

^{18}F -FDG PET/CT 和 PET/MR 脑显像在药物难治性癫痫诊疗中应用的专家共识(2025 版)

中华医学会核医学分会

通信作者:崔瑞雪,中国医学科学院、北京协和医学院北京协和医院核医学科,北京 100730, Email: mmdhmm@126.com;徐浩,暨南大学附属第一医院核医学科,广州 510630, Email: txh@jnu.edu.cn;汪静,空军军医大学第一附属医院核医学科,西安 710032, Email: wangjing@fmmu.edu.cn

【摘要】 癫痫是最常见的慢性神经系统疾病之一。目前在临床实践中,约 30%的癫痫患者无法通过抗癫痫发作药物完全控制发作。手术是药物难治性局灶性癫痫的有效治疗方法。 ^{18}F -FDG PET/CT 和 PET/MR 脑显像可帮助定位致痫区,并在一定程度上有助于预测手术预后。目前,国内 ^{18}F -FDG PET/CT 和 PET/MR 脑显像在癫痫中的应用缺少统一的临床实践规范。该共识总结分析了已有的核医学指南、文献和临床试验数据,以期促进和推广 ^{18}F -FDG PET/CT 和 PET/MR 脑显像在药物难治性癫痫中的规范化应用。

【关键词】 多数赞同;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;氟脱氧葡萄糖 F18

基金项目:国家自然科学基金(82371998);中央高水平医院临床科研专项项目(2022-PUMCH-B-070)

实践指南注册:国际实践指南注册与透明化平台(PREPARE-2025CN966)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20250331-00094

Expert consensus on application of ^{18}F -FDG PET/CT and PET/MR brain imaging in drug-resistant epilepsy (2025 edition)

Chinese Society of Nuclear Medicine

Corresponding authors: Cui Ruixue, Department of Nuclear Medicine, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100730, China, Email: mmdhmm@126.com; Xu Hao, Department of Nuclear Medicine, the First Affiliated Hospital of Jinan University, Guangzhou 510630, China, Email: txh@jnu.edu.cn; Wang Jing, Department of Nuclear Medicine, the First Affiliated Hospital of the Air Force Medical University, Xi'an 710032, China, Email: wangjing@fmmu.edu.cn

【Abstract】 Epilepsy is one of the most frequent chronic neurological conditions. In current clinical practice, about 30% of epilepsy patients cannot suppress epileptic seizures through anti-epileptic drugs. Surgery is the most effective treatment for drug-resistant focal epilepsy. ^{18}F -FDG PET/CT and PET/MR brain imaging can help locate epileptogenic zone and, to a certain extent, help predict surgical prognosis. At present, there is a lack of unified Chinese clinical practice standards for the use of ^{18}F -FDG PET/CT and PET/MR brain imaging in epilepsy. This consensus summarizes and analyzes existing nuclear medicine guidelines, literature, and clinical trial data, in order to promote the standardized application of ^{18}F -FDG PET/CT and PET/MR brain imaging in drug-resistant epilepsy.

【Key words】 Consensus; Epilepsy; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Magnetic resonance imaging; Fluorodeoxyglucose F18

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82371998); National High Level Hospital Clinical Research Funding (2022-PUMCH-B-070)

Practice guideline registration: Practice Guideline Registration for Transparency (PREPARE-2025CN966)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20250331-00094

癫痫是最常见的慢性神经系统疾病之一,中国癫痫患者数量超过 1 000 万^[1]。2025 年国际抗癫痫联盟(International League Against Epilepsy, ILAE)将癫痫发作分为局灶性、全面性、未知是否为局灶性

或全面性、无法分类的发作四大类,其中以局灶性起源癫痫最为常见^[2]。手术是药物难治性局灶性癫痫的有效治疗方法。回顾性多中心大样本队列研究发现,67%~71%的局灶性癫痫患者在术后 2 年无癫

痫发作^[3-4]。

¹⁸F-FDG PET 是目前癫痫术前评估中最常用的功能显像技术,其在致痫灶定位中表现出较高的灵敏度和特异度^[5-7]。此外,¹⁸F-FDG PET 在预测癫痫手术后预后方面具有重要的临床价值^[8]。

由于 PET/CT 及 PET/MR 的普及性尚待提高,目前¹⁸F-FDG PET 并未作为药物难治性癫痫术前评估的常规检查。在欧洲,约 40% 经手术治疗的癫痫患者在术前完成了¹⁸F-FDG PET 检查^[4];国内¹⁸F-FDG PET/CT 和(或)PET/MR 脑代谢显像开展不充分且地域发展不平衡,暂无癫痫脑显像开展的准确数据,也缺少统一的临床实践规范及国内多中心大样本的研究结果。为推动¹⁸F-FDG PET/CT 与 PET/MR 显像在药物难治性癫痫中的规范化、标准化应用,中华医学会核医学分会组织制定本专家共识。本共识旨在总结国内外研究进展与临床实践经验,为药物难治性癫痫评估中 PET 显像的合理使用提供指导建议,助力精准诊疗与优化患者预后。

一、共识目标

本共识旨在规范¹⁸F-FDG PET/CT 与 PET/MR 脑显像在药物难治性癫痫诊疗中的临床应用,提升影像学检查的规范性与解读一致性,促进其在多学科协作中的合理应用。本共识聚焦以下 4 个核心方面:(1) ¹⁸F-FDG PET 脑显像在药物难治性癫痫诊疗中的主要适应证;(2) 显像检查的技术流程与关键操作要点;(3) 图像判读原则、常见模式及半定量分析方法;(4) 报告撰写的基本规范与建议格式。

二、共识制定方法

本共识由中华医学会核医学分会发起,由中华医学会核医学分会神经学组确定共识题目,并经中华医学会核医学分会指南与共识编写委员会 3 次讨论形成共识书写框架,由中国循证医学中心提供方法学支持,并在国际实践指南注册与透明化平台(Practice Guideline Registration for Transparency; <http://www.guidelines-registry.org>)注册(注册号:PREPARE-2025CN966)。

工作组以“Epilepsy”“FDG PET”“Presurgical evaluation”“癫痫”等为关键词,系统检索 PubMed、Web of Science、中国知网、万方数据库中截至 2025 年 2 月 1 日的相关文献,纳入系统评价、原始研究、成本效果分析等相关证据。本共识初稿在总结分析国内外核医学指南与研究文献的基础上,充分结合我国¹⁸F-FDG PET/CT 与 PET/MR 在癫痫临床应用的实际情况进行编写。

在草案形成过程中,工作组通过问卷调研和小组讨论的方式,广泛征求来自全国 20 家三级甲等医院、共 32 位来自核医学、神经内科及神经外科等相关学科专家的意见,采用德尔菲(Delphi)法开展 2 轮专家咨询。以专家意见一致率达到 90% 及以上为共识达成标准,最终形成了 8 条共识意见。

三、临床应用共识

¹⁸F-FDG PET 检查通常于患者癫痫发作间期进行,通过评估脑组织对放射性葡萄糖类似物的摄取情况,间接反映神经元静息状态下的葡萄糖代谢水平,从而提供脑功能异常的影像学证据。代谢减低常提示局部神经元功能障碍,可能与致痫灶位置相关,尤其在结构影像阴性或不典型病例中具有重要补充价值^[5-7]。研究显示,¹⁸F-FDG PET 在致痫灶的术前定侧与定位中具有较高的诊断准确性,其在颞叶癫痫中的灵敏度为 55%~95%,特异度为 64%~95%;而在颞叶外癫痫中,灵敏度为 56%~80%,特异度为 58%~95%^[5-7]。尽管不同研究中数据存在一定差异,但总体而言,¹⁸F-FDG PET 在辅助致痫灶识别、优化术前评估流程方面具有重要价值。基于当前证据和临床实践经验,建议有条件的医疗机构将¹⁸F-FDG PET 纳入药物难治性癫痫患者术前评估流程,以提高致痫灶识别率,提升癫痫外科干预的个体化与精准化水平。

推荐意见 1:有条件的医疗机构应开展¹⁸F-FDG PET 脑显像,用于药物难治性癫痫患者的术前致痫区定侧与定位,以助力实现精准评估与个体化诊疗。

对于药物难治性癫痫患者,术前致痫灶的准确定位是手术成功的关键前提。然而在临床实践中,部分患者 MRI 阴性,或多模态评估结果存在不一致,导致其致痫灶识别困难,往往需借助立体定向脑电图(stereo-electroencephalography, SEEG)等有创性检查进一步明确致痫区及其与功能区空间关系。在此背景下,¹⁸F-FDG PET 显像可提供代谢层面的补充信息,有助于缩小 SEEG 电极植入的范围,优化植入策略,提高监测效率与阳性定位率。多项研究表明,PET 显像中代谢减低区域与 SEEG 确认的致痫灶具有良好的一致性,低代谢区可作为深部电极布放的重要靶点^[9-12]。部分局灶性癫痫患者在¹⁸F-FDG PET 显像中可观察到一种阶梯式代谢减低分布模式:即从病灶及癫痫起始区、传播区到未受异常放电影响的脑区,葡萄糖代谢减低程度依次递减。其中,致痫灶和起始区代谢减低最为显著,传播区次之,非相关脑区变化最轻。该代谢特征可为 SEEG

定位提供有力参考,进一步提高致痫灶识别的精度^[9-10,12]。因此,在 MRI 阴性或多模态评估结果存在不一致的药物难治性癫痫患者中,充分结合¹⁸F-FDG PET 结果指导深部电极的布放位置与数量,可提升术前评估的效率与准确性,辅助实现更为精准的个体化治疗策略。

推荐意见 2:在 MRI 阴性或临床表现、脑电图、MRI 等结果不一致的情况下,应考虑使用¹⁸F-FDG PET 显像指导深部电极植入的位置与数量,优化术前评估策略。

术前¹⁸F-FDG PET 脑显像不仅在致痫灶定位方面具有重要价值,也为预测癫痫手术疗效与术后预后提供了功能代谢依据。已有研究基于术前¹⁸F-FDG PET 代谢模式构建颞叶癫痫的术后预后预测模型,在预测 Engel 分级(Engel I 与 Engel II/III)方面表现出良好效能,ROC 曲线的 AUC 为 0.857,灵敏度为 93.3%,特异度为 75.9%^[13]。¹⁸F-FDG PET 与结构影像联合应用可进一步增强术后预后预测能力。一项单中心回顾性研究显示,¹⁸F-FDG PET 单独预测术后无发作的灵敏度和特异度分别为 89.4% 和 68.8%;若手术完全切除 PET 低代谢、皮质厚度变薄及定量各向异性(quantitative anisotropy, QA)三者重叠异常区域,则 96.4% 的患者可实现 Engel I 级预后;而当 PET 低代谢病灶跨越多个脑叶,或术区外仍存在与低代谢相关的 QA 或皮质厚度异常区域时,术后转归更可能为 Engel III/IV 级^[8]。此外,对于术后复发或症状持续的患者,¹⁸F-FDG PET 亦可用于评估脑功能重塑情况、识别残余或新生的异常代谢区域,为是否实施二次手术提供依据。因此,建议将¹⁸F-FDG PET 作为癫痫外科治疗策略制定与术后随访评估的工具之一。

推荐意见 3:¹⁸F-FDG PET 脑显像可用于评估癫痫手术治疗的疗效与预后,为临床治疗决策提供依据,亦适用于术后复发患者的脑代谢监测及二次手术规划。

规范化的¹⁸F-FDG PET/CT 与 PET/MR 显像流程是确保图像质量、提高致痫灶识别率、增强解读一致性的基础。检查方法与流程具体建议如下。

1. 检查前患者准备。(1)应禁食至少 4 h,不摄入任何含糖食物并避免口服或注射含葡萄糖药物(如葡萄糖注射液、含葡萄糖的肠外营养液等)。检查前理想的血糖水平为 3.3~6.7 mmol/L,且血胰岛素水平不高。高血糖因与 FDG 竞争抑制会影响脑皮质对显像剂的摄取。当血糖水平>11.1 mmol/L

时,应考虑充分控制血糖后择期检查,以实现最佳的脑¹⁸F-FDG 摄取。(2)明确并记录近期癫痫发作情况及当前状态,因为发作状态会影响¹⁸F-FDG 在脑内的分布^[14]。(3)检查前避免剧烈运动,避免摄入含咖啡因的饮料(如咖啡、茶、可乐)及酒精等刺激物。(4)一般不推荐妊娠或备孕期间患者行本项检查^[15],如因病情需要,经多学科会诊认为确实需行¹⁸F-FDG PET/CT 或 PET/MR 检查,应详细告知辐射风险,并由患者及家属签署知情同意书。哺乳期患者乳房¹⁸F-FDG 摄取增高,静脉注射¹⁸F-FDG 后 24 h 须暂停母乳喂养。(5)对于无法配合检查的儿童,检查前可使用水合氯醛等镇静剂。

2. 给药剂量。成人经静脉注射¹⁸F-FDG 的推荐剂量为按体质量 2.96~7.77 MBq/kg,常规每人 111~259 MBq,儿童酌减^[5]。随着技术的不断进步,当 PET/CT 具有更高的灵敏度和(或)空间分辨率时,可适当下调¹⁸F-FDG 注射剂量。注射¹⁸F-FDG 前后,患者需处于安静、光线昏暗的房间,最大限度减少运动和外界刺激;静脉注射显像剂后 40~60 min 开始采集图像。

3. PET/CT 采集和重建参数。在 PET/CT 检查中,先行 CT 扫描。CT 扫描用于衰减校正及解剖定位,可采用低毫安秒设置(≤ 50 mA),以减少患者的辐射剂量。推荐使用三维采集,采集时间为 5~10 min,PET 图像重建常用滤波反投影法(filtered back projection, FBP)和有序子集最大期望值迭代法(ordered subsets expectation maximization, OSEM)。重建的图像可用横断面、冠状面和矢状面及旋转最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)图显示。随着技术的不断进步,应适时优化采集参数以提高显像质量。

4. PET/MR 采集和重建参数。PET/MR 头颅扫描使用头颅线圈,基本序列包括定位像,基于 MR 的衰减校正序列、横轴位 T₂ 加权成像(weighted imaging, WI)、横轴位 T₂ 液体衰减反转恢复(fluid-attenuated inversion recovery, FLAIR)序列、横轴位扩散 WI、矢状位 T₂ FLAIR 及全脑三维 T₁ WI。根据癫痫类型,可疑颞叶内侧癫痫选择斜冠状位(垂直海马长轴)高分辨 T₁ WI、T₂ WI、T₂ FLAIR(体素为亚毫米级,如 0.4 mm×0.4 mm×2 mm),以评估海马内部结构、杏仁核以及旁海马皮质;其余部位癫痫可选择三维 T₂ FLAIR 序列(体素为 1 mm×1 mm×1 mm)^[16]。此外,根据需要可进一步选择三维时间飞跃法血管成像、扩散 WI、扩散张量成像等特殊序列。MRI 检查相关注

意事项参见《MRI 临床应用安全专家共识》^[17]。

推荐意见 4:应规范¹⁸F-FDG PET/CT 与 PET/MR 显像的检查方法与流程,确保扫描质量、结果一致性及解读的临床可比性。

实践证明,单次短暂的癫痫发作不影响发作间期的低代谢状态。但若检查过程中出现持续多次发作、癫痫持续状态或临床下皮质持续放电,则可能引起致痫区呈高代谢表现(图 1)^[17-19]。国外部分中心常规在 PET 检查时行同步脑电图监测;目前国内各医院检查过程中不常规进行脑电图监测。在进行发作间期¹⁸F-FDG PET 检查期间,技师及患者陪同人员应密切关注患者情况,及时识别和记录癫痫发作情况。检查结束后,医师应尽快阅片,当图像呈现无法解释的高代谢灶时,应立即行脑电图监测以除外隐匿性持续癫痫发作。如对检查过程中癫痫发作状态无法判断,或随后的脑电图提示频发的癫痫波发放,建议在控制发作后明确的发作间期状态下复查¹⁸F-FDG PET。目前认为,发作间期¹⁸F-FDG PET 检查应在局灶性知觉保留发作 24 h 后、局灶性知觉受损或局灶性进展为双侧强直-阵挛性发作 48 h 后进行^[14]。

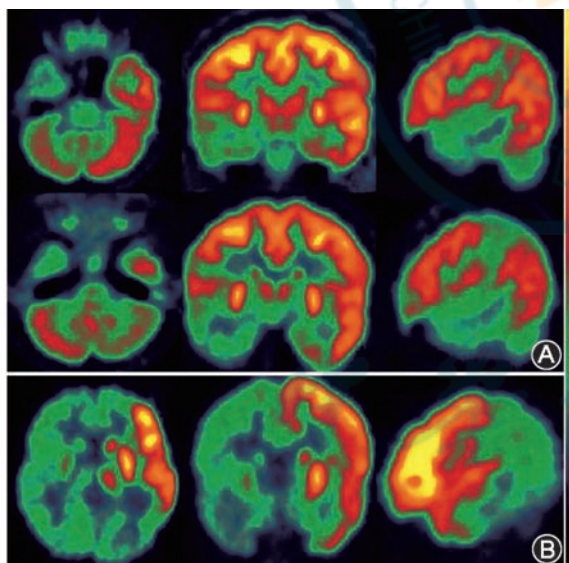


图 1 癫痫患者¹⁸F-FDG PET 显像图 A. 患者女,19 岁,临床发作形式、脑电图均提示颞叶癫痫,进行 2 次¹⁸F-FDG PET 显像。上排图像为注射¹⁸F-FDG 后 5 min 出现持续时间约 2 min 的复杂部分发作,40 min 采集的横断、冠状、矢状位图像,右侧颞叶区域呈现代谢减低;下排图像为 2 d 后发作间期状态下相应层面的¹⁸F-FDG PET 显像图,右侧颞叶呈现代谢减低。患者后行右侧前颞叶切除术,术后无发作,Engel I 级;B. 部分癫痫持续状态患儿男,3.5 岁,脑炎病史,MRI 未见明显异常,¹⁸F-FDG PET 显像时意识清晰,右上肢持续抖动,呈左额颞叶皮质及同侧基底节丘脑发作期的高代谢表现。后患儿行左侧额颞叶切除术,1 年后随访,Engel 评分 I 级,右足轻度跛行

推荐意见 5:检查过程中不强制进行脑电图监测以判断发作状态;如患者癫痫发作状态不明确,或术后脑电图提示频繁癫痫放电,建议在明确处于发作间期的状态下重复¹⁸F-FDG PET 检查。

药物难治性癫痫患者的¹⁸F-FDG PET 图像视觉分析需依赖阅片者对代谢模式进行评估,同时结合多模态资料实现对致痫灶的综合定位判断。为提高判读的准确性和临床可解释性,图像视觉分析过程应注意以下关键点。

1. 进行¹⁸F-FDG PET 图像判读前,应详细知悉患者临床资料和本次检查相关的一般信息^[5-6]。患者临床资料包括癫痫发作形式及诱因、发作频率及年限、用药史、癫痫发作的偏侧性、脑电图和(或)视频脑电图结果、既往 MRI 图像等。本次检查相关的一般信息包括药物注射时间、检查时患者是否有自觉的癫痫发作及最近一次癫痫发作时间等。

2. 首先应检查图像是否存在运动伪影及衰减伪影,以确保图像判读结果可靠性。

3. 阅片者应掌握正常脑¹⁸F-FDG 代谢模式。正常大脑皮质及皮质下核团的放射性分布基本两侧对称,通过左右半球的对比发现¹⁸F-FDG 异常代谢增高或减低区。通常癫痫起源部位及周围因反复异常放电导致功能障碍的脑区在发作间期呈¹⁸F-FDG 代谢不同程度减低^[12](图 2)。但癫痫病因多样,某些脑部病变形成的致痫区¹⁸F-FDG 代谢增高,最常见于炎症反应、肿瘤、灰质异位相关性癫痫等^[20-21](图 3)。因此在进行图像判读时,明确检查时癫痫发作状态至关重要。

¹⁸F-FDG PET 所示代谢异常区域包含但往往大于致痫区,不代表手术范围。既往文献表明,¹⁸F-FDG PET 低代谢区及周围 2~3 cm 范围均可能为癫痫起始区,而低代谢区中亦包含非起始区^[22]。因此,尽管大样本量 Meta 分析支持应用¹⁸F-FDG PET 定位到低代谢区与更好的手术后预后相关,但随着癫痫术式的进步与丰富,仅凭¹⁸F-FDG PET 单一模式制定手术计划仍存在困难^[23]。

一般认为癫痫起始位点位于大脑皮质。大脑皮质代谢异常范围较大的患者,常见同侧基底节和(或)丘脑代谢减低、对侧小脑代谢减低。通常认为皮质下核团代谢减低为继发功能改变,不是独立致痫区,但广泛的代谢异常通常与较差的手术预后相关^[24-26]。对侧小脑代谢减低多考虑为交叉功能失联络。

某些癫痫患者大脑皮质呈多灶性代谢异常,此

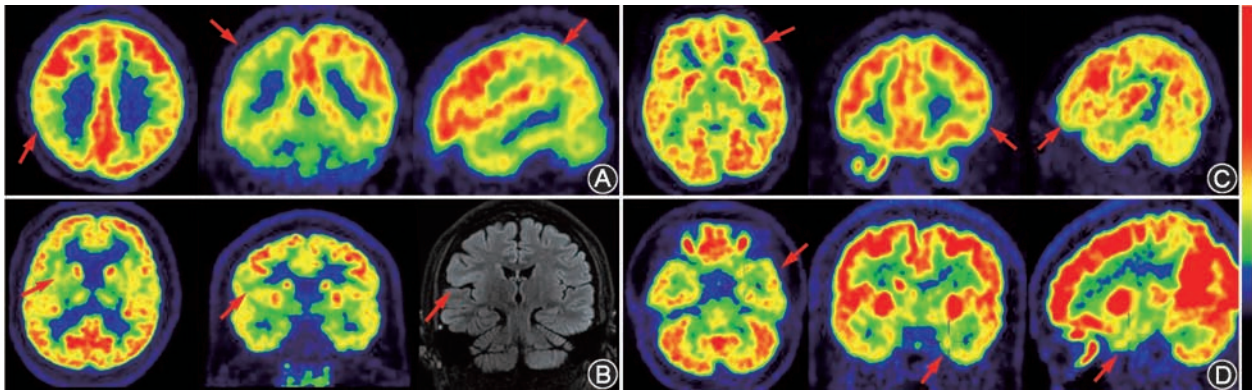


图2 癫痫患者发作间期 ^{18}F -FDG PET 显像及 MRI 图(箭头示病灶低代谢区) A.患者女,25岁,发作性症状7年余, ^{18}F -FDG PET 图像显示右顶枕区大面积皮质代谢减低,顶叶为著,因考虑手术可能造成视野缺损,未进行手术治疗;B.患者女,23岁,发作性症状13年余, ^{18}F -FDG PET 图像显示右岛叶代谢减低,MRI 提示右侧额顶叶岛盖皮质改变,考虑局灶皮质发育不良,后行致痫区射频热凝术,术后无发作,Engel I 级;C.患者女,19岁,发作性症状11年, ^{18}F -FDG PET 图像显示左额极局灶低代谢区,后行左侧额极切除,术后随诊5年未发作,Engel I 级;D.患者女,26岁,发作性症状6年, ^{18}F -FDG PET 图像显示左前颞叶及颞叶内侧海马区代谢减低,后行左侧前颞叶离断术,术后随诊3年未复发,Engel I 级

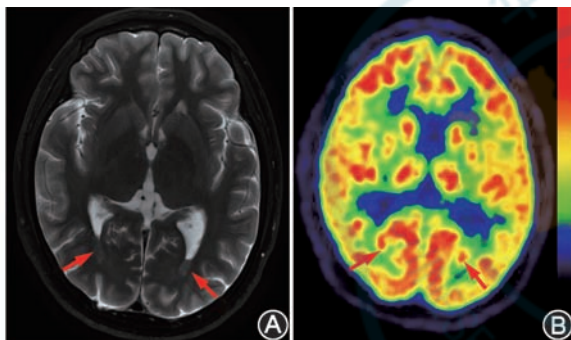


图3 结节状灰质异位患者(男,32岁,发作性愣神,意识丧失14年)MRI 及 ^{18}F -FDG PET 显像图(箭头示病灶) A. MRI 示两侧侧脑室后角及颞角室管膜下斑片状异常信号影,与灰质信号等同;B. ^{18}F -FDG PET 显像示相应部位呈局灶高代谢。立体定向脑电图手术证实为致痫区,行致痫区射频热凝术

时应结合临床对其性质进行判断,或通过置入深部电极明确这些代谢异常区域与癫痫发作的关系。文献表明,单个局灶性 ^{18}F -FDG 摄取减低的代谢模式与更好的手术预后相关,而减低范围广泛、超过单个脑叶的代谢模式则手术预后欠佳^[23]。

4. 图像判读时,需结合临床表现、结构影像及脑电图等资料对 ^{18}F -FDG PET 结果进行分析。PET 与 MR 的融合显像或 PET/MR 同机显像可以提高微小低代谢灶的检出率,并有利于对致痫区的综合判断^[27-28](图4,5)。建议由神经外科、神经内科、电生理团队、核医学科及放射科组成的多学科团队共同完成癫痫患者的术前评估及临床决策。

推荐意见 6: 图像判读应以视觉分析为主,结合临床症状、结构影像及脑电图等信息综合解读。建议由神经外科、神经内科、电生理、核医学、放射科等

多学科团队共同参与术前评估与决策。

癫痫 ^{18}F -FDG PET 图像视觉分析高度依赖阅片者的神经影像学经验,尤其在病灶代谢异常程度轻微或分布隐匿时,单独视觉分析可能存在漏判风险。为增强图像解读的客观性与灵敏度,可结合半定量分析及人工智能辅助工具,作为对视觉判读的补充。

半定量分析可通过如下方式开展。(1) 基于患者个体图像的 ROI 分析。手动或半自动勾画患侧与对侧对称脑区的 ROI, 计算 SUV_{mean} 与参考脑区(如小脑)比值, 获取 SUV 比值(SUV ratio, SUVR), 并进一步计算不对称指数[asymmetry index, AI; $\text{AI} = 2 \times (\text{对侧 SUVR} - \text{患侧 SUVR}) / (\text{对侧 SUVR} + \text{患侧 SUVR})$], 一般以 $\text{AI} \% > 10\%$ 为代谢异常阈值。(2) 基于标准健康脑数据库的分析。借助统计参数图、三维立体定向表面投影等图像处理软件, 将患者图像与年龄匹配的健康人群 PET 数据库进行配准与比对, 获得像素或脑区的 Z 分数(Z-score) 热图、代谢减低区的大小与像素数等, 从而识别轻度或不对称代谢异常区域。基于 ROI 或体素的半定量分析方法可以提高诊断效能及给视觉分析提供支持^[5, 29-30]。需要注意的是, 与标准健康脑数据库比较时, 应考虑 PET 采集和重建的差异, 使体素大小与有效空间分辨率尽可能与数据库匹配, 目前常用数据库的像素大小约 2 mm、平滑至 8 mm 半峰全宽。标准健康脑数据库建立需通过独立伦理委员会核准, 搜集志愿者完整神经系统及系统性疾病病史, 充分知情同意, 保障志愿者隐私。此外, 儿童各脑区正常 ^{18}F -FDG 摄取与成人相比有很大差异^[31], 在应

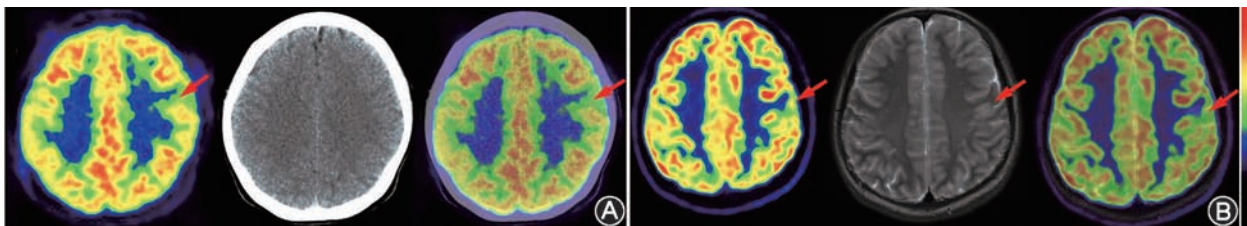


图 4 左额叶微小致痫区患者(女,14岁,发作性口角抽动伴右面部麻木10个月余)¹⁸F-FDG PET/CT与PET/MR显像图 A. ¹⁸F-FDG PET/CT脑显像图未见明显异常(箭头示);B. ¹⁸F-FDG PET/MR脑显像图显示MR所示左额叶中央前回异常信号处皮质代谢减低(箭头示)

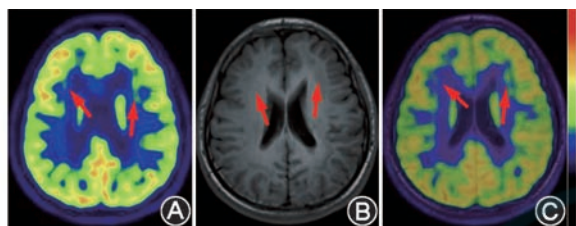


图 5 带状灰质异位患者(男,19岁,发作性抽搐、视物模糊7年余)PET/MR显像图 A. PET图像示双侧大脑皮质代谢基本对称,皮质下可见细带状摄取增高影(箭头示);B. 头常规MRI图像示双侧大脑半球皮质下广泛可见细带状异常信号(箭头示),各序列与灰质信号一致,带状灰质异位可能性大;C. PET/MR融合图像示MRI所示皮质下异常信号处代谢增高(箭头示)

用基于体素的神经网络分析时,建议完善年龄匹配的模板,包括不同年龄段的儿童模版和成人模版^[31-33],以减少因年龄不匹配造成的偏差,提高半定量分析准确性。近年已开发并报道多种基于人工智能的影像分析工具,可以识别更细微的代谢异常模式、提高图像质量或自动识别头动伪影并进行矫正,但人工智能工具尚需经更大规模的临床数据验证^[34-36]。

推荐意见 7:在视觉分析基础上,可辅以半定量分析及人工智能辅助解读工具,以提高定位精度与解读一致性,但不作为唯一依据。

¹⁸F-FDG PET/CT及PET/MR报告为图文报告,报告应包括以下内容。

1. 一般信息。患者姓名和其他必要的信息,如出生日期、血糖水平、检查类型、检查日期、PET设备信息、给药剂量、采集时间等。

2. 病史资料。患者病史、其他影像学及脑电图资料、检查前癫痫发作状态及检查目的等。

3. 检查过程。包括采集前准备,图像采集和重建的简要描述,检查时癫痫发作状态的描述等。

4. 检查所见。PET结果描述两侧大脑皮质、皮质下核团、小脑是否存在¹⁸F-FDG异常代谢增高或减低区,描述异常摄取的位置、范围和强度。多灶性代谢异常时要各个区域分别进行描述。同时应描述

PET/CT和PET/MR中CT和MR图像发现的解剖学异常。当采用半定量分析时,AI、Z-score等参数可在报告中体现。

5. 检查意见。应包括¹⁸F-FDG PET的代谢异常的性质判断及MRI、CT异常的性质判断。报告应尽可能回答临床问题,如检查图像符合特定的疾病模式,应在结论中加以体现,陈述在相应临床表现下最可能的诊断。如多灶性代谢异常与致痫区关系无法判断时也要明确说明,必要时应给出鉴别诊断。

6. 示意图例应出具连续轴位、冠状位和矢状位PET图像。对异常代谢区及形态学异常部位要单独给出局灶示意图。在给出伪彩图像时,也同时给出灰度梯度图像。

推荐意见 8:应统一规范¹⁸F-FDG PET/CT及PET/MR报告的书写格式与内容,包括检查时的癫痫发作状态、代谢异常描述、定侧定位意见等核心要素。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

写作组组长:徐浩(暨南大学附属第一医院核医学科);崔瑞雪(中国医学科学院、北京协和医学院北京协和医院核医学科)

执笔专家组(按姓氏拼音排序):艾林(首都医科大学附属北京天坛医院核医学科);崔瑞雪(中国医学科学院、北京协和医学院北京协和医院核医学科);窦万臣(中国医学科学院、北京协和医学院北京协和医院神经外科);富丽萍(中日友好医院核医学科);管一晖(复旦大学附属华山医院核医学/PET中心);郭瑞杰(清华大学附属北京清华长庚医院核医学科);何作祥(清华大学附属北京清华长庚医院核医学科);金丽日(中国医学科学院、北京协和医学院北京协和医院神经科);凌雪英(暨南大学附属第一医院核医学科);王凯(首都医科大学附属北京天坛医院核医学科);吴洵映(复旦大学附属华山医院神经科);徐浩(暨南大学附属第一医院核医学科);张春(首都医科大学宣武医院放射与核医学科);左传涛(复旦大学附属华山医院核医学/PET中心)

审核专家组(按姓氏拼音排序):崔瑞雪(中国医学科学院、北京协和医学院北京协和医院核医学科);丁虹(《中华核医学与分子影像杂志》编辑部);管一晖(复旦大学附属华山医院核医学/PET中心);黄钢(上海交通大学医学院附属仁济医院核医学科);霍力(中国医学科学院、北京协和医学院北京协和医院核医学科);兰晓莉(华中科技大学同济医学院附属协和医院核医学科);李林(四川大学华西医院核医学科);李思进(山西医科大学第一医院核医学科、分子影像精准诊疗省部共建协同创新中心);李昕(山东大学齐鲁医院核医学

科);李亚明(中国医科大学附属第一医院核医学科);刘建军(上海交通大学医学院附属仁济医院核医学科);卢洁(首都医科大学宣武医院放射与核医学科);缪蔚冰(福建医科大学附属第一医院核医学科);石洪成(复旦大学附属中山医院核医学科);汪静(空军军医大学第一附属医院核医学科);王欣璐(广州医科大学附属第一医院核医学科);徐浩(暨南大学附属第一医院核医学科);杨吉刚(首都医科大学附属北京友谊医院核医学科);张祥松(中山大学附属第一医院核医学科);张永学(华中科技大学同济医学院附属协和医院核医学科);赵军(同济大学附属东方医院核医学科)

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] Beniczky S, Trinka E, Wirrell E, et al. Updated classification of epileptic seizures; position paper of the International League Against Epilepsy [J]. *Epilepsia*, 2025, 66(6): 1804-1823. DOI: 10.1111/epi.18338.
- [3] Lamberink HJ, Otte WM, Blümcke I, et al. Seizure outcome and use of antiepileptic drugs after epilepsy surgery according to histopathological diagnosis; a retrospective multicentre cohort study [J]. *Lancet Neurol*, 2020, 19(9): 748-757. DOI: 10.1016/S1474-4422(20)30220-9.
- [4] Baud MO, Perneger T, Rác A, et al. European trends in epilepsy surgery[J]. *Neurology*, 2018, 91(2): e96-e106. DOI: 10.1212/WNL.0000000000005776.
- [5] Guedj E, Varrone A, Boellaard R, et al. EANM procedure guidelines for brain PET imaging using [¹⁸F]FDG, version 3[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2022, 49(2): 632-651. DOI: 10.1007/s00259-021-05603-w.
- [6] Traub-Weidinger T, Arbizu J, Barthel H, et al. EANM practice guidelines for an appropriate use of PET and SPECT for patients with epilepsy[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2024, 51(7): 1891-1908. DOI: 10.1007/s00259-024-06656-3.
- [7] Zimmer ER, Parent MJ, Souza DG, et al. [¹⁸F]FDG PET signal is driven by astroglial glutamate transport[J]. *Nat Neurosci*, 2017, 20(3): 393-395. DOI: 10.1038/nn.4492.
- [8] Wang ZM, Wei PH, Wang C, et al. Combined [¹⁸F]FDG-PET with MRI structural patterns in predicting post-surgical seizure outcomes in temporal lobe epilepsy patients[J]. *Eur Radiol*, 2022, 32(12): 8423-8431. DOI: 10.1007/s00330-022-08912-2.
- [9] Lamarche F, Job AS, Deman P, et al. Correlation of FDG-PET hypometabolism and SEEG epileptogenicity mapping in patients with drug-resistant focal epilepsy[J]. *Epilepsia*, 2016, 57(12): 2045-2055. DOI: 10.1111/epi.13592.
- [10] Guedj E, Bonini F, Gavaret M, et al. ¹⁸F-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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Guo K, Quan Z, Li G, et al. Decomposed FDG PET-based phenotypic heterogeneity predicting clinical prognosis and decision-making in temporal lobe epilepsy patients[J]. *Neurol Sci*, 2024, 45(8): 3961-3969. DOI: 10.1007/s10072-024-07431-w.
- [14] de Laat NN, Tolboom N, Leijten FSS. Optimal timing of interictal FDG-PET for epilepsy surgery: a systematic review on time since last seizure[J]. *Epilepsia Open*, 2022, 7(3): 512-517. DOI: 10.1002/epi4.12617.
- [15] Zanotti-Fregonara P. Radiation absorbed dose to the embryo and fetus from radiopharmaceuticals[J]. *Semin Nucl Med*, 2022, 52(2): 140-148. DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2021.12.007.
- [16] Bernasconi A, Cendes F, Theodore WH, et al. Recommendations for the use of structural magnetic resonance imaging in the care of patients with epilepsy: a consensus report from the International League Against Epilepsy Neuroimaging Task Force [J]. *Epilepsia*, 2019, 60(6): 1054-1068. DOI: 10.1111/epi.15612.
- [17] 中华医学会影像技术分会, 中国医师协会医学技师专业委员会. MRI 临床应用安全专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2023, 57(9): 955-961. DOI: 10.3760/ema.j.cn112149-20230113-00036. Imaging Technology Society of Chinese Medical Association, Professional Committee of Medical Technologists of Chinese Medical Doctor Association. Expert consensus on safety guidelines for clinical application of MRI[J]. *Chin J Radiol*, 2023, 57(9): 955-961. DOI: 10.3760/ema.j.cn112149-20230113-00036.
- [18] Cui R, Niu N, Li F. Crossed cerebellar hypermetabolism demonstrated by FDG PET[J]. *Clin Nucl Med*, 2014, 39(4): 409-412. DOI: 10.1097/RLU.0000000000000388.
- [19] Wang J, Zhang Y, Sun H, et al. Hypermetabolism caused by seizure mimicking tumor recurrence [J]. *Clin Nucl Med*, 2018, 43(12): 930-932. DOI: 10.1097/RLU.0000000000002305.
- [20] 牛娜, 崔瑞雪, 张颖, 等. 脑电监测在癫痫患者间期皮层和皮层下高代谢灶判读中的应用[J]. *协和医学杂志*, 2015, 6(1): 18-23. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9081.2015.01.004. Niu N, Cui RX, Zhang Y, et al. Video-electroencephalography applied in interpretation of cortical and subcortical hypermetabolic foci in interictal ¹⁸F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography imaging in patients with epilepsy[J]. *Med J Peking Union Med Coll Hosp*, 2015, 6(1): 18-23. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9081.2015.01.004.
- [21] Popescu CE, Mai R, Sara R, et al. The role of FDG-PET in patients with epilepsy related to periventricular nodular heterotopias: diagnostic features and long-term outcome [J]. *J Neuroimaging*, 2019, 29(4): 512-520. DOI: 10.1111/jon.12620.
- [22] Jeong JW, Asano E, Kumar Pilli V, et al. Objective 3D surface evaluation of intracranial electrophysiologic correlates of cerebral glucose metabolic abnormalities in children with focal epilepsy [J]. *Hum Brain Mapp*, 2017, 38(6): 3098-3112. DOI: 10.1002/hbm.23577.
- [23] Courtney MR, Antonic-Baker A, Chen Z, et al. Association of localizing ¹⁸F-FDG-PET hypometabolism and outcome following epilepsy surgery: systematic review and meta-analysis [J]. *Neurology*, 2024, 102(9): e209304. DOI: 10.1212/WNL.0000000000209304.
- [24] Chassoux F, Artiges E, Semah F, et al. ¹⁸F-FDG-PET patterns of surgical success and failure in mesial temporal lobe epilepsy [J]. *Neurology*, 2017, 88(11): 1045-1053. DOI: 10.1212/WNL.0000000000003714.

- [25] Newberg AB, Alavi A, Berlin J, et al. Ipsilateral and contralateral thalamic hypometabolism as a predictor of outcome after temporal lobectomy for seizures[J]. J Nucl Med, 2000, 41(12): 1964-1968.
- [26] 青浩渺, 崔瑞雪, 窦万臣, 等. 颞叶癫痫患者术前颞叶外低代谢与手术疗效的相关性分析[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2015, 35(1): 18-21. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.01.005.
Qing HM, Cui RX, Dou WC, et al. Correlation between extratemporal hypometabolism and the outcome of temporal lobectomy in patients with temporal lobe epilepsy[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 35(1): 18-21. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.01.005.
- [27] Guo K, Wang J, Cui B, et al. [¹⁸F]FDG PET/MRI and magnetoencephalography may improve presurgical localization of temporal lobe epilepsy[J]. Eur Radiol, 2022, 32(5): 3024-3034. DOI: 10.1007/s00330-021-08336-4.
- [28] Borbély K, Emri M, Kenessey I, et al. PET/MRI in the presurgical evaluation of patients with epilepsy: a concordance analysis[J]. Biomedicines, 2022, 10(5): 949. DOI:10.3390/biomedicines10050949.
- [29] Mayoral M, Marti-Fuster B, Carreño M, et al. Seizure-onset zone localization by statistical parametric mapping in visually normal ¹⁸F-FDG PET studies[J]. Epilepsia, 2016, 57(8): 1236-1244. DOI: 10.1111/epi.13427.
- [30] Zhou H, Zhang W, Tan Z, et al. Localizing epileptic foci before surgery in patients with MRI-negative refractory epilepsy using statistical parameter mapping and three-dimensional stereotactic surface projection based on ¹⁸F-FDG PET[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2021, 9: 810890. DOI:10.3389/fbioe.2021.810890.
- [31] Turpin S, Martineau P, Levasseur MA, et al. Modeling the effects of age and sex on normal pediatric brain metabolism using ¹⁸F-FDG PET/CT[J]. J Nucl Med, 2018, 59(7): 1118-1124. DOI:10.2967/jnumed.117.201889.
- [32] De Blasi B, Barnes A, Galazzo IB, et al. Age-specific ¹⁸F-FDG image processing pipelines and analysis are essential for individual mapping of seizure foci in pediatric patients with intractable epilepsy[J]. J Nucl Med, 2018, 59(10): 1590-1596. DOI:10.2967/jnumed.117.203950.
- [33] 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.
- [34] Beheshti I, Sone D, Maikusa N, et al. Pattern analysis of glucose metabolic brain data for lateralization of MRI-negative temporal lobe epilepsy[J]. Epilepsy Res, 2020, 167: 106474. DOI:10.1016/j.epilepsyres.2020.106474.
- [35] Tan YL, Kim H, Lee S, et al. Quantitative surface analysis of combined MRI and PET enhances detection of focal cortical dysplasias[J]. Neuroimage, 2018, 166: 10-18. DOI:10.1016/j.neuroimage.2017.10.065.
- [36] Zhang Q, Liao Y, Wang X, et al. A deep learning framework for ¹⁸F-FDG PET imaging diagnosis in pediatric patients with temporal lobe epilepsy[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 48(8): 2476-2485. DOI:10.1007/s00259-020-05108-y.

(收稿日期:2025-03-31)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

关于论著文稿中中、英文摘要的书写要求

摘要内容应结构严谨,语义确切,表达简明,高度概括;具有独立性和自明性;着重反映研究中的创新内容和作者的独到观点;不必列出本学科已成为常识的内容;不要简单地重复题名中已有的信息。(1)原创性研究、系统综述和 Meta 分析应提供摘要,一般写成包含“目的(Objective)”“方法(Methods)”“结果(Results)”“结论(Conclusions)”的结构式摘要。“目的”陈述所做研究工作的主要目的和研究范围,应与题名内容对应。“方法”陈述研究设计类型、研究对象来源(时间、地点)、收集方法和标准、分组情况及标准(随机试验要说明具体的随机方法)等,明确说明研究的干预措施、具体观察指标,采用的主要统计学方法等;对于动物实验研究,可介绍实验动物的微生物学等级、品种、品系、雌雄、年龄、数量等。“结果”陈述研究的主要结果,列出与目的、方法、结论相对应的主要数据(表达相对数时应同时给出具体的绝对数)、统计学处理结果(尽量给出具体的统计量值和 P 值;确需用不等式表达 P 值时,选用 $P>0.05$ 、 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 或 $P<0.001$)等。“结论”陈述研究的主要结论,须有结果支持,不空泛夸大,应与研究目的相呼应。(2)综述应提供指示性中英文摘要(100~200字)。(3)中文摘要应使用规范化名词术语,非公知公认缩略语、代号首次出现时,应注明全称或加以说明。一般采用第三人称写法。不列图表,不引用文献,不加评论和解释,不能含有论文中没有的结论或信息。(4)英文摘要应与中文摘要内容原则上相对应,但考虑到国外读者的需要,可更详细。结果项内容可适当扩充,但不能含有正文中没有的结论或信息。阿拉伯数字不能放在句首。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。

敬请广大读者、作者周知,并遵照此要求投稿。

本刊编辑部