

^{11}C -胆碱 PET/CT 动态脑显像对海马硬化所致难治性癫痫致痫灶的定位研究

陆玲玲 陈宇峰 郭佳 张国旭

北部战区总医院核医学科, 沈阳 110016

通信作者: 张国旭, Email: zhangguoxu502@sina.com

【摘要】 目的 评价 ^{11}C -胆碱 PET/CT 动态脑显像对海马硬化难治性颞叶癫痫(HS-RTLE)致痫灶的定位诊断价值,并与 ^{18}F -FDG、 ^{11}C -氟马西尼(FMZ) PET/CT 进行对比。方法 回顾性分析 2017 年 3 月至 2020 年 6 月间北部战区总医院经病理证实为海马硬化(HS)的 62 例患者[男 39 例、女 23 例,年龄(30.3±11.2)岁],术前均行多核素(^{18}F -FDG、 ^{11}C -FMZ、 ^{11}C -胆碱) PET/CT 脑显像。 ^{11}C -胆碱 PET 显像采用动态连续扫描技术,绘制 ^{11}C -胆碱在双侧海马区域的时间-放射性曲线(TAC)。以术后病理为“金标准”,比较 3 种显像剂对 HS 致痫灶的阳性检出率及定位准确率。另对 2019 年 5 月至 2020 年 8 月间该院 46 例临床可疑 HS-RTLE 患者[男 27 例、女 19 例,年龄(32.9±11.9)岁]行前瞻性研究,检查方法同回顾性研究,以颅内植入电极或术后病理为“金标准”,验证 ^{11}C -胆碱 TAC 对致痫灶的定位诊断效能,应用 ROC 曲线评价 3 种显像剂定位致痫灶的诊断效能。采用 χ^2 检验及 Fisher 确切概率法和 DeLong 检验分析数据。结果 回顾性研究示 ^{18}F -FDG PET/CT 对致痫灶的阳性检出率高于 ^{11}C -胆碱 PET/CT[100%(62/62)与 85.48%(53/62); $P=0.003$], ^{11}C -胆碱及 ^{11}C -FMZ PET/CT 对致痫灶的定位准确率高于 ^{18}F -FDG PET/CT[100%(53/53)、96.61%(57/59)与 33.87%(21/62);均 $P<0.001$]。前瞻性研究的 46 例患者中,25 例为 HS-RTLE,21 例为非 HS 所致癫痫。 ^{11}C -胆碱 PET/CT 诊断 HS 致痫灶的特异性为 100%(21/21), ^{11}C -FMZ 和 ^{18}F -FDG PET/CT 分别为 90.48%(19/21)和 33.33%(7/21)。 ^{11}C -胆碱及 ^{11}C -FMZ PET/CT 的 AUC 高于 ^{18}F -FDG(0.920、0.912 与 0.627; z 值:4.93、5.16,均 $P<0.01$)。结论 ^{11}C -胆碱 PET/CT 可用于癫痫致痫灶的术前定位。相比于 ^{18}F -FDG、 ^{11}C -FMZ PET/CT, ^{11}C -胆碱 PET/CT 特异性高,阴性显像患者更有排除意义。

【关键词】 癫痫;颞叶;胆碱;碳放射性同位素;正电子发射断层显像术;体层摄影术,X 线计算机;氟马西尼;氟脱氧葡萄糖 F18

基金项目:军队医学科技青年培养计划孵化项目(20QNYPY088)

DOI:10.3760/ema.j.cn321828-20200907-00338

Localization of epileptic foci in intractable epilepsy induced by hippocampal sclerosis by ^{11}C -choline PET/CT dynamic brain imaging

Lu Lingling, Chen Yufeng, Guo Jia, Zhang Guoxu

Department of Nuclear Medicine, General Hospital of Northern Theater Command, Shenyang 110016, China

Corresponding author: Zhang Guoxu, Email: zhangguoxu502@sina.com

【Abstract】 **Objective** To evaluate the diagnostic value of ^{11}C -choline PET/CT brain imaging for localization of epileptogenic foci in hippocampal sclerosis-refractory temporal lobe epilepsy (HS-RTLE), and compare it with ^{18}F -FDG and ^{11}C -flumazenil (FMZ) PET/CT. **Methods** From March 2017 and June 2020, a total of 62 patients (39 males, 23 females, age (30.3±11.2) years) with pathologically confirmed HS-RTLE in General Hospital of Northern Theater Command were retrospectively analyzed. All patients were preoperatively treated with multiple radionuclide (^{18}F -FDG, ^{11}C -FMZ, ^{11}C -choline) PET/CT brain imaging. ^{11}C -choline PET imaging was used to acquire dynamic imaging data and time-activity curve (TAC) of ^{11}C -choline in bilateral hippocampal regions were drawn. With postoperative pathology as the "gold standard", the positive detection rates and localization diagnostic efficacies of three radionuclide imaging agents for epileptogenic foci were analyzed. Then a prospective study including 46 patients (27 males, 19 females; age (32.9±11.9) years; between May 2019 and August 2020; General Hospital of Northern Theater Command) with drug-refractory epilepsy caused by clinically suspected hippocampal sclerosis was performed. The examination method was the same as that of retrospective study. Using intracranial electrode implantation or postoperative pathology as "gold standard", the diagnostic efficacy of ^{11}C -choline TAC for localization of epileptogenic foci was verified, and ROC curve was drawn to evaluate the diagnostic value of three imaging agents for HS-RTLE epileptogenic foci. χ^2 test and Fisher exact probability method, DeLong test were used to

analyze the data. **Results** In the retrospective study, the positive detection rate of ^{18}F -FDG PET/CT was higher than that of ^{11}C -choline PET/CT (100% (62/62) vs 85.48% (53/62); $P=0.003$), and the localization accuracies of ^{11}C -choline and ^{11}C -FMZ PET/CT were both higher than that of ^{18}F -FDG PET/CT (100% (53/53), 96.61% (57/59) vs 33.87% (21/62); both $P<0.001$). In the prospective study, 25 of 46 patients were diagnosed as HS-RTLE and 21 were non-HS induced epilepsy. The specificities of ^{11}C -choline, ^{11}C -FMZ and ^{18}F -FDG PET/CT were 100% (21/21), 90.48% (19/21), 33.33% (7/21), respectively. The AUCs of ^{11}C -choline and ^{11}C -FMZ PET/CT were significantly higher than that of ^{18}F -FDG PET/CT (0.920, 0.912, 0.627; z values: 4.93, 5.16, both $P<0.01$). **Conclusions** ^{11}C -choline PET/CT can be used in the preoperative localization of epileptic foci. Compared with ^{18}F -FDG and ^{11}C -FMZ PET/CT, the specificity of ^{11}C -choline PET/CT is higher, and the negative imaging of ^{11}C -choline is more significant for exclusion.

【Key words】 Epilepsy, temporal lobe; Choline; Carbon radioisotopes; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Flumazenil; Fluorodeoxyglucose F18

Fund program: Incubation Project of Military Medical Science and Technology Youth Training Program (20QNPY088)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20200907-00338

海马硬化(hippocampal sclerosis, HS)是难治性颞叶癫痫(refractory temporal lobe epilepsy, RTLE)的常见类型之一^[1]。通过手术治疗,90%的HS-RTLE患者癫痫发作频率明显减少,甚至可达术后无发作^[2]。取得理想手术疗效的关键是术前精准定位致痫灶。目前,PET被认为是癫痫患者术前最佳的无创功能检查方法^[3],常用显像剂 ^{18}F -FDG灵敏度高,但特异性低。有学者提出, ^{18}F -FDG PET/CT脑代谢显像仅适用于致痫灶的定侧,而不适于精准定位^[4]。 ^{11}C -氟马西尼(flumazenil, FMZ)是定位致痫灶的最常用神经受体显像剂,可反映致痫灶抑制性神经元的缺失程度,作为一种特异性显像剂,其勾画致痫灶范围较 ^{18}F -FDG更加准确。但HS致痫灶不仅存在抑制性神经元缺失,还存在神经胶质细胞增生,目前尚缺乏可特异性反映致痫灶神经胶质细胞增生的显像剂。 ^{11}C -胆碱广泛用于星型胶质细胞瘤级别的诊断,可反映神经胶质细胞的增殖状态。本研究采用回顾性及前瞻性2种研究评价 ^{11}C -胆碱PET/CT动态脑显像对HS-RTLE致痫灶的定位诊断价值,并将其与 ^{18}F -FDG和 ^{11}C -FMZ PET/CT显像进行对比。

资料与方法

1.研究对象。(1)回顾性研究。纳入2017年3月至2020年6月间于北部战区总医院行手术治疗并经病理证实为HS的62例RTLE患者的临床资料,其中男39例、女23例,年龄15~63(30.3±11.2)岁;病程2~25(10.3±6.1)年。入选标准:①根据2017年国际抗癫痫联盟(International League Against Epilepsy, ILAE)发布的新的癫痫分类系统及诊断标准^[5],结合MRI、脑电图、临床症状,经本院癫痫专科医师诊断为RTLE;②术后病理证实为HS;③多核素(^{18}F -

FDG、 ^{11}C -FMZ、 ^{11}C -胆碱)PET/CT脑显像影像资料齐全;④检查前24h无癫痫发作且能够配合完成检查。排除标准:①未经手术及病理证实为HS;②PET/CT影像资料不全;③3个月内有明确的头部外伤史或曾行头部手术;④检查依从性差。

(2)前瞻性研究。纳入2019年5月至2020年8月于北部战区总医院神经外科就诊、临床可疑HS-RTLE的患者46例,其中男27例、女19例,年龄(32.9±11.9)岁。纳入标准:①病史及症状为可疑RTLE;②取得病理或颅内电极明确致痫灶;③均行多核素(^{18}F -FDG、 ^{11}C -FMZ、 ^{11}C -胆碱)PET/CT脑显像且检查前24h内无癫痫发作。排除标准:有颅脑手术史或检查依从性差。

研究经本院伦理委员会批准[批件号:研伦审第(2019)05号]。患者均签署知情同意书。

2.显像方法。患者均在术前行发作间期 ^{18}F -FDG、 ^{11}C -FMZ、 ^{11}C -胆碱PET/CT脑显像(三日法)。检查前准备: ^{18}F -FDG检查前患者禁食至少4h,空腹血糖<10.0 mmol/L,经手背静脉注射后避免声光刺激,视听封闭下休息50 min。 ^{11}C -FMZ患者检查前停用苯二氮草类抗癫痫药物,48h内禁酒,经手背静脉注射后安静休息20~30 min。显像仪器为美国GE公司Discovery VCT PET/CT仪。PET采用三维方式,滤波反投影法重建,截止频率0.5,陡度因子5,层厚重建3 mm。CT扫描参数:管电压120 kV,管电流80 mA,层厚5 mm,矩阵大小128×128。扫描过程嘱患者头部勿活动。3种显像剂均由本科室自行制备,放化纯>95%。根据患者体质量静脉注射给药, ^{11}C -胆碱、 ^{18}F -FDG、 ^{11}C -FMZ给予剂量标准分别为7.40、5.55、5.55 MBq/kg。 ^{18}F -FDG、 ^{11}C -FMZ PET检查为1个床位,时间20 min。 ^{11}C -胆碱PET显像注射后5 min即行PET采集,以5 min/帧动态采集55 min

的图像,在采集工作站以 5 min 为单位采集时间,截取 PET 影像,共获得 12 帧药物分布动态影像,手动勾画患侧及对侧海马 ROI,勾画¹¹C-胆碱在 ROI 内的时间-放射性曲线(time-activity curve, TAC)。

3. 图像判读。由 3 名主治医师及以上级别核医学科医师双盲阅片,产生分歧时,由 3 名医师商讨决定。¹⁸F-FDG 和¹¹C-FMZ PET/CT 图像采用视觉分析和半定量分析:(1)连续在 2 个层面上出现高或低放射性摄取区视为异常,结合 CT 判断致痫灶所在区域及病灶大小;(2)勾画致痫灶区及健侧对应区域 ROI(以患侧 ROI 为基准,镜面勾画致痫区健侧对应区域 ROI),由工作站自动计算出 SUV_{max} 及 SUV_{mean},计算代谢性分布不对称指数(asymmetry index, AI),AI 大于 15% 诊断为致痫灶^[6]。AI = [(SUV_{患侧} - SUV_{健侧}) / (SUV_{患侧} + SUV_{健侧})] × 100% × 2。

对发作间期¹¹C-胆碱 PET/CT 图像行视觉分析及 TAC 定量分析:(1)连续在 2 个层面上出现高或低放射性摄取区视为异常;(2)勾画致痫灶区及健侧对应区域 ROI,由工作站自动勾画 2 条 TAC;(3)对比 12 帧图像放射性计数差异,观察曲线走行,据既往经验,致痫灶在注射药物后 50 min 左右曲线逐渐升高,而对侧正常海马组织内的曲线随时间延长缓慢下降,双侧曲线呈分离趋势。

4. 统计学处理。采用 IBM SPSS 20.0 及 MedCalc 19.5.6 软件分析数据,符合正态分布的定量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用配对 *t* 检验;定性资料以百分数(%)表示,3 种显像剂 PET/CT 脑显像对致痫灶的检出阳性率及定位准确率采用 χ^2 检验(χ^2 分割)或 Fisher 确切概率法。绘制 ROC 曲线评价 3 种显像剂及联合应用定位致痫灶的诊断效能,采用 Delong 检验分析 ROC AUC 差异。 $P < 0.05$ 或 $P < 0.017$ (χ^2 分割)为差异有统计学意义。

结 果

回顾性研究的 62 例患者中,23 例(37.10%, 23/62) MRI 可见海马萎缩, T₂ 加权成像及液体衰减反转恢复序列信号增高,颞角扩大,其中 19 例表现为单侧,余 4 例表现为双侧。62 例¹⁸F-FDG PET/CT 脑代谢显像均表现为单侧或双侧海马局限性代谢减低区或双侧大脑半球多发代谢减低区,阳性率 100%(62/62);致痫灶定位准确率为 33.87%(21/62)。59 例¹¹C-FMZ PET/CT 脑受体显像表现为单侧海马局限性代谢减低区或双侧海马代谢减低或同侧海马及同侧外侧颞叶代谢减低区,阳性率 95.16%

(59/62);致痫灶定位准确率为 96.61%(57/59)。53 例¹¹C-胆碱 PET/CT 脑显像表现为单侧海马局限性代谢增高,9 例脑内未见放射性摄取异常,阳性率 85.48%(53/62);致痫灶定位准确率为 100%(53/53)。三者对致痫灶的阳性检出率及定位准确率差异有统计学意义(χ^2 值:10.96、92.14, $P = 0.003$, $P < 0.001$);进一步分析示,¹⁸F-FDG 对致痫灶的阳性检出率高于¹¹C-胆碱(确切概率法, $P = 0.003$),¹¹C-胆碱及¹¹C-FMZ 对致痫灶的定位准确率高于¹⁸F-FDG(确切概率法,均 $P < 0.001$)。

62 例患者 TAC 示,患侧海马局部¹¹C-胆碱代谢水平在注射药物后 50 min 左右逐渐升高,对侧正常海马组织内¹¹C-胆碱随时间延长缓慢下降,双侧曲线呈分离趋势。对 53 例¹¹C-胆碱 PET/CT 脑显像阳性患者的双侧海马区放射性计数逐帧行配对 *t* 检验可知,患侧海马较正常海马组织的¹¹C-胆碱放射性计数高[(2 050.00 ± 598.29) ~ (2 461.29 ± 610.39) 与 (1 601.61 ± 522.13) ~ (2 085.48 ± 637.58)];*t* 值:6.42 ~ 22.48,均 $P < 0.001$ 。

前瞻性研究的 46 例患者中,25 例为 HS-RTLE, 21 例为非 HS 所致癫痫。¹⁸F-FDG、¹¹C-FMZ、¹¹C-胆碱 PET/CT 及三者联合对 HS 的诊断效能见表 1。典型患者显像图等见图 1 和图 2。¹⁸F-FDG、¹¹C-FMZ、¹¹C-胆碱 PET/CT 及三者联合诊断 HS 的 AUC(95% CI) 分别为 0.627(0.472 ~ 0.765)、0.912(0.791 ~ 0.975)、0.920(0.801 ~ 0.979)、1.000(0.923 ~ 1.000)。¹¹C-胆碱及¹¹C-FMZ PET/CT 的 AUC 高于¹⁸F-FDG(*z* 值:4.93、5.16,均 $P < 0.01$),¹¹C-胆碱与¹¹C-FMZ PET/CT 的 AUC 间差异无统计学意义($z = 0.18$, $P = 0.860$),3 种显像剂 PET/CT 单独应用与联合应用的 AUC 差异亦有统计学意义(*z* 值:2.04 ~ 6.27,均 $P < 0.05$)。

表 1 3 种显像剂 PET/CT 及联合应用与术后病理或颅内电极结果对比($n = 46$)

显像剂	灵敏度	特异性	准确性
¹⁸ F-FDG	92.00%(23/25)	33.33%(7/21)	65.22%(30/46)
¹¹ C-FMZ	92.00%(23/25)	90.48%(19/21)	91.30%(42/46)
¹¹ C-胆碱	84.00%(21/25)	100%(21/21)	91.30%(42/46)
三者联合	100%(25/25)	100%(21/21)	100%(46/46)

注:括号内为对应的例数比;FMZ 为氟马西尼

讨 论

约有 1/4 的癫痫患者抗癫痫药物治疗无效,即难治性癫痫^[7]。HS-RTLE 是难治性癫痫中最常见的类型,完整切除致痫灶后患者预后满意,但至今尚缺乏术前可无创性精准定位致痫灶的方法。传统定

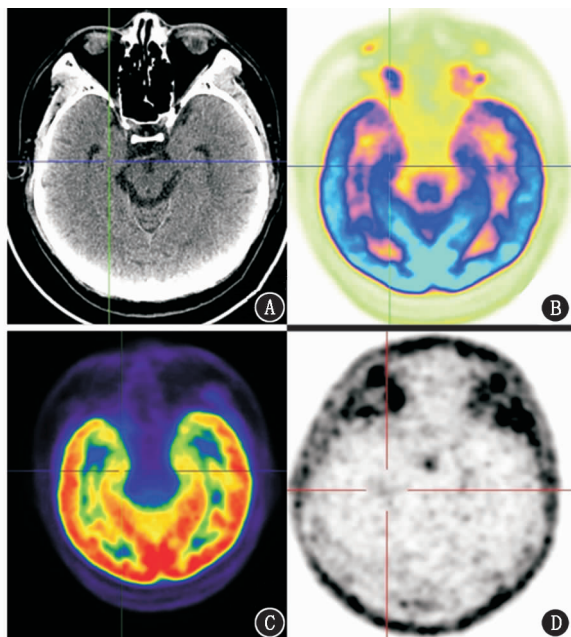


图1 海马硬化(HS)患者(男,27岁)影像学检查图。A. CT定位图示脑内未见明显异常密度灶;B,C. ^{18}F -FDG PET显像(B)及 ^{11}C -氟马西尼(FMZ)PET显像(C)示脑内未见异常放射性摄取异常区域;D. ^{11}C -胆碱 PET显像示右侧海马放射性摄取较左侧增高

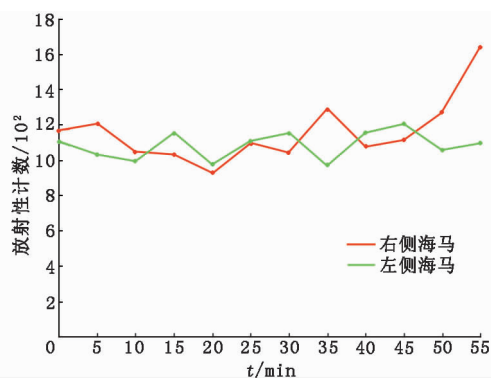


图2 HS患者(男,27岁)注射 ^{11}C -胆碱后双侧海马ROI的时间-放射性曲线(TAC)图。可见右侧海马局部 ^{11}C -胆碱代谢水平高于左侧,且在注射药物后50 min左右逐渐升高,双侧曲线呈分离趋势,可认为右侧海马为致痫灶所在区域

位致痫灶的方法除根据临床症状及病史外,主要依靠脑电图和MRI检查,但两者均存在灵敏度和特异性低的问题^[8]。近年来,PET已广泛用于致痫灶的术前评估。据报道, ^{18}F -FDG PET对颞叶癫痫患者致痫灶的检出灵敏度高,可达85%~90%^[9]。在MRI阴性的癫痫患者中,PET对致痫灶的诊断阳性率为78.9%^[10]。本研究中,发作间期 ^{18}F -FDG PET/CT脑显像对HS-RTLE致痫灶的阳性检出率为100%,高于文献报道。这可能与纳入患者均为药物性癫痫、发作频繁且病程长(平均10.3年)、脑功能

受损较重有关。但有研究报道, ^{18}F -FDG PET/CT对颞叶癫痫致痫灶的定位准确率仅有39.34%^[11],本研究中其对RTLE-HS的定位准确率为33.87%(21/62),与文献报道相似。

^{11}C -FMZ PET/CT显像可反映致痫区抑制性神经元丢失情况,已广泛用于致痫灶的定位诊断。有学者发现 ^{11}C -FMZ PET/CT显像对致痫灶检出的阳性率为97%^[12]。本研究中, ^{11}C -FMZ PET/CT显像对HS的阳性检出率为95.16%(59/62),与文献报道相似。另有研究示,相比于 ^{18}F -FDG, ^{11}C -FMZ PET/CT显像勾画致痫灶更为准确^[13]。本研究中, ^{11}C -FMZ PET/CT显像对HS的定位准确率为96.61%(57/59),明显高于 ^{18}F -FDG。2例 ^{11}C -FMZ PET/CT显像无法定位的患者中,1例表现为海马及同侧岛叶放射性摄取减低区,PET表现为多发病灶,无法准确定位致痫灶,这可能与颞叶内侧结构与岛叶解剖结构毗邻、HS所致的颞叶内侧癫痫与岛叶苯二氮草受体缺失有关^[14];另1例表现为双侧海马及病灶同侧颞叶放射性摄取减低,且减低程度相似,AI<15%,无法准确定位致痫灶。该区域可能由致痫灶神经功能失联络造成,也可能为继发的致痫灶。Savic等^[15]也有类似发现。

HS的主要病理改变为抑制性神经元丢失及反应性神经胶质细胞增生。但 ^{11}C -FMZ PET/CT显像仅可反映抑制性神经元的丢失程度。目前, ^{11}C -胆碱主要用于评价肿瘤细胞尤其是星形胶质细胞瘤的增殖状态。本研究应用 ^{11}C -胆碱对HS-RTLE患者进行显像,发现 ^{11}C -胆碱PET/CT显像对致痫灶的定位准确率为100%,表明 ^{11}C -胆碱是HS的特异性PET显像剂。 ^{11}C -胆碱TAC提示,HS致痫灶内胆碱的动态变化与正常海马组织不同,亦证实了应用 ^{11}C -胆碱PET动态显像技术探测致痫灶方法的可行性。另外,患侧海马 ^{11}C -胆碱的平均放射性计数也高于健侧海马。但 ^{11}C 的半衰期仅有20.4 min,随着 ^{11}C 的衰变,捕捉到的PET图像的分辨率会降低。因此, ^{11}C -胆碱PET/CT显像对HS致痫灶的检出率低于 ^{18}F -FDG(85.48%与100%)。

本研究中, ^{11}C -胆碱PET/CT显像对致痫灶的灵敏度为84.00%(21/25),特异性为100%,表明 ^{11}C -胆碱在排除HS致痫灶方面更有意义。ROC曲线分析显示, ^{11}C -FMZ、 ^{11}C -胆碱PET/CT显像对致痫灶的诊断效能均高于 ^{18}F -FDG,3种显像剂联合应用优于单一显像剂。

本研究存在不足: ^{11}C 物理半衰期仅有20.4 min,

因此未配备回旋加速器的 PET 中心对¹¹C-FMZ 和¹¹C-胆碱的使用受限;纳入研究对象较少,还需大样本数据证实¹¹C-胆碱 PET/CT 显像对 HS 及其他病理类型癫痫患者致痫灶的定位价值。

综上,¹¹C-胆碱从神经胶质细胞增生的角度反映 HS 的病理生理机制,可作为一种新的特异性显像剂应用于 HS 致痫灶的术前定位。对临床可疑 HS 所致难治性癫痫的患者来说,术前常规行¹⁸F-FDG PET/CT 显像对 HS 致痫灶的阳性检出率较高,而¹¹C-胆碱 PET/CT 动态显像阴性者可排除 HS 致痫灶;¹⁸F-FDG、¹¹C-FMZ 和¹¹C-胆碱三者联合 PET/CT 显像可准确定位 HS 致痫灶。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 陆玲玲:研究实施、论文撰写;陈宇峰、郭佳:统计分析、论文审阅;张国旭:研究指导、论文修改、经费支持

参 考 文 献

- [1] Blümcke I, Spreafico R. Cause matters: a neuropathological challenge to human epilepsies[J]. *Brain Pathol*, 2012, 22(3): 347-349. DOI:10.1111/j.1750-3639.2012.00584.x.
- [2] Kuba R, Tyrliková I, Chrástina J, et al. "MRI-negative PET-positive" temporal lobe epilepsy: invasive EEG findings, histopathology, and postoperative outcomes[J]. *Epilepsy Behav*, 2011, 22(3): 537-541. DOI:10.1016/j.yebeh.2011.08.019.
- [3] Sarikaya I. PET studies in epilepsy[J]. *Am J Nucl Med Mol Imaging*, 2015, 5(5): 416-430.
- [4] 白侠,王雪梅. PET 脑显像对致痫灶的定位方法[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2009, 33(6): 337-340. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2009.06.005.
Bai X, Wang XM. The methods of PET cerebral imaging in focus localizing of epilepsy[J]. *Int J Radiat Med Nucl Med*, 2009, 33(6): 337-340. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2009.06.005.
- [5] Fisher RS, Cross JH, D'Souza C, et al. Instruction manual for the ILAE 2017 operational classification of seizure types[J]. *Epilepsia*, 2017, 58(4): 531-542. DOI:10.1111/epi.13671.
- [6] 林都,王治国,张国旭. MRI 与发作间期¹⁸F-FDG 及¹¹C-FMZ PET/CT 显像对经典型海马硬化性难治性癫痫的诊断价值[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2019, 39(12): 726-731. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.12.005.
Lin D, Wang ZG, Zhang GX. Clinical value of MRI, interictal ¹⁸F-FDG and ¹¹C-FMZ PET/CT imaging in the diagnosis of hippocampal sclerosing refractory epilepsy[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2019, 39(12): 726-731. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.12.005.

- [7] 王晓阳,赵春雷,李辉,等.基于统计参数图的脑内不对称分析在¹⁸F-FDG PET 代谢显像对单侧颞叶癫痫定位诊断上的应用[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2017, 37(9): 538-543. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.09.004.
Wang XY, Zhao CL, Li H, et al. Statistical parametric mapping-based interhemispheric asymmetry analysis of ¹⁸F-FDG PET brain imaging in localization of unilateral temporal lobe epileptic foci[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2017, 37(9): 538-543. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.09.004.
- [8] Lee KK, Salamon N. [¹⁸F] fluorodeoxyglucose-positron-emission tomography and MR imaging coregistration for presurgical evaluation of medically refractory epilepsy[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2009, 30(10): 1811-1816. DOI:10.3174/ajnr.A1637.
- [9] Ergün EL, Saygi S, Yalmozoglu 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.
- [10] 邵明岩,骆柘璜,徐荣,等. ¹⁸F-FDG PET/CT 在 MRI 阴性癫痫中的诊断价值[J]. *江西医药*, 2018, 53(9): 919-921. DOI:10.3969/j.issn.1006-2238.2018.9.005.
Shao MY, Luo ZH, Xu R, et al. Diagnostic value of ¹⁸F-FDG PET/CT in MRI negative epilepsy[J]. *Jiangxi Med J*, 2018, 53(9): 919-921. DOI:10.3969/j.issn.1006-2238.2018.9.005.
- [11] 张柳,冯永健,陈祥荣,等. MRI 与¹⁸F-FDG PET/CT 对海马硬化的诊断价值[J]. *暨南大学学报(自然科学与医学版)*, 2013, 34(2): 216-220. DOI:10.3969/j.issn.1000-9965.2013.02.020.
Zhang L, Feng YJ, Chen XR, et al. The value of MRI and ¹⁸F-FDG PET/CT in diagnosis of hippocampal sclerosis[J]. *J Jinan Univ (Nat Sci Med Ed)*, 2013, 34(2): 216-220. DOI:10.3969/j.issn.1000-9965.2013.02.020.
- [12] 胡四龙. ¹¹C-flumazenil PET 对癫痫灶定位诊断的价值[J]. *国外医学:放射医学核医学分册*, 2000, 24(6): 249-254.
Hu SL. Diagnostic value of ¹¹C-flumazenil PET for localization of epileptic foci[J]. *Foreign Med Sci · Sec Radiat Med Nucl Med*, 2000, 24(6): 249-254.
- [13] Kumar A, Chugani HT. The role of radionuclide imaging in epilepsy, part 1: sporadic temporal and extratemporal lobe epilepsy[J]. *J Nucl Med*, 2013, 54(10): 1775-1781. DOI:10.2967/jnumed.112.114397.
- [14] Bouilleret V, Dupont S, Spelle L, et al. Insular cortex involvement in mesiotemporal lobe epilepsy: a positron emission tomography study[J]. *Ann Neurol*, 2002, 51(2): 202-208. DOI:10.1002/ana.10087.
- [15] Savic I, Svanborg E, Thorell JO. Cortical benzodiazepine receptor changes are related to frequency of partial seizures: a positron emission tomography study[J]. *Epilepsia*, 1996, 37(3): 236-244. DOI:10.1111/j.1528-1157.1996.tb00019.x.

(收稿日期:2020-09-07)