekine M, McGonigal A, et al. Relationship between PET metabolism and SEEG epileptogenicity in focal lesional epilepsy [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2020, 47(13): 3130-3142. DOI:10.1007/s00259-020-04791-1.
- [10] Engel J Jr, McDermott MP, Wiebe S, et al. Early surgical therapy for drug-resistant temporal lobe epilepsy: a randomized trial [J]. JAMA, 2012, 307(9): 922-930. DOI:10.1001/jama.2012.220.
- [11] Wiebe S, Blume WT, Girvin JP, et al. A randomized, controlled trial of surgery for temporal-lobe epilepsy [J]. N Engl J Med, 2001, 345(5): 311-318. DOI:10.1056/NEJM200108023450501.
- [12] Dwivedi R, Ramanujam B, Chandra PS, et al. Surgery for drug-resistant epilepsy in children [J]. N Engl J Med, 2017, 377(17): 1639-1647. DOI:10.1056/NEJMoa1615335.
- [13] Blumcke I, Spreafico R, Haaker G, et al. Histopathological findings in brain tissue obtained during epilepsy surgery [J]. N Engl J Med, 2017, 377(17): 1648-1656. DOI:10.1056/NEJMoa1703784.
- [14] 候亚琴, 郭坤, 尚琨, 等. 局灶性皮质发育不良所致颞叶癫痫及颞叶外癫痫的¹⁸F-FDG PET/CT 影像分析 [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2021, 41(10): 607-612. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20200511-00187.
- Hou YQ, Guo K, Shang K, et al. ¹⁸F-FDG PET/CT imaging in temporal lobe epilepsy and extratemporal lobe epilepsy caused by focal cortical dysplasia [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 41(10): 607-612. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20200511-00187.
- [15] DeCarli C, McIntosh AR, Blaxton TA. Use of positron emission tomography for the evaluation of epilepsy [J]. Neuroimaging Clin N Am, 1995, 5(4): 623-645.
- [16] Brodbeck V, Spinelli L, Lascano AM, et al. Electrical source imaging for presurgical focus localization in epilepsy patients with normal MRI [J]. Epilepsia, 2010, 51(4): 583-591. DOI:10.1111/j.1528-1167.2010.02521.x.
- [17] Voets NL, Beckmann CF, Cole DM, et al. Structural substrates for resting network disruption in temporal lobe epilepsy [J]. Brain, 2012, 135(Pt 8): 2350-2357. DOI:10.1093/brain/awt137.
- [18] Taussig D, Petrescu AM, Aghakhani N, et al. ¹⁸F-FDG-PET hypometabolic pattern reveals multifocal epileptic foci despite limited unique stereotyped seizures [J]. Epilepsy Res, 2021, 172: 106589. DOI:10.1016/j.eplepsyres.2021.106589.
- [19] 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.
- [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.
- [21] Xiao L, Yang J, Zhu H, et al. [¹⁸F]SynVesT-1 and [¹⁸F]FDG quantitative PET imaging in the presurgical evaluation of MRI-negative children with focal cortical dysplasia type II [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, in press 2024. DOI:10.1007/s00259-024-06593-1.
- [22] Kagitani-Shimono K, Kato H, Kuwayama R, et al. Clinical evaluation of neuroinflammation in child-onset focal epilepsy: a translocator protein PET study [J]. J Neuroinflammation, 2021, 18(1): 8. DOI:10.1186/s12974-020-02055-1.
- [23] Zhu Y, Ruan G, Zou S, et al. Age-matched control or age-specific template, which is essential for voxel-wise analysis of cerebral metabolism abnormality in pediatric patients with epilepsy? [J]. Hum Brain Mapp, 2023, 44(2): 472-483. DOI:10.1002/hbm.26063.

(收稿日期:2024-01-03)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

关于投稿提供伦理委员会批准文件及受试对象知情同意书的通告

根据中华医学会杂志社的相关规定,当论文的主体是以人为研究对象时,作者应该说明其遵循的程序是否符合伦理审核委员会(单位性的、地区性的或国家性的)所制订的伦理学标准,并提供该委员会的批准文件(批准文号著录于论文中)及受试对象或其亲属的知情同意书;当论文主体以动物为研究对象时,需说明是否遵循了国家和国家有关实验动物管理和使用的规定,如获得审查批准,应提交实验动物伦理审查委员会审批文件和批准文号。

本刊编辑部