

· 标准与规范 ·

# 难治性癫痫一体化 PET/MRI 脑成像临床应用指南(2026 版)

中国医学影像技术研究会 中华医学会放射学分会 中华医学会核医学分会  
北京医学会核医学分会 北京医学会放射学分会

通信作者: 卢洁, 首都医科大学宣武医院放射与核医学科, 北京 100053, Email: imaginglu@hotmail.com; 杨志, 北京大学肿瘤医院核医学科, 北京 100142, Email: pekyz@163.com; 石洪成, 复旦大学附属中山医院核医学科, 上海 200032, Email: shi.hongcheng@zs-hospital.sh.cn; 陈敏, 北京医院放射科, 北京 100730, Email: cjr.chenmin@vip.163.com

**【摘要】** 为进一步规范我国难治性癫痫一体化 PET/MRI 脑成像的临床应用, 提升个体化精准诊疗水平、促进规范化管理并为影像相关专业人员与临床医师提供循证与共识建议, 由中国医学影像技术研究会、中华医学会放射学分会、中华医学会核医学分会、北京医学会核医学分会、北京医学会放射学分会联合组织, 集结核医学科、放射科、神经内科等多学科专家, 经多轮会议制订了本指南。癫痫是神经系统第二大慢性疾病, 难治性癫痫术前致痫灶的精准定位是临床亟待解决的关键难题。一体化 PET/MRI 检查可一站式同步获取脑代谢、精细解剖结构及功能信息, 显著提高致痫灶检出率, 并精确定位重要脑功能区。随着一体化 PET/MRI 设备在我国逐步普及, 其临床推广仍面临适应证选择、检查流程统一、图像质量控制、影像判读一致性及报告规范等问题。本指南以我国现有一体化 PET/MRI 设备与显像剂的可及性为前提, 以国内外最新循证证据为依据, 紧密结合中国临床实践现状, 围绕适应证建议、检查与质控流程、图像判读要点及报告规范等关键环节提出推荐意见, 旨在为难治性癫痫相关影像与临床专业人员提供系统、实用的循证指导。

**【关键词】** 癫痫; 难治性癫痫; 一体化 PET/MRI; 多模态脑成像; 应用

**基金项目:** 国家重点研发计划(2022YFC2406904)

**实践指南注册:** 国际实践指南注册与透明化平台(PREPARE-2025CN1569)

## Clinical practice guideline for integrated PET/MRI in refractory epilepsy(2026 edition)

Chinese Society of Medical Imaging Technology; Chinese Society of Radiology; Chinese Society of Nuclear Medicine; Beijing Society of Nuclear Medicine; Beijing Society of Radiology

Corresponding authors: Lu Jie, Department of Radiology and Nuclear Medicine, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China, Email: imaginglu@hotmail.com; Yang Zhi, Department of Nuclear Medicine, Peking University Cancer Hospital and Institute, Beijing 100142, China, Email: pekyz@163.com; Shi Hongcheng, Department of Nuclear Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China, Email: shi.hongcheng@zs-hospital.sh.cn; Chen Min, Department of Radiology, Beijing Hospital, Beijing 100730, China, Email: cjr.chenmin@vip.163.com

**【Abstract】** To further standardize the clinical use of integrated PET/MRI brain imaging for refractory epilepsy in China, improve the level of individualized precision diagnosis and treatment,

DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20251222-03387

收稿日期 2025-12-22 本文编辑 梁明修

引用本文: 中国医学影像技术研究会, 中华医学会放射学分会, 中华医学会核医学分会, 等. 难治性癫痫一体化 PET/MRI 脑成像临床应用指南(2026 版)[J]. 中华医学杂志, 2026, 106(18): 1807-1820. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20251222-03387.



中华医学会杂志社  
Chinese Medical Association Publishing House

版权所有 违者必究



promote standardized management, and provide evidence-based and consensus recommendations for clinicians and imaging professionals, experts in nuclear medicine, radiology, neurology, and related fields developed this guideline through a consensus process informed by the available research evidence and clinical practice. Epilepsy is one of the most common chronic neurological disorders, and accurate preoperative localization of the epileptogenic zone in patients with refractory epilepsy remains a major clinical challenge. Integrated PET/MRI enables simultaneous, one-stop acquisition of multidimensional information, including cerebral metabolism, high-resolution anatomical detail, and functional features, and can be used for epileptogenic focus localization, surgical planning, and assessment of important functional regions, making it an important imaging tool for precision care in refractory epilepsy. As integrated PET/MRI systems become increasingly available in China, broader clinical implementation continues to face challenges, including appropriate patient selection and indications, standardization of scanning workflows, image quality control, consistency in image interpretation, and reporting standards. With a focus on clinical feasibility, this guideline provides recommendations across key domains, including indications, examination and quality-control procedures, image interpretation, and standardized reporting, to promote the standardized use of integrated PET/MRI in the care of refractory epilepsy and advance related clinical translation.

**【Key words】** Epilepsy; Refractory epilepsy; Integrated PET/MRI; Multimodal brain imaging; Applications

**Fund program:** National Key Research and Development Program of China (2022YFC2406904)

**Practice guideline registration:** Practice Guideline Registration for Transparency (PREPARE-2025CN1569)

癫痫是由大脑神经元异常放电引起的反复发作性脑功能异常,为中枢神经系统最常见的慢性疾病之一<sup>[1]</sup>,全球患病率约 0.7%<sup>[2]</sup>,我国患者超过 1 000 万<sup>[3]</sup>。约 30% 的癫痫患者在充分、足量使用两种抗癫痫药物后,未能达到持续无发作状态(无发作时间至少为既往最长两次发作间隔的 3 倍或 $\geq$  12 个月),称为药物难治性癫痫<sup>[4]</sup>。外科手术是治疗药物难治性癫痫的重要手段<sup>[5]</sup>,精准定位致痫区、避免损伤重要脑功能区是确保手术疗效的关键<sup>[6-7]</sup>,常规术前评估体系以临床病史与症状学分析、视频头皮脑电监测和高分辨率结构 MRI 为核心<sup>[8-9]</sup>。MRI 结构像可提供精细解剖信息,特定癫痫扫描序列可识别细微的结构异常,但仍有约 30% 的患者未发现可解释癫痫发作的结构性致痫病灶,称为 MRI 阴性癫痫,需辅以其他影像学检查或侵入性评估手段方能准确定位致痫灶<sup>[10-11]</sup>。PET 可通过不同类别显像剂反映脑代谢、神经炎症及功能性改变,与 MRI 结构信息互补,有助于提高致痫灶检出率。然而,因采集时序不一致、患者体位变化、发作状态、运动伪影等因素影响,可能导致 MRI 与 PET 图像错配,使病灶定位及边界判断出现偏差,降低致痫灶定位准确性。

PET/CT 虽可实现解剖与功能的初步融合,但 CT 软组织分辨率受限且存在额外电离辐射。异机融合技术亦存在后处理配准误差。一体化

PET/MRI 为解决上述难题提供了全新方案,将高分辨率 MRI 结构像、功能像与多种显像剂结合,可同步反映脑结构、功能及代谢状态,进一步提高致痫区定位的准确性<sup>[12]</sup>。研究显示,相较于传统检查方式,一体化 PET/MRI 可将致痫灶检出率从 46.9% 提升至 90.1%<sup>[13-14]</sup>。当前,难治性癫痫患者一体化 PET/MRI 的临床应用仍面临挑战。首先,缺乏规范的扫描前准备和扫描工作流程,这影响了检查结果的准确性和一致性。其次,尚缺乏系统的图像判读及后处理应用说明,限制了其在临床实践中的效能最大化。为此,国内相关领域专家经多次讨论制订本指南,旨在规范我国难治性癫痫患者一体化 PET/MRI 显像的扫描操作流程及影像解读,供各级医疗机构开展相关检查时参考。

## 第一部分 指南编写方法

### 一、指南制订过程

本指南由中国医学影像技术研究会、中华医学会放射学分会、中华医学会核医学分会、北京医学会核医学分会、北京医学会放射学分会牵头组建了难治性癫痫一体化 PET/MRI 脑成像临床应用指南写作组,由 20 余名专家共同撰写。指南设计与制订步骤依据 2015 年《世界卫生组织指南制订手册》<sup>[15]</sup>以及 2022 年中华医学会发布的《中国制订/修



订临床诊疗指南的指导原则》<sup>[16]</sup>。本指南的报告和撰写参考临床指南研究与评估系统 II (appraisal of guidelines, research and evaluation II, AGREE II)<sup>[17]</sup>和国际实践指南报告规范(reporting items for practice guidelines in healthcare, RIGHT)<sup>[18]</sup>。通过系统文献检索、证据质量评价,结合临床医学实践,于 2025 年 1 月启动撰写工作,经过 4 轮专家共识会议讨论后,制订本指南。第一轮专家会议讨论确定临床问题,第二轮会议组织专家对指南初稿进行讨论及修改,第三轮会议对推荐意见进行投票,确定推荐强度,第四轮会议对指南进行修改定稿。

## 二、指南注册

本指南已在国际实践指南注册与透明化平台(<http://www.guidelines-registry.cn>)进行注册(注册号:PREPARE-2025CN1569)。

## 三、指南工作组

本指南由中国医学影像技术研究会、中华医学学会放射学分会、中华医学会核医学分会、北京医学会核医学分会、北京医学会放射学分会牵头并组织核医学、放射医学、神经病学、循证医学以及相关评估工具等领域的专家对难治性癫痫患者一体化 PET/MRI 显像临床应用相关问题进行系统评价和研究。工作组成员按照主要职能划分为:执笔专家组、统稿专家组和指南制订专家组。

## 四、利益冲突声明

本指南工作组成员均填写了利益冲突声明表,不存在与本指南撰写内容直接相关的利益冲突。

## 五、指南使用者与目标人群

本指南供国内核医学科、放射科、神经内科、神经外科及其他与癫痫诊疗和管理相关学科的专业人员使用。指南推荐意见的应用目标人群为难治性癫痫患者。

## 六、证据检索及筛选

指南制订过程中,检索的中英文数据库包括 PubMed、Embase、Web of Science、Cochrane Library、知网、万方数据知识服务平台和维普数据库。纳入文献类型包括原创研究、系统评价、荟萃分析、专家共识/指南等,研究对象为难治性癫痫患者;排除缺乏同行评议的会议摘要或评论类文章,以及仅涉及影像设备性能或方法学改进的文章。检索时限截止至 2025 年 9 月。指南制订过程中广泛征询国内专家意见,采用改良德尔菲法,经多次投票并集体讨论的方式,由首都医科大学宣武医院放射与核医学科成立指南起草小组进行起草和修订,制订了此

指南。

## 七、证据质量评价

证据评价与分级小组使用评估系统评价偏倚风险评价工具(assessment of multiple systematic reviews, AMSTAR)<sup>[19]</sup>对纳入的系统评价/荟萃分析进行方法学质量评价,使用 Cochrane 偏倚风险评价工具(risk of bias, ROB, 针对随机对照试验)<sup>[20]</sup>、诊断准确性研究的质量评价工具(quality assessment of diagnostic accuracy studies-2, QUADAS-2, 针对诊断准确性研究)<sup>[21]</sup>、纽卡斯尔-渥太华文献质量评价量表(newcastle-ottawa scale, NOS, 针对队列研究和病例-对照研究)<sup>[22]</sup>对相应类型的原始研究进行方法学质量评价。评价过程由 4 名证据评价组成员两两一组独立完成并交叉核对,如遇分歧通过讨论或咨询第三方解决。

## 八、证据和推荐意见分级

本指南采用 2009 版牛津大学循证医学中心(Oxford Centre for Evidence-based Medicine, OCEBM)<sup>[23]</sup>的证据分级与推荐强度标准对证据质量和推荐强度进行分级,见表 1。

表 1 2009 版 OCEBM 证据分级与推荐等级标准

证据等级	证据来源	推荐强度
I a	基于多个 RCT 的系统评价或荟萃分析(同质性高)	A
I b	单个设计严谨的大样本 RCT(可信区间窄)	A
I c	“全或无”病例系列(干预后结果完全改变或无改变)	A
II a	基于队列研究的系统评价	B
II b	单项队列研究或质量较差的 RCT	B
III a	病例对照研究的系统评价	B
III b	单个病例对照研究	B
IV	病例系列报告	C
V	专家意见、描述性研究、基础实验研究	D

注:OCEBM 为牛津大学循证医学中心;RCT 为随机对照试验

## 九、推荐意见形成

指南专家组基于证据评价与分级小组提供的癫痫诊断相关国内外循证医学证据,干预措施的成本、利弊和可行性等,通过讨论形成初步的推荐意见。经过 3 轮德尔菲法和 2 轮面对面专家组会,对推荐意见达成共识,最终形成 6 条推荐意见。

## 十、指南的撰写和外审

执笔人撰写各部分初稿,后提交至统稿专家组进行整合和审阅。根据统稿专家组的反馈意见,执笔人对初稿进行修改,最后由指南制订专家组讨论批准指南的发布。



## 十一、指南更新

指南工作组计划定期对本指南进行更新。更新方法按照国际指南更新流程进行。

## 十二、传播与实施

指南发布后,指南工作组将主要通过以下方式对指南进行传播与推广:(1)在相关学术期刊发表;同期编写指南精简版及详细解读手册;(2)在国内不同区域、不同学科组织指南推广专场,确保临床医师充分了解并正确应用本指南;(3)通过微信、网络和其他媒体进行推广。本指南推荐内容的主要特点:提出难治性癫痫患者一体化 PET/MRI 检查及诊断流程标准化范式。

## 第二部分 一体化 PET/MRI 检查方案

### 一、临床适应证与禁忌证

#### (一)适应证

1. 难治性癫痫患者术前致痫灶的定位:常规结构 MRI 阴性,或 MRI 与脑电图(electroencephalography, EEG)定位不一致者。

2. 难治性癫痫患者术前致痫灶的界定:联合电生理明确致痫灶范围与边界,评估其与优势脑功能区重合度,辅助切除或消融手术方法制定。

3. 难治性癫痫患者病因诊断辅助:区分多灶患者各病灶性质,优化个体化治疗方案。

#### (二)禁忌证

1. 绝对禁忌证:存在 MRI 不兼容的有源植入/装置或金属异物(如脑深部电刺激术的植入式脉冲发生器、心脏起搏器/除颤器、人工耳蜗等)且未被明确标注为 MRI 适用或 MRI 安全(经批准支持 3.0 T 的兼容装置除外但需严格按使用说明执行)。

2. 相对禁忌证:体内金属植入物(钢钉、钢板、人工关节、动脉瘤夹、冠状动脉支架等)需由手术医师或根据产品说明书确认 MRI 安全等级后方可检查;幽闭恐惧或难以配合者,可在充分宣教与必要镇静下实施,并在报告中注明;可摘义齿或活动金属修复体,检查前需去除;对于<sup>18</sup>氟-氟代脱氧葡萄糖(<sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose, <sup>18</sup>F-FDG) PET/MRI 检查,合并糖尿病且血糖控制不佳者(如 $\geq 11.1$  mmol/L),应先将血糖调至达标后再行检查。

**推荐意见 1:**对于癫痫致痫灶的定位与评估,特别是常规结构 MRI 阴性但临床高度怀疑局灶性癫痫的患者,推荐采用一体化 PET/MRI 检查(Ⅱb 级证据, A 级推荐)。对于影像学提示多病灶的患者,

建议应用一体化 PET/MRI 同步获取全脑精细解剖结构与代谢等功能信息,以综合评估各病灶特征、定位优先级及其相互关联(Ⅱb 级证据, B 级推荐)。

## 二、PET 显像剂

癫痫发病机制复杂多元,除脑结构异常外,还涉及神经递质紊乱、受体功能失衡与神经炎症等多个环节。不同靶向 PET 显像剂可从代谢、受体及炎症等不同维度提供互补信息。近年来,随着面向代谢通路、神经递质受体与炎症因子的分子探针不断发展,癫痫 PET 显像已由单一代谢评估模式拓展为多通路、多靶点的综合成像体系<sup>[24]</sup>。在临床实践中,<sup>18</sup>F-FDG、<sup>11</sup>C/<sup>18</sup>F-氟马西尼(<sup>11</sup>C/<sup>18</sup>F-flumazenil, <sup>11</sup>C/<sup>18</sup>F-FMZ)、<sup>11</sup>C- $\alpha$ -甲基色氨酸(<sup>11</sup>C-alpha-methyltryptophan, <sup>11</sup>C-AMT)、18 kDa 转位蛋白(translocator protein, TSPO)等显像剂分别用于评估脑葡萄糖代谢、 $\gamma$ -氨基丁酸 A 型( $\gamma$ -aminobutyric acid<sub>A</sub>, GABA<sub>A</sub>)受体、色氨酸代谢及神经炎症,协助完善致痫灶定位与术前评估。下文将对目前用于临床评估的 PET 显像剂(表 2)作简要概述,并重点介绍临床最常用的一体化<sup>18</sup>F-FDG PET/MRI 检查前准备要点。

### (一)葡萄糖代谢显像剂

<sup>18</sup>F-FDG 反映脑葡萄糖代谢水平,是癫痫评估中应用最广泛的显像剂<sup>[25]</sup>。<sup>18</sup>F-FDG 是葡萄糖类似物,可评估大脑葡萄糖代谢情况,反映神经元功能,致痫区常存在皮层萎缩、神经元减少,发作间期<sup>18</sup>F-FDG PET 呈局灶性葡萄糖代谢降低,在致痫灶定位中具有重要价值<sup>[26]</sup>。对颞叶癫痫定位的灵敏度为 85%~90%,颞叶外定位灵敏度为 38%~55%<sup>[27-28]</sup>。

### (二)其他显像剂

癫痫发作机制复杂,现有针对代谢通路、神经受体及氨基酸代谢的多类特异性靶向显像剂<sup>[29]</sup>。苯二氮草类受体显像剂<sup>11</sup>C/<sup>18</sup>F-FMZ 可特异性结合 GABA<sub>A</sub>受体复合体的苯二氮草结合位点,致痫区结合位点降低<sup>[30-31]</sup>,反映致痫区 GABA 能中间神经元丢失和突触减少,对内侧颞叶癫痫伴海马硬化尤为适用,与<sup>18</sup>F-FDG 相比,皮层代谢减低范围更局限,海马显影更佳<sup>[32-33]</sup>。<sup>11</sup>C-AMT PET 显像通过反映色氨酸代谢识别致痫灶,发作间期可见放射性摄取增高且不受近期发作影响,有助于结节性硬化相关致痫灶的识别,特异度可达 100%<sup>[34-35]</sup>。神经炎症是癫痫发病的重要环节,炎症相关 PET 显像剂可无创

评估脑内炎症水平<sup>[36-37]</sup>, TSPO PET<sup>[38-39]</sup> 在 Rasmussen 脑炎、伴胶质瘤的颞叶癫痫、自身免疫性癫痫等特殊类型中表现更为突出,在自身免疫性脑炎患者的治疗随访评估中展现巨大潜力<sup>[40]</sup>,但需注意部分靶向 TSPO 的显像剂亲和力仍受基因型限制。

表 2 癫痫 PET 脑显像剂类型、显像剂及显像方法

项目	注射剂量 (MBq)	注射后开始采集时间 (min)	显像时长 (min)
葡萄糖代谢			
<sup>18</sup> F-FDG	37/kg	40~60	10~20
γ-氨基丁酸			
<sup>11</sup> C-FMZ	370~740	20~30	20~30
<sup>18</sup> F-FMZ	185~370	30~40	20~30
色氨酸			
<sup>11</sup> C-AMT	370~740	40~60	20~30
炎性介质			
<sup>11</sup> C-PK11195	370~740	20~30	20~30
<sup>18</sup> F-DPA-714	370~555	50~70	10~20

注:FDG 为氟代脱氧葡萄糖;FMZ 为氟马西尼;AMT 为 α-甲基色氨酸;PK11195 为 1-(2-氯苯基)-N-甲基-N-(1-甲基丙基)-3-异唑啉羧酰胺;DPA-714 为 N, N-二乙基-2-(2-(4-(2-氟乙氧基)苯基)-5, 7-二甲基吡唑并[1, 5-a]嘧啶-3-基)乙酰胺

**推荐意见 2:** 不同类型的癫痫常用 PET 显像剂选择建议见表 3, 包括各类显像剂的推荐强度与证据等级, 供临床参考。

### 三、一体化 <sup>18</sup>F-FDG PET/MRI 检查前准备

1. 接诊医师准备: (1) 确认有无一体化 PET/MRI 显像检查禁忌证; 详细采集患者癫痫发作史, 包括起病年龄、病程、发作特征及频率、诱发因素等, 并记录检查前末次癫痫发作时间; 核对申请单, 核对身份信息、检查目的和检查方案; 告知检查流程、注意事项、签署一体化 PET/MRI 显像检查知情同意书。同一患者纵向随访复查时需采用一致的标准化成像协议(机型/场强/注射及采集方案/重

建参数)以提升可比性。(2) 对于难以配合的未成年患者, 建议家属陪同安抚。必要时提前使用镇静剂(如 10% 水合氯醛)。在检查前半个小时内开始服用, 口服剂量和体重有关, 0.5 ml/(kg/次), 最大 10 ml。对于因发作频繁而无法有效配合者, 建议暂停本次检查并视病情另行安排。

2. 患者准备: (1) 患者检查前应禁食 6 h 以上, 禁食期间可以饮用不含糖的水, 检查前 1 d 禁酒, 禁止剧烈或长时间运动。糖尿病患者应控制血糖浓度在正常范围(11.1 mmol/L 以下)。患者应说明抗癫痫药物服用情况, 检查当日家属陪同。(2) 患者进入扫描区前更换检查服, 去除所有金属及磁性物品(如首饰、手表、发夹、助听器、活动义齿、银行卡等)。非 MRI 兼容的轮椅、担架/病床、氧气瓶、输液泵、监护设备等严禁进入扫描间。

3. 护理准备: (1) 核对申请单, 确认患者基本信息、检查目的和检查方案。检查前测量患者血糖及体重, 并建立静脉通路。(2) 显像剂注射: 根据体重计算 <sup>18</sup>F-FDG 注射剂量(表 2), 遵循“合理最低剂量”原则, 在确保影像质量的前提下, 尽量降低给药活度。未成年患者需严格控制显像剂使用活度, 具体注射剂量可参考欧洲核医学协会儿童专用剂量卡<sup>[41]</sup>及北美 2024 版基于体重的儿童显像剂给药指南的推荐执行<sup>[42]</sup>。(3) 显像剂注射后应使用生理盐水冲管, 去除显像剂残留, 保证显像剂注射剂量的准确性。记录注射时间、部位与注射活度。嘱患者于安静避光环境中静卧或半卧休息, 使用眼罩耳塞封闭视听效果更佳, 其间避免交谈、进食及肢体活动, 尽量放松肌肉, 候诊间温度维持在 24~26 °C。(4) 嘱患者在扫描过程中保持体位不变, 无法配合者可适当给予镇静处理, 并记录镇静药物、剂量及给药时间(相对于显像剂注射的时间)。(5) 关注患者状态, 明确显像剂注射后等候时间内患者有无癫痫发作, 并记录。

表 3 癫痫 PET 脑显像剂推荐强度、证据等级及临床价值

显像剂	主要靶点及机制	推荐强度	证据等级	主要价值
FDG	癫痫发作间期, 致痫灶葡萄糖代谢水平显著降低	A(常规选择)	I a	定位低代谢区, 间接推断致痫灶, 尤其用于 MRI 阴性癫痫
FMZ	GABA <sub>A</sub> 受体	A(选择性使用)	I b	反映 GABA <sub>A</sub> 受体结合降低, 用于精准定位和范围界定
AMT	色氨酸代谢通路	B(高度选择性使用)	II a	用于致病性与非致病性病变鉴别, 如结节性硬化症致痫结节
炎性介质	TSPO 靶向配体	B(高度选择性使用)	III b	评估致痫相关脑区的神经炎症状态

注:FDG 为氟代脱氧葡萄糖;FMZ 为氟马西尼;AMT 为 α-甲基色氨酸;GABA<sub>A</sub> 为 γ-氨基丁酸 A 型;TSPO 为 18kDa 转位蛋白

4. 特殊准备:脑电监测是一体化PET/MRI癫痫检查的重要辅助手段。针对癫痫频繁发作者或是曾做过<sup>18</sup>F-FDG PET显像提示存在难以解释的高代谢病灶患者,如配有相关设备条件及专业操作人员,建议在显像剂注射前2 h启动,并持续至注射后40~60 min的连续头皮脑电监测。以明确显像剂摄取期间的脑电活动状态(发作期、间期及亚临床发作期),从而解释显像剂摄取与癫痫活动的对应关系,提升图像判读的准确性与一致性。

**推荐意见3:**对于难以配合一体化PET/MRI检查的未成年患者,若经临床评估确需完成检查,可考虑水合氯醛镇静,检查前半小时给药,并在图像判读与报告中明确记录镇静药物名称、剂量及给药时间,便于医师权衡镇静药物对脑代谢等功能的潜在影响。(Ⅲa级证据,B级推荐)

#### 四、检查操作规范

##### (一)受检者摆位

指导受检者出现不适时使用报警装置;受检者佩戴耳塞、眼罩;使用头线圈或头颈联合线圈;受检者仰卧位,头先进,双手置于身体两侧,身体长轴与检查床长轴平行,肩部紧贴线圈,头部居中且不能旋转,三角垫固定头部;因儿童头颅较小,必要时可用软垫垫高枕后,尽可能使头颅中心与线圈中心一致,下颌内收;定位中心对准眉间或鼻根部,激光灯经过眼睛时必须闭眼。

##### (二)一体化PET/MRI扫描

通常PET和MRI进行同步扫描。根据临床实际需要可以先行PET和MRI常规序列的同步扫描,MRI高级成像序列依据患者配合度选择性进行。

1. PET扫描:1个床位,扫描范围包括全脑,自枕骨大孔扫描至颅顶部;床位中心线与颅脑中心位置一致。采集方式为静态采集;扫描方式为容积扫描,覆盖全脑(上下范围约25 cm);扫描时间8~10 min或与MRI扫描同步;视野25 cm×25 cm,矩阵192×192,迭代次数8,子集数32,半高宽3 mm。图像重建后处理:点扩散函数,时间飞行技术,z轴滤过标准模式,基于MRI的衰减校正,散射校正。

2. MRI扫描:(1)常规扫描序列:扫描范围包括全脑,自枕骨大孔至颅顶部,常规扫描方位包括横轴位、矢状位,必要时扫描冠状位。横轴位扫描平行于前连合-后连合连

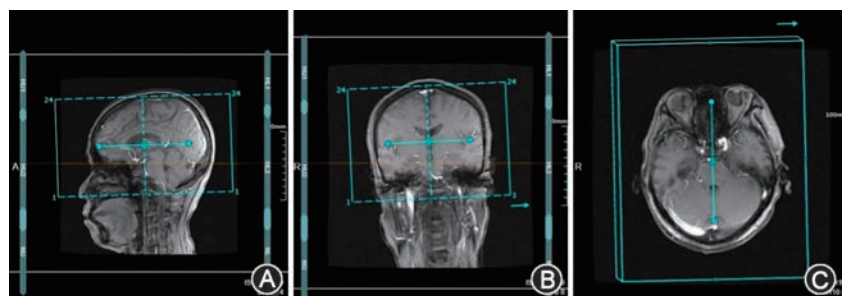
线,矢状位扫描平行于大脑纵裂,冠状位扫描以矢状位和轴位作为参考定位,在横轴位与大脑纵裂垂直,在矢状位上与脑干平行,扫描范围根据病变大小而定(图1)。

国际抗癫痫联盟于2019年提出癫痫结构序列标准化神经成像(harmonized neuroimaging of epilepsy structural sequences, HARNES-MRI)方案<sup>[43]</sup>,推荐至少包含:①三维T<sub>1</sub>加权磁化准备快速采集梯度回波序列(3D-T<sub>1</sub> magnetization-prepared rapid acquisition gradient-echo, 3D-T<sub>1</sub> MPRAGE);②三维液体衰减反转恢复序列(3D-fluid-attenuated inversion recovery, 3D-FLAIR);③垂直于海马长轴的冠状位T<sub>2</sub>加权成像(T<sub>2</sub>-weighted imaging, T<sub>2</sub>WI)。具体参数见表4。

(2)高级成像序列:高级成像序列包括:①磁敏感加权成像(susceptibility-weighted imaging, SWI),对脑内微小含铁、含钙病灶高度敏感,能够检测识别常规结构MRI难以发现的微出血灶和钙化灶;②动脉自旋标记成像(arterial spin labeling imaging, ASL),可精准量化并可视化显示癫痫患者全脑及局部脑区的灌注变化;③扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI),评估白质连接异常;④血氧水平依赖功能磁共振成像(blood oxygen level dependent functional magnetic resonance imaging, BOLD-fMRI),可无创评估静息状态下脑功能连接与网络活动特征。扫描流程顺序详见表5和6。

扫描过程中应持续评估MRI及PET图像质量;若出现影响关键脑区判读的明显伪影(如运动、金属伪影)以及重建或配准错误等,应根据原因调整参数或重新采集。

**推荐意见4:**癫痫MRI序列推荐使用各向同性等体素三维容积扫描方式。体素要求至少<1.5 mm,推荐1 mm,包括3D-T<sub>1</sub>WI和3D-FLAIR序



注:T<sub>2</sub>WI为T<sub>2</sub>加权成像;蓝框为扫描范围

图1 海马斜冠状位T<sub>2</sub>WI定位像 A~C依次为矢状面、冠状面、横轴面定位像

列。其中  $T_1$ WI 评估脑结构,以加反转恢复的三维序列为主,可增加灰白质对比度。3D-FLAIR 序列建议冠状位重建以观察海马结构,辅助诊断内侧颞叶硬化。(II a 级证据, B 级推荐)

### 第三部分 一体化 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/MRI 图像分析与判读

首先检查数据完整性,确认从一体化 PET/MRI 扫描仪传输的原始数据完整无误。核对患者信息、扫描日期时间、注射剂量、注射时间、体重、血糖水平等关键信息。在工作站上选择 PET 图像及  $T_1$ 加权成像 ( $T_1$ -weighted imaging,  $T_1$ WI) 序列进行图像融合,以前连合-后连合线为基准进行体位纠正。视觉评估  $^{18}\text{F}$ -FDG PET 图并进行相应的伪色彩调整。根据视觉评估结果勾画相应脑区感兴趣区 (region of interest, ROI), 测量各脑区的平均标准化摄取值比值 (mean standardized uptake value ratio, SUVr), 计算  $^{18}\text{F}$ -FDG PET 代谢异常部位较对侧正常部位的减低率。

#### 一、视觉评价图像质量

核对图像基本信息是否正确,包括患者姓名、性别, MRI 序列及 PET 显像剂是否与临床申请单一致。评估 MRI 及 PET 图像是否存在影响判读的严重伪影 (如运动、金属伪影、重建或配准错误等)。判断 PET 图像生理性放射性分布是否正常,尽量排

除设备故障、用药或患者状态异常等因素导致的非病理性分布或伪影,避免误判为病变。

#### 二、MRI 图像分析

图像判读应遵循先视觉分析、后半定量分析、综合评估的原则。最终影像结论应结合临床资料和 EEG 等信息,当图像异常区与临床症状定位、EEG 提示的异常放电区在解剖分布上一致时,可作为疑似致痫区的重要影像依据,并在报告中予以明确说明。

##### (一) 视觉评估

MRI 视觉分析重点关注以下结构和征象。

1. 颞叶及海马区:评估海马体积是否减小、内部结构是否消失,  $T_1$ WI 信号减低、 $T_2$ WI/FLAIR 信号增高,以及同侧乳头体、穹隆和颞叶体积减小等典型海马硬化表现。注意辨别海马旋转异常、颞极脑膜膨出等易被忽略的病变。

2. 大脑皮层及皮层下白质:系统检查额叶、顶叶、颞叶、枕叶皮层是否存在局灶性皮层增厚、灰白质界面模糊、皮层或皮层下  $T_2$ WI/FLAIR 轻度高信号、白质穿通征等局灶性皮层发育不良 (focal cortical dysplasia, FCD) 特征,注意脑沟底部和海马旁区等易遗漏部位。

3. 其他结构异常:包括灰质异位、低级别肿瘤、血管畸形、脑炎后改变、外伤或缺血后软化灶等,与临床及脑电图定位相对照,判断其是否可能为致痫相关病变。可遵循 HIPPO-SAGE<sup>[44]</sup> 结构化的阅片

表 4 HARNESS 扫描序列及其参数

序列参数	3D- $T_1$ MPRAGE	3D-FLAIR	2D- $T_2$ WI
方位	矢状位	矢状位	冠状位
重复时间 (ms)	2 300	5 000	10 810
回波时间 (ms)	2.98	386	81
反转时间 (ms)	900	1 800	不适用
涡轮因子 (回波链长度)	不适用	155	17
反转角 (°)	9	可变翻转角	119
视野 (mm)	256	256	203
矩阵	256×256	256×256	512×512
激励次数 (NEX)	1	1	1
层数	176	176	60
层厚 (mm)	1 (无间隙)	1 (无间隙)	2 (无间隙)
体素大小 (mm)	1×1×1	1×1×1	0.4×0.4×2.0
带宽 (Hz/px)	240	781	222
并行采集技术因子	2	2	关闭
并行采集技术模式	广义自动校准部分并行采集	广义自动校准部分并行采集	不适用

注: HARNESS 为癫痫结构序列标准化神经成像; 3D- $T_1$  MPRAGE 为三维  $T_1$  加权磁化准备快速采集梯度回波序列; 3D-FLAIR 为三维液体衰减反转恢复序列; 2D- $T_2$ WI 为二维  $T_2$  加权成像

表 5 一体化 PET/MRI 颅脑扫描机型、基本序列及参数

MRI 序列及机型	序列名称	TE(ms)	TR(ms)	层厚(mm)	层间距(mm)	FOV(cm)	矩阵
三维平面定位							
Signa	3-pl Loc	80	950	8	4	30.0×30.0	38×160
Biograph	-	-	-	-	-	-	-
uPMRI790	gre_scout	4.07	8.6	8	1.6	26.0×26.0	256×256
基于 MRI 图像衰减校准							
Signa	MRIAC	1.7	4	5.2	-2.6	50.0×38.0	256×128
Biograph	-	-	-	-	-	-	-
uPMRI790	t1_wfi3d	2.24	4.92	4	0	35.0×50.0	256×135
横轴位 T <sub>2</sub> WI							
Signa	Ax T2 FSE	102	6 278	3	1	24.0×24.0	288×288
Biograph	T2_tra_tse	91	5 000	5	1	24.0×24.0	288×384
uPMRI790	t2_fse_tra	104.04	5 181	5	1	25.6×20.0	384×300
横轴位 T <sub>1</sub> FLAIR							
Signa	Ax T1 FLAIR	24	3 454	3	1	24.0×24.0	288×288
Biograph	T1_tra_flair	13	2 000	5	1	24.0×24.0	256×256
uPMRI790	t1_fse_flair_tra	12.04	2 264	5	1	25.6×20.0	256×160
横轴位脂肪抑制 T <sub>2</sub> FLAIR							
Signa	Ax T2 FLAIR FS	145	11 000	3	1	24.0×24.0	256×256
Biograph	T2_tra_flair_trim	94	9 000	5	1	24.0×24.0	256×256
uPMRI790	t2_fse_flair_tra_fs	105.36	8 000	5.0	1	25.6×20.0	384×240
横轴位扩散加权成像							
Signa	Ax DWI b=1 000	74.6	6 225	3	1	24.0×24.0	128×128
Biograph	DWI b=1 000	85	5 900	5	1	24.0×24.0	146×146
uPMRI790	epi_dwi_tra	82.3	2 103	5	1	25.6×22.0	240×207
全脑三维 T <sub>1</sub> 扫描							
Signa	Sag 3D BRAVO	3.2	6.9	1	0	25.6×25.6	256×256
Biograph	Sag 3D MPRAGE	2.36	1 900	1	0	25.0×25.0	256×256
uPMRI790	t1_gre_fsp_3d_sag	3.0	7.2	1	0	25.6×23.0	256×460

注:TE为回波时间;TR为重复时间;FOV为视野;T<sub>2</sub>WI为T<sub>2</sub>加权成像;FLAIR为液体衰减反转恢复序列

原则:H:海马结构;I:内耳结构用于判断海马方位;P:脑表面结构;P:侧脑室旁结构;O:明显的病变;S:脑沟形态异常;A:脑萎缩评估;G:灰质增厚;E:前颞叶膨出。

(二)半定量评估

在标准空间下,将患者 MRI 结构像配准至标准化脑模板,采用以基于体素的形态学测量(voxel-based morphometry, VBM)和基于表面的形态学测量(surface-based morphometry, SBM)等半定量方法,生成体素级灰质体积/表面级皮层厚度的参数图,与年龄、性别匹配的健康对照图像进行对比,得到 Z 评分或概率图,客观显示脑结构异常的范围及显著性,与视觉阅片结果进行交叉验证。该方法在 MRI 视觉评估阴性的 FCD 和海马硬化等难治性癫痫患者中,可辅助识别隐匿的脑结构改变或细微皮层形态异常,以提升致痫灶检出率。

三、PET 图像分析

(一)视觉评估

PET 视觉分析应遵循 EANM<sup>[24]</sup>及 SNMMI<sup>[45]</sup>等指南的共识,系统评估全脑各叶及深部核团,以双侧对称性为主要判断标准。主要步骤包括:(1)整体印象与生理摄取模式:在标准化色标和固定窗宽窗位下,先观察整个大脑皮层及深部核团的总体代谢分布,确认灰质摄取是否均匀、是否存在一侧半球或全脑弥漫性变化,排除明显衰减校正错误、静脉残留、头皮活动等伪影。(2)识别局灶性代谢异常:浏览轴位、冠状位及矢状位,重点比较双侧颞叶、额叶、顶叶、扣带回、岛叶和丘脑等区域的代谢对称性,寻找局灶或脑叶级别的葡萄糖代谢减低或增高区域。对于发作间期检查,典型表现为致痫半球局灶性或区域性低代谢,可呈现不同程度的向外扩展或网络相关的远隔低代谢。(3)发作状态与模

表 6 一体化 PET/MRI 颅脑扫描机型、高级序列及参数

MRI 序列及机型	序列名称	TE(ms)	TR(ms)	层厚(mm)	层间距(mm)	FOV(cm)	矩阵
静息态脑功能成像							
Signa	REST BOLD	30	2 000	4	1	22.4×22.4	64×64
Biograph	REST BOLD	30	3 000	3	1	22.0×22.0	64×64
uPMRI790	epi_bold_tra	30	2 000	3.5	0.7	22.4×22.4	64×64
扩散张量成像(DTI)							
Signa	DTI	97	16 500	2	0	22.4×22.4	112×112
Biograph	DTI	95	3 600	4	0	22.0×22.0	128×128
uPMRI790	epi_dti_tra_dir64	84	8 461	3.5	0	22.4×22.4	112×112
磁敏感加权成像(SWI)							
Signa	3D SWAN	45	84.4	2	0	24.0×24.0	384×320
Biograph	3D SWI	20	26	1.2	0	24.0×24.0	256×320
uPMRI790	swiplus_6echos	2.8	29	2.0	0	25.6×25.6	256×255
全脑三维动脉自旋标记成像(ASL)							
Signa	3D ASL	10.7	4 809	4	0	24.0×24.0	64×64
Biograph	3D ASL	13	2 500	8	2	25.0×25.0	64×64
uPMRI790	asl_3d_tra_2.0	13.78	5 500	6.0	1.2	22.4×22.4	64×64

注:TE为回波时间;TR为重复时间;FOV为视野

式识别:结合检查当时 EEG 记录及发作史,区分发作间期、发作后期和少见的发作期检查。发作间期常见低代谢,发作期或极早期可表现为局部高代谢,发作后期则可能出现暂时性代谢抑制,判读时应注意与长期致痫网络相关改变相鉴别。

## (二)半定量评估

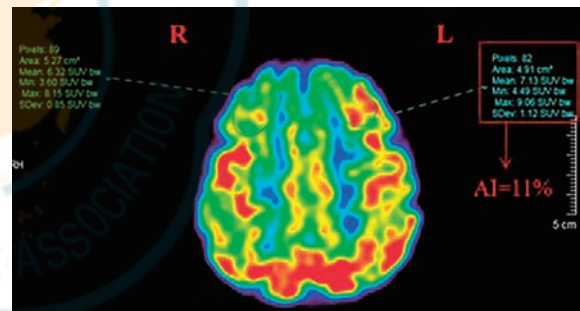
在视觉分析基础上,推荐结合半定量分析以提高致痫灶检出的客观性和可重复性。现行 EANM 癫痫 PET 指南和脑  $^{18}\text{F}$ -FDG PET 阅片标准均指出,在有条件的单位可常规开展基于 ROI 或体素的定量评估,包括标准摄取值、与对侧或正常数据库比较的 Z 评分及不对称指数等。

1. 基于 ROI 的不对称指数分析:依据双侧对称解剖结构绘制 ROI,分别测量病灶侧及对侧相应区域的平均或中位放射性摄取值(靶区勾画如图 2 所示为例),计算不对称指数(asymmetry index, AI),常以  $|AI|>10\%$  为异常,计算公式是患侧与健侧 SUVr 的差值,除以两侧 SUVr 的平均值,再乘以 100%:

$$AI = \frac{SUVr_{\text{患侧}} - SUVr_{\text{健侧}}}{(SUVr_{\text{患侧}} + SUVr_{\text{健侧}})/2} \times 100\%$$

既往研究表明,基于 AI 的半定量分析能提高对轻度或边缘性低代谢的检出率,尤其是在视觉分析结果不一致或 MRI 阴性的患者中,为手术侧化和预后评估提供客观指标<sup>[27-28]</sup>。

2. 基于体素的统计参数图分析:在标准空间



注:ROI为感兴趣区;AI为不对称指数

图 2 ROI 半定量分析技术示意图 人工勾画患侧 ROI,可镜像生成健侧 ROI,并计算得患/健侧减低率比值

下,将患者 PET 图像与年龄匹配的正常数据库进行比较,采用统计参数映射等图像后处理软件生成体素级别的 Z 评分或概率图,客观显示低代谢簇的范围及显著性,与视觉分析结果进行交叉验证。该方法在 MRI 阴性癫痫和病灶边界不清的病例中,可辅助识别隐匿病灶或远端网络改变。

在一体化 PET/MRI 平台上,可将 AI 图或 Z 评分图直接叠加于三维结构像,精确显示代谢异常与皮层、内侧颞叶结构以及白质束走行的空间关系,有利于术前风险评估和电极植入路径规划。对于视觉阴性但定量提示异常的区域,宜回顾原始 MRI 和 PET 图像并结合 EEG 等资料再次评估;对于视觉提示异常但定量分析未证实的情况,则需警惕伪影、部分容积效应或对照库差异等因素的影响,避免过度解读。



#### 四、一体化 PET/MRI 图像判读

FCD 和颞叶癫痫(temporal lobe epilepsy, TLE)是临床最常见的局灶性癫痫病因,在难治性癫痫病例中所占比例较多。基于其高发性及典型影像学特征,本节重点以 FCD 与 TLE 为例阐述一体化  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/MRI 图像判读要点。

##### (一)FCD

MRI 征象与 FCD 分型密切相关,其中 FCD II 型(特别是 II b 型)可见较特征性的信号与形态表现。常见征象包括:(1)局灶性皮层增厚与脑沟回形态异常,病灶区皮层较对侧脑回增厚,脑沟变浅或消失,常见于额叶、中央前后回或颞极等区域。(2)灰白质交界模糊,是 FCD 重要线索, $T_1\text{WI}$ 和 FLAIR 上尤为明显,但在延迟髓鞘化或轻度白质改变的儿童中需谨慎识别,避免误诊。(3)白质穿通征为 FCD II b 型特征性改变,表现为自病灶皮层下方向侧脑室室管膜邻近白质延伸的一条楔形或条索状  $T_2\text{WI}/\text{FLAIR}$  高信号带,似从皮层贯穿至脑室,出现该征象时,应高度重视 FCD II b 的可能。FCD I 型常无显著 MRI 异常,超高场 MRI 可以提高检出率。FCD III 型受共存病变影响,其本身可能较隐匿,需结合高分辨率成像和多模态检查。

发作间期  $^{18}\text{F}$ -FDG PET 在 FCD 术前评估中的主要作用是揭示皮层及皮层下局灶或区域性低代谢,常用于确认 MRI 上可疑的轻微结构异常,以及在 MRI 阴性患者中提供功能定位线索。FCD II 型常表现为与局灶皮层增厚、灰白质交界模糊相对应的单个或数个脑回低代谢,部分病例呈“底沟型”,即代谢减低主要集中于病变脑沟底部及其周围少量皮层。FCD I 型和部分额叶 FCD 患者的 FDG 低代谢范围往往大于 MRI 病灶本身,可累及邻近多个脑回或甚至同一脑叶的大片区域,反映局部网络的功能抑制,应结合 EEG、脑磁图或侵入性设备进一步区分致痫灶及网络关联区域。

##### (二)TLE

TLE 的 MRI 典型表现为海马体积减小与内部结构紊乱,冠状位  $T_1\text{WI}/3\text{D}-T_1\text{MPRAGE}$  可见单侧(或双侧)海马体积减小、轮廓变尖,内部层次结构(齿状回、海马伞等)不清或消失,是最核心的形态学征象。受累海马在  $T_1\text{WI}$  上多呈相对低信号,在  $T_2\text{WI}/\text{FLAIR}$  上呈高信号,可向海马旁回或颞角周围白质延伸。双侧对比时,需注意参考扣带回或岛叶等同为三层皮层的结构,以识别双侧对称性信号升高提示双侧 TLE 的可能。常见伴随征象为同侧

穹窿和乳头体萎缩、颞叶体积减小及颞角扩大。高场强 MRI( $\geq 3\text{T}$ )有助于显示  $\text{CA}_1$ 、 $\text{CA}_4$  等海马亚区萎缩以及海马分子层变薄、边界模糊等细微改变。需要注意与海马旋转不良、颞极脑膨出(颅底缺损导致脑组织疝入,  $T_2\text{WI}/\text{FLAIR}$  可见局灶高信号)、颞叶白质信号异常等发育变异鉴别,应结合对侧对照、EEG 定位及 PET 代谢模式综合判断,避免仅凭轻度形态异常即诊断海马硬化或将其判定为致病相关结构异常。

发作间期  $^{18}\text{F}$ -FDG 常表现为不同程度代谢减低,发作期常表现为代谢增高<sup>[46]</sup>。低代谢多累及同侧海马、杏仁核及邻近颞叶新皮层,可向颞极、外侧颞叶及扣带回扩展,程度从轻度不对称到明显半叶受累不等。 $^{18}\text{F}$ -FDG PET 对 TLE 的侧化灵敏度为 85%~90%,但低代谢范围常大于 MRI 病灶本身。在某些局灶性癫痫中,放射性摄取呈阶梯式减低分布:病灶和癫痫起始区代谢减低最显著;癫痫传播区代谢减低程度中等;未受异常放电影响的区域代谢减低最轻<sup>[46-47]</sup>。部分患者可见同侧/对侧额叶、顶叶或丘脑、基底节低代谢,反映慢性癫痫网络重塑。阅片时应提示致痫区与癫痫网络所致远隔低代谢,以避免过度扩大切除范围。

##### (三)判读建议

判读时建议采用先结构、后功能的阅片流程,根据 MRI 与 PET 结果的组合,归纳为以下四种常见模式,对应不同的临床意义及后续诊疗策略。

1. MRI+/PET+(结构与代谢一致异常,图 3): MRI 有明确局灶病变,  $^{18}\text{F}$ -FDG PET 在同一解剖区域发作间期表现为代谢减低,发作期表现为代谢增高。该模式提示结构病变与致痫灶高度相关,影像证据最为一致,通常提示较好的手术预后,尤其见于典型海马硬化或清晰的 FCD。对这类患者应重点评估病灶范围、与功能区的空间关系及是否存在远端代谢网络改变,以指导手术切除边界。

2. MRI+/PET-(仅结构异常): MRI 显示结构病变而  $^{18}\text{F}$ -FDG PET 未见明确代谢异常或改变不典型。这种情况下,结构病变未必具有致病性,可能为偶然发现的解剖变异、陈旧病变或代偿性改变,也可能是代谢改变轻微、部分容积效应或发作状态等原因导致 PET 阴性。需结合 EEG、临床症状及长期随访综合判断,对可疑病变建议进行 MRI 后处理、定量分析或进一步功能检查,必要时考虑侵入性电生理检查验证。

3. MRI-/PET+(结构阴性、代谢阳性,图 4):常

规结构 MRI 未见明确病灶,而发作间期<sup>18</sup>F-FDG PET 显示局灶性或区域性代谢减低。该模式在 MRI 阴性癫痫中较为常见。既往研究表明此类患者若根据 PET 提示区域进行靶向电极植入和局灶切除,仍可获得良好术后控制。此时应在 PET 异常区域上进行更精细化的 MRI 再评估,可辅以皮层厚度、体积测量等后处理分析,以提高微小病灶检出率。

4. MRI-/PET-(结构与代谢均为阴性):常规结构 MRI 与<sup>18</sup>F-FDG PET 均未发现局灶异常,提示目前影像检查未能明确定位。此类患者需依赖长程视频脑电监测、神经心理评估以及高场 MRI 或其他特异性示踪剂显像进一步评估。对于拟行手术者,需慎重权衡手术获益与风险,可考虑延长随访或进一步行侵入性监测。

#### 第四部分 诊断报告书写与规范

报告内容应包括患者基本信息、临床信息、显

像过程描述及 PET 和 MRI 显像序列。影像描述建议分为两个部分:第一部分描述 MRI 各序列表现,第二部分描述 PET 表现。

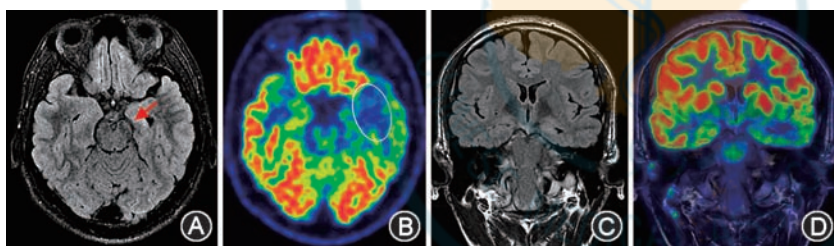
MRI 应关注有无以下病变:肿块、梗死或出血、外伤、血管病变(血管畸形)、海马改变、皮层异常(灰质异位、FCD、脑炎)。

发作间期 PET 显像主要关注皮层、深部核团及小脑半球有无放射性摄取减低,半定量分析后应给出具体|AI|值及减低程度(轻度:10%<AI<15%;中度:15%≤AI<25%;重度 AI≥25%)。一体化<sup>18</sup>F-FDG PET/MRI 检查报告模板见表 7。

签发报告的医师资格应符合国家有关规定;三级医院由副高或以上职称医师进行复核。

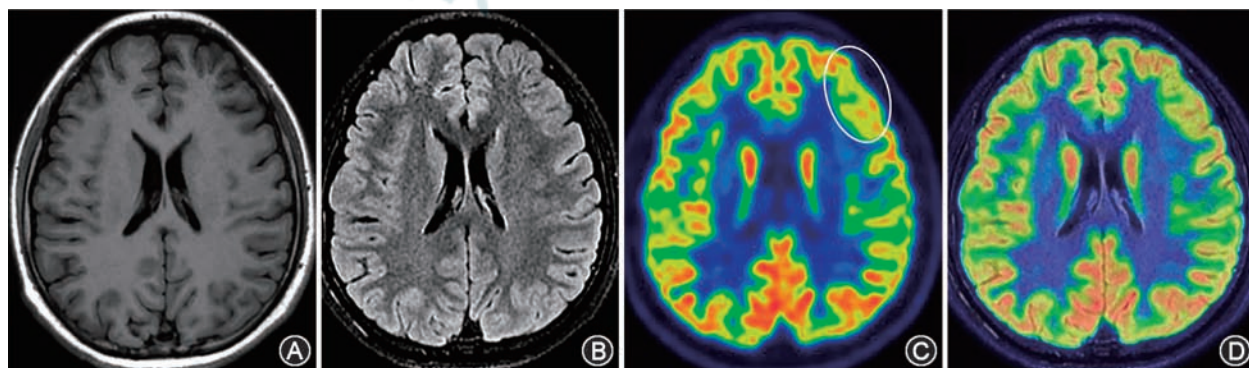
**推荐意见 5:**一体化 PET/MRI 全脑图像质量读应重视正常脑组织与致病灶解剖学差异,如皮层轮廓、信号异常等;此外也应注意正常脑组织与致病灶间的可视化摄取差异及双侧摄取不对称性;应结合 MRI 解剖轮廓特征、摄取差异性及其对称性综合评估(II b 级证据, B 级推荐)。处于发作期患者可存在病灶<sup>18</sup>F-FDG PET 高摄取,需结合临床资料、给药后患者有无癫痫发作和 EEG 信息综合判断(II a 级证据, B 级推荐)。

**推荐意见 6:**鼓励在有条件的医疗机构或研究项目中,探索使用靶向新型 PET 显像剂(如 FMZ、AMT、TSPO 等);并积极探索基于深度学习的人工智能辅助图像分析技术,用于病灶自动识别、定量分析及多模态数据融合,从而更有利于临



注:FDG 为氟代脱氧葡萄糖;FCD 为局灶性皮层发育不良;Engel 为恩格尔癫痫手术预后分级;FLAIR 为液体衰减反转恢复序列

图 3 难治性癫痫患者发作间期一体化<sup>18</sup>F-FDG PET/MRI 示例图像 难治性癫痫患者,女,21 岁,术后病理左侧额叶 FCD 合并海马硬化,术后 1 年随访 Engel I 级;A:横轴位 FLAIR(箭头示);B:横轴位<sup>18</sup>F-FDG PET;C:冠状位 FLAIR;D:冠状位一体化 PET/MRI 融合图像;A 和 C 图示左侧海马信号增高,左侧颞角增宽;B 和 D 图示左侧额叶及海马区代谢减低,以海马区为著



注:FDG 为氟代脱氧葡萄糖;FCD 为局灶性皮层发育不良;Engel 为恩格尔癫痫手术预后分级;3D-T<sub>1</sub>WI 为三维 T<sub>1</sub>加权成像;FLAIR 为液体衰减反转恢复序列

图 4 难治性癫痫患者发作间期一体化<sup>18</sup>F-FDG PET/MRI 示例图像 难治性癫痫患者,男,13 岁,术后病理左侧额叶 FCD I 型,术后 1 年随访 Engel I 级;A:横轴位 3D-T<sub>1</sub>WI;B:横轴位 FLAIR;C:横轴位<sup>18</sup>F-FDG PET;D:横轴位一体化 PET/MRI 融合图像;A 和 B 图未见明确结构异常;C 和 D 图示左侧额叶局部代谢减低

表 7 一体化<sup>18</sup>F-FDG PET/MRI 检查报告模板

报告项目	报告内容
患者基本信息	姓名、性别、年龄、身高、体重、血糖情况、病历号、检查日期
临床资料	病史、临床诊断
检查技术	<sup>18</sup> F-FDG 剂量、给药方式、注射部位、注射时间、扫描时间、PET 扫描方式、MRI 序列
检查所见	MRI 显示:(1)是否存在占位性病变;(2)是否存在梗死或出血;(3)是否存在外伤后改变;(4)是否存在血管畸形(海绵状血管瘤、动静脉畸形等);(5)是否存在海马硬化;(6)是否存在灰质异位或 FCD;(7)是否存在炎性病变; 发作间期 <sup>18</sup> F-FDG PET 显示:双侧额叶、顶叶、颞叶及海马、枕叶等脑区 <sup>18</sup> F-FDG 放射性摄取情况,描述是否存在对称性或不对称性减低区。如进行半定量分析应报告 SUVR 值及不对称指数
诊断意见	总结脑内结构改变及葡萄糖代谢情况,报告有无明确或可疑致痫脑区。脑内其他异常

注:FDG 为氟代脱氧葡萄糖;FCD 为局灶性皮层发育不良;SUVR 为标准化摄取比值

床精准制定个体化诊疗决策。(III a 级证据, B 级推荐)

难治性癫痫的精准诊疗是神经病学领域亟待突破的重大挑战。本指南基于现有文献和国内多家医疗机构的临床实践经验,总结了一体化 PET/MRI 脑成像技术在难治性癫痫诊疗中的优势,构建起覆盖适应证筛选、扫描参数标准化、图像判读全流程的规范化体系。随着功能和分子影像等非结构成像技术的发展,一体化 PET/MRI 有望进一步提升癫痫诊疗水平,为致痫灶的精准定位、网络机制的深入理解以及个体化治疗方案的制定提供更为全面的影像学依据。本指南旨在为临床实践提供规范参考,并促进相关领域的标准化应用。需要指出的是,本指南内容仅代表当前阶段的认知水平,实践中仍存在诸多问题与挑战。未来仍需通过临床与技术研究积累更多循证证据,以进一步提升难治性癫痫患者的临床获益。

#### 本指南制订专家组成员

指南制订组长:卢洁(首都医科大学宣武医院放射与核医学科);杨志(北京大学肿瘤医院核医学科);石洪成(复旦大学附属中山医院核医学科);陈敏(北京医院放射科)

执笔人:姚晨阳(首都医科大学宣武医院放射与核医学科);张思琪(首都医科大学宣武医院放射与核医学科);候亚琴(首都医科大学宣武医院放射与核医学科);王静娟(首都医科大学宣武医院放射与核医学科)

方法学专家:杨昆(首都医科大学宣武医院国家神经疾病医学中心)

专家委员会成员(按姓氏汉语拼音首字母排序):陈谦(首都医科大学附属北京天坛医院核医学科);陈绪珠(首都医科大学附属北京积水潭医院放射科);程召平(山东第一医科大学第一附属医院核医学科);崔瑞雪(中国医学科学院北京协和医院核医学科);杜雪梅(大连医科大学第一医院核医学科);郭烽(解放军总医院第六医学中心核医学科);郭坤(空军军医大学第一附属医院核医学科);何晓松(中国科学技术大学心理学系);胡晓飞(陆军军医大学第一附属医院核医学科);刘晶哲(清华大学第一附属医院放射

影像科、核医学科);任连坤(首都医科大学宣武医院神经内科);隋滨滨(北京医院放射科);孙洪赞(中国医科大学附属盛京医院核医学科);孙逊(华中科技大学同济医学院附属协和医院核医学科);王峰(南京市第一医院核医学科);张海琴(首都医科大学宣武医院放射与核医学科);张苗(首都医科大学宣武医院放射与核医学科);张志强(东部战区总医院放射诊断科)

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

#### 参 考 文 献

- [1] Asadi-Pooya AA, Brigo F, Lattanzi S, et al. Adult epilepsy [J]. Lancet, 2023, 402(10399): 412-424. DOI: 10.1016/S0140-6736(23)01048-6.
- [2] GBD 2021 Nervous System Disorders Collaborators. Global, regional, and national burden of disorders affecting the nervous system, 1990-2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021 [J]. Lancet Neurol, 2024, 23(4): 344-381. DOI: 10.1016/S1474-4422(24)00038-3.
- [3] Ding D, Zhou D, Sander JW, et al. Epilepsy in China: major progress in the past two decades [J]. Lancet Neurol, 2021, 20(4):316-326. DOI: 10.1016/S1474-4422(21)00023-5.
- [4] Elger CE, Hoppe C. Diagnostic challenges in epilepsy: seizure under-reporting and seizure detection [J]. Lancet Neurol, 2018, 17(3): 279-288. DOI: 10.1016/S1474-4422(18)30038-3.
- [5] 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.
- [6] West S, Nevitt SJ, Cotton J, et al. Surgery for epilepsy [J]. Cochrane Database Syst Rev, 2019, 6: CD010541. DOI: 10.1002/14651858.CD010541.pub3.
- [7] 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. 癫痫外科手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.
- [8] Jehi L, Jette N, Kwon CS, et al. Timing of referral to evaluate for epilepsy surgery: expert consensus recommendations from the surgical therapies commission of the international league against epilepsy [J]. Epilepsia, 2022, 63(10): 2491-2506. DOI: 10.1111/epi.17350.

- [9] Devinsky O, Vezzani A, O'Brien TJ, et al. Epilepsy[J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2018, 4: 18024. DOI: 10.1038/nrdp.2018.24.
- [10] Uher D, Drenthen GS, Schijns O, et al. Advances in image processing for epileptogenic zone detection with MRI[J]. *Radiology*, 2023, 307(5): e220927. DOI: 10.1148/radiol.220927.
- [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] Werner P, Barthel H, Drzezga A, et al. Current status and future role of brain PET/MRI in clinical and research settings[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2015, 42(3): 512-526. DOI: 10.1007/s00259-014-2970-9.
- [13] Huang H, Zhang M, Zhao Y, et al. Simultaneous high-resolution whole-brain MR spectroscopy and [18F] FDG PET for temporal lobe epilepsy[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2024, 51(3): 721-733. DOI: 10.1007/s00259-023-06465-0.
- [14] 王瑾, 孟宏平, 黄新韵, 等. <sup>18</sup>F-FDG PET/MR-在难治性癫痫精准定位诊断中的价值[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2024, 44(4): 202-206. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240117-00022.
- [15] WHO. WHO handbook for guideline development, 2nd edition[EB/OL]. [2025-10-11]. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241548960>.
- [16] 陈耀龙, 杨克虎, 王小钦, 等. 中国制订/修订临床诊疗指南的指导原则(2022版)[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(10): 697-703. DOI: 10.3760/cmaj.cn112137-20211228-02911.
- [17] Brouwers MC, Kho ME, Browman GP, et al. AGREE II: advancing guideline development, reporting and evaluation in health care[J]. *CMAJ*, 2010, 182(18): E839-E842. DOI: 10.1503/cmaj.090449.
- [18] Chen Y, Yang K, Marušić A, et al. A reporting tool for practice guidelines in health care: the RIGHT statement [J]. *Ann Intern Med*, 2017, 166(2):128-132. DOI: 10.7326/M16-1565.
- [19] Shea BJ, Grimshaw JM, Wells GA, et al. Development of AMSTAR: a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews[J]. *BMC Med Res Methodol*, 2007, 7:10. DOI: 10.1186/1471-2288-7-10.
- [20] Higgins JP, Altman DG, Gøtzsche PC, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials[J]. *BMJ*, 2011, 343: d5928. DOI: 10.1136/bmj.d5928.
- [21] Whiting PF, Rutjes AW, Westwood ME, et al. QUADAS-2: a revised tool for the quality assessment of diagnostic accuracy studies[J]. *Ann Intern Med*, 2011, 155(8): 529-536. DOI: 10.7326/0003-4819-155-8-201110180-00009.
- [22] Wells GA, Wells G, Shea B, et al. The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for assessing the quality of nonrandomised studies in meta-analyse[EB/OL]. [2018-04-27]. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:79550924>.
- [23] 陈耀龙, 姚亮, Susan Norris, 等. GRADE 在系统评价中应用的必要性及注意事项[J]. *中国循证医学杂志*, 2013, 13(12): 1401-1404. DOI: 10.7507/1672-2531.20130240.
- [24] 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.
- [25] Ponsio MR, Zempel JM, Day BK, et al. The role of SPECT and PET in epilepsy[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2021, 216(3):759-768. DOI: 10.2214/AJR.20.23336.
- [26] Dienel GA, Gillinder L, McGonigal A, et al. Potential new roles for glycogen in epilepsy[J]. *Epilepsia*, 2023, 64(1): 29-53. DOI: 10.1111/epi.17412.
- [27] Verger A, Lagarde S, Maillard L, et al. Brain molecular imaging in pharmacoresistant focal epilepsy: current practice and perspectives[J]. *Rev Neurol (Paris)*, 2018, 174(1-2):16-27. DOI: 10.1016/j.neurol.2017.05.001.
- [28] 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.
- [29] McCluskey SP, Plisson C, Rabiner EA, et al. Advances in CNS PET: the state-of-the-art for new imaging targets for pathophysiology and drug development[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2020, 47(2): 451-489. DOI: 10.1007/s00259-019-04488-0.
- [30] Çavuş I, Romanyshyn JC, Kennard JT, et al. Elevated basal glutamate and unchanged glutamine and GABA in refractory epilepsy: microdialysis study of 79 patients at the yale epilepsy surgery program[J]. *Ann Neurol*, 2016, 80(1):35-45. DOI: 10.1002/ana.24673.
- [31] Ergün EL, Saygi S, Yalnizoglu D, et al. SPECT-PET in epilepsy and clinical approach in evaluation[J]. *Semin Nucl Med*, 2016, 46(4):294-307. DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2016.01.003.
- [32] Vivash L, Gregoire MC, Lau EW, et al. 18F-flumazenil: a  $\gamma$ -aminobutyric acid A-specific PET radiotracer for the localization of drug-resistant temporal lobe epilepsy[J]. *J Nucl Med*, 2013, 54(8): 1270-1277. DOI: 10.2967/jnumed.112.107359.
- [33] Li G, Lin Z, Bao W, et al. Head-to-Head comparison of [18F]FDG, [18F]FMZ, and [18F]SynVesT-1 positron emission tomography imaging in patients with drug-resistant epilepsy[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2025, 52(7): 2258-2266. DOI: 10.1007/s00259-025-07111-7.
- [34] Bagla S, Cukovic D, Asano E, et al. A distinct microRNA expression profile is associated with  $\alpha$  [11C]-methyl-L-tryptophan (AMT) PET uptake in epileptogenic cortical tubers resected from patients with tuberous sclerosis complex[J]. *Neurobiol Dis*, 2018, 109(Pt A):76-87. DOI: 10.1016/j.nbd.2017.10.004.
- [35] Dombkowski AA, Cukovic D, Bagla S, et al. TLR7 activation in epilepsy of tuberous sclerosis complex[J]. *Inflamm Res*, 2019, 68(12):993-998. DOI: 10.1007/s00011-019-01283-3.
- [36] Gallus M, Roll W, Dik A, et al. Translational imaging of TSPO reveals pronounced innate inflammation in human and murine CD8 T cell-mediated limbic encephalitis[J]. *Sci Adv*, 2023, 9(23): eabq7595. DOI: 10.1126/sciadv.abq7595.
- [37] Qin L, Xiao L, Zhu H, et al. Translocator protein (18 kDa) positron emission tomography imaging as a biomarker of neuroinflammation in epilepsy[J]. *Neurol Sci*, 2024, 45(11):5201-5211. DOI: 10.1007/s10072-024-07648-9.
- [38] Gershen LD, Zanotti-Fregonara P, Dustin IH, et al.

- Neuroinflammation in temporal lobe epilepsy measured using positron emission tomographic imaging of translocator protein[J]. *JAMA Neurol*, 2015, 72(8): 882-888. DOI: 10.1001/jamaneurol.2015.0941.
- [39] Qiao Z, Yang Y, Chen Y, et al. Emerging translocator protein-positron emission tomographic imaging improves detection of focal cortical dysplasia[J]. *Epilepsia*, 2025, 66(7): 2339-2352. DOI: 10.1111/epi.18351.
- [40] Zhang M, Meng H, Zhou Q, et al. Microglial activation imaging using 18F-DPA-714 PET/MRI for detecting autoimmune encephalitis[J]. *Radiology*, 2024, 310(3): e230397. DOI: 10.1148/radiol.230397.
- [41] Lassmann M, Treves ST, EANM/SNMMI Paediatric Dosage Harmonization Working Group. Paediatric radiopharmaceutical administration: harmonization of the 2007 EANM paediatric dosage card (version 1.5.2008) and the 2010 North American consensus guidelines[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2014, 41(5): 1036-1041. DOI: 10.1007/s00259-014-2731-9.
- [42] Treves ST, Fahey FH, Ferrer Valencia V, et al. 2024 update of the North American consensus guidelines for pediatric administered radiopharmaceutical Activities[J]. *J Nucl Med Technol*, 2025, 53(3): 193-197. DOI: 10.2967/jnmt.125.270161.
- [43] 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.
- [44] Vattipally VR, Bronen RA. MR imaging of epilepsy: strategies for successful interpretation[J]. *Neuroimaging Clin N Am*, 2004, 14(3):349-372. DOI: 10.1016/j.nic.2004.04.002.
- [45] Arbizu J, Morbelli S, Minoshima S, et al. SNMMI procedure standard/EANM practice guideline for brain [18F]FDG PET imaging, version 2.0[J]. *J Nucl Med*, 2025, 66(Suppl 2):S45-S60. DOI: 10.2967/jnumed.124.268754.
- [46] 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.
- [47] Desarnaud S, Mellerio C, Semah F, et al. 18F-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.

·读者·作者·编者·

## 《中华医学杂志》投稿须知

《中华医学杂志》是中华医学会会刊,创刊于1915年,百余年来《中华医学杂志》始终坚持以服务医药卫生科技人员、促进国内医学事业发展为宗旨,全面反映我国医学最新的科研成果,积极推广医药卫生领域的新技术、新成果。本刊被中国科技信息研究所、北京大学医学图书馆等期刊评价机构列为核心期刊,并被 Medline 等国内外著名数据库收录。欢迎各位作者把高水平的医学论文发表在《中华医学杂志》上,与同业分享自己的学术研究成果。

本刊具体投稿方式如下:

1. 本刊采用中华医学会杂志社统一的远程稿件管理系统,稿件的所有处理流程均在此系统中完成,系统网址: <https://medpress.yiigle.com>。首次投稿需先注册并选择成为《中华医学杂志》作者。

2. 投稿前除稿件依照本刊稿约要求撰稿外,需提前准

备好以下文件:论文投稿介绍信、稿件授权书、作者贡献声明及作者利益冲突公开声明等,文件模板均可在投审稿系统首页显著位置下载。投稿时需要上传上述材料的电子文件(PDF、DOC 或 JPG 格式)。其中授权书需在稿件录用后邮寄到本刊编辑部(地址:北京市西城区宣武门东河沿街69号正弘大厦409室,邮编:100052,电话:010-51322101)。

3. 本刊稿件处理费用均通过远程审稿系统收取,不会采取向个人账户汇款或微信转账的方式收取任何稿件相关费用,请各位作者提高警惕。

自2021年起,《中华医学杂志》已全面启动“开放阅读”,读者可在本刊官方网站([nmjc.net.cn](http://nmjc.net.cn))免费阅读和下载从1915年创刊至今已经发表的所有文章。欢迎广大医药卫生专业人员向本刊投稿!

(本刊编辑部)