

^{11}C -蛋氨酸 PET/CT 显像对幕上胶质瘤术后患者复发的诊断价值

乔真 赵晓斌 陈谦 王凯 樊迪 艾林

首都医科大学附属北京天坛医院核医学科 100050

通信作者:艾林, Email: ailin@bjtth.org

【摘要】 目的 评估 ^{11}C -蛋氨酸 PET/CT 显像半定量参数对幕上胶质瘤术后 MRI 疑诊复发患者的诊断价值。方法 回顾性分析 2015 年 6 月至 2017 年 6 月于北京天坛医院行 ^{11}C -蛋氨酸 PET/CT 显像的 164 例幕上胶质瘤术后患者(男 107 例,女 57 例;年龄 6~74 岁;高级别胶质瘤 94 例、低级别胶质瘤 63 例、分级不详 7 例)的资料,同期 MRI 均疑诊肿瘤复发且随访至少 6 个月。以病理或临床随访结果为诊断标准,计算并比较病灶 ^{11}C -蛋氨酸摄取的半定量参数:最大标准摄取值(SUV_{max})、平均标准摄取值(SUV_{mean})、病灶-本底 SUV_{max} 比值(TBR_{max})、病灶-本底 SUV_{mean} 比值(TBR_{mean})。采用两独立样本 t 检验分析数据。绘制受试者工作特征(ROC)曲线并比较曲线下面积(AUC),选取上述指标最佳阈值计算诊断灵敏度和特异性。结果 共 139 例临床诊断为复发,25 例临床诊断为未复发。复发组 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 、 TBR_{max} 和 TBR_{mean} 均较未复发组增高(4.19 ± 1.95 与 2.59 ± 1.18 、 2.34 ± 1.08 与 1.46 ± 0.72 、 2.95 ± 1.17 与 1.83 ± 0.79 、 2.64 ± 1.11 与 1.59 ± 0.71 ; t 值:5.126~6.183,均 $P<0.01$),但 4 个指标诊断复发的 ROC AUC 差异无统计学意义(z 值:0.265~1.674,均 $P>0.05$),最佳阈值分别为 3.05、1.65、1.96、1.79 时,对应的灵敏度、特异性分别为 67.6% (94/139)、100% (25/25)、67.6% (94/139)、100% (25/25)、79.9% (111/139)、100% (25/25)、74.8% (104/139)、100% (25/25)。高级别胶质瘤中,复发组(81 例)的半定量参数均高于未复发组(13 例; t 值:5.137~5.871,均 $P<0.01$); TBR_{mean} 的 AUC 大于 SUV_{mean} 的 AUC(0.858 和 0.802; $z=1.982$, $P<0.05$)。低级别胶质瘤中,复发组(54 例)的半定量参数均高于未复发组(9 例; t 值:2.730~7.009,均 $P<0.01$),但 4 个指标的 AUC 无明显差异($z=0.444\sim 1.407$,均 $P>0.05$)。37 例有病理诊断且分级明确的复发患者中,高与低级别胶质瘤组半定量参数及其 AUC 未见明显差异(t 值:1.387~1.937, z 值:0.106~1.752,均 $P>0.05$)。结论 ^{11}C -蛋氨酸 PET/CT 显像的半定量参数对 MRI 疑诊复发的幕上胶质瘤术后患者有一定的诊断价值,但对胶质瘤的分级鉴别价值有限; TBR_{mean} 诊断高级别胶质瘤术后复发较 SUV_{mean} 更有优势。

【关键词】 神经胶质瘤;幕上肿瘤;肿瘤复发,局部;正电子发射断层显像术;体层摄影术,X 线计算机;甲硫氨酸

基金项目:北京市自然科学基金(7184207)

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.11.002

Diagnostic value of ^{11}C -methionine PET/CT imaging for detecting the recurrence of supratentorial glioma

Qiao Zhen, Zhao Xiaobin, Chen Qian, Wang Kai, Fan Di, Ai Lin

Department of Nuclear Medicine, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China

Corresponding author: Ai Lin, Email: ailin@bjtth.org

【Abstract】 Objective To assess the diagnostic values of ^{11}C -methionine (MET) PET/CT semi-quantitative parameters for detecting recurrence in patients who were diagnosed with suspicious recurrence by MRI after resection of supratentorial gliomas. **Methods** A total of 164 patients (107 males, 57 females, age 6-74 years; high-grade 94, low-grade 63, unclear 7) with supratentorial gliomas who underwent ^{11}C -MET PET/CT between June 2015 and June 2017 in Beijing Tiantan Hospital were enrolled respectively. All patients were with suspicious recurrence after surgery showed by MRI and followed up for 6 months at least. The final diagnosis was determined with histopathological analysis or clinical follow-up. The maximum and mean standardized uptake value (SUV_{max} and SUV_{mean}), tumor-to-background ratios (TBR) of SUV_{max} and SUV_{mean} (TBR_{max} and TBR_{mean}) were recorded and compared between patients with recurrence or without recurrence using independent-sample t test. Receiver operating characteristic (ROC) curves were drawn to determine the threshold, and the diagnostic sensitivity and specificity of each parameter were calculated. **Results** According to the clinical diagnosis, there were 139 patients with recurrence and 25 without recur-

rence. SUV_{max} , SUV_{mean} , TBR_{max} and TBR_{mean} were significantly higher for patients with recurrence than those without recurrence (4.19 ± 1.95 vs 2.59 ± 1.18 , 2.34 ± 1.08 vs 1.46 ± 0.72 , 2.95 ± 1.17 vs 1.83 ± 0.79 , 2.64 ± 1.11 vs 1.59 ± 0.71 ; t values: $5.126-6.183$, all $P < 0.01$), but there was no difference in the areas under the ROC curve (AUC) for diagnosis of recurrence with the 4 parameters (z values: $0.265-1.674$, all $P > 0.05$), for which the optimal cut-off values were 3.05, 1.65, 1.96 and 1.79, respectively, and the corresponding sensitivities/specificities for the diagnosis of recurrence were 67.6% (94/139)/100% (25/25), 67.6% (94/139)/100% (25/25), 79.9% (111/139)/100% (25/25), 74.8% (104/139)/100% (25/25), respectively. Patients with ($n=81$) or without ($n=13$) recurrence had different semiquantitative parameters in high-grade glioma group (t values: $5.137-5.871$, all $P < 0.01$), and the AUC for TBR_{mean} was greater than that for SUV_{mean} (0.858 vs 0.802 ; $z = 1.982$, $P < 0.05$). Patients with ($n=54$) or without ($n=9$) recurrence in low-grade glioma group showed significant difference in the 4 parameters (t values: $2.730-7.009$, all $P < 0.01$), while the AUCs of the 4 parameters were not significantly different (z values: $0.444-1.407$, all $P > 0.05$). Among 37 patients with recurrence confirmed by pathology, there were no significant differences in the semiquantitative parameters between the high-grade and low-grade glioma groups and AUCs were not different either (t values: $1.387-1.937$, z values: $0.106-1.752$, all $P > 0.05$). **Conclusions** Semiquantitative parameters of ^{11}C -MET PET/CT are equally accurate in the differentiation of recurrence from radiation injury in patients with gliomas, while TBR_{mean} was superior than SUV_{mean} in patients with the high-grade gliomas. Among the patients with recurrence confirmed by pathology, the value of the semiquantitative parameter is limited for the identification of high- and low- grade gliomas.

【Key words】 Glioma; Supratentorial neoplasms; Neoplasm recurrence, local; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Methionine

Fund program: Beijing Natural Science Foundation (7184207)

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.11.002

胶质瘤是颅内最常见的原发性肿瘤,目前最佳的治疗方案为手术、放疗、化疗、靶向治疗等相结合的综合治疗,但放疗可能破坏正常的脑组织而引发不良反应,其中以放射性坏死最为严重,多发于放疗后 3~12 个月,甚至数年后。综合治疗后肿瘤的复发率仍较高,尤其是高级别胶质瘤^[1]。放射性坏死与胶质瘤复发临床表现和常规影像学表现相似,但治疗方案及预后截然不同。因此,对胶质瘤复发的准确鉴别(尤其是早期鉴别)具有重要的临床意义。

目前靶向药物治疗临床应用增多,一些靶向药物(如贝伐单抗克隆抗体)治疗后,钆漏出减少使得 MRI 的强化程度下降^[2],因此传统 MRI 评估胶质瘤复发的准确性受到影响。氨基酸类显像剂能够被胶质瘤摄取,且在正常脑组织中摄取较低,故氨基酸 PET/CT 显像可以较好地显示胶质瘤,可用于胶质瘤术后复发的鉴别诊断。目前常用的氨基酸类显像剂有 ^{11}C -蛋氨酸、 ^{18}F -酪氨酸及 ^{18}F -多巴等。其中 ^{11}C -蛋氨酸诊断颅脑肿瘤复发的灵敏度较高^[3-4]。本研究评估了 ^{11}C -蛋氨酸 PET/CT 显像常用的半定量参数,即最大标准摄取值(maximum standardized uptake value, SUV_{max})、平均标准摄取值(mean standardized uptake value, SUV_{mean})及病灶-本底的 SUV_{max} 和 SUV_{mean} 比值 [tumor-to-background ratios (TBR) of SUV_{max} and SUV_{mean} (TBR_{max} 、 TBR_{mean})] 对幕上胶质瘤术后患者复发的诊断价值,现报道如下。

资料与方法

1. 研究对象。本研究符合《赫尔辛基宣言》的原

则。回顾性分析 2015 年 6 月至 2017 年 6 月于本科行 ^{11}C -蛋氨酸 PET/CT 显像的胶质瘤术后患者。纳入标准:(1)原发肿瘤位于幕上,行手术切除,病理诊断为胶质瘤;(2)显像距手术后末次治疗(放疗或其他)至少 3 个月;(3)近 1 个月内 MRI 诊断复发或疑诊复发;(4)伴有或不伴有临床症状。排除标准:随访依从性较差、随访资料不全;原发肿瘤位于脑干、小脑。最终诊断以病理或随访结果为标准。

共纳入幕上胶质瘤术后患者 164 例,男 107 例、女 57 例,年龄 6~74 岁;高级别胶质瘤(WHO III~IV 级)94 例(男 64 例、女 30 例,6~74 岁),低级别胶质瘤(WHO I~II 级)63 例(男 37 例、女 26 例,20~60 岁),7 例分级不详(男 6 例、女 1 例)。115 例术后行立体定位放疗(stereotatic radiotherapy, SRT)联合化疗,38 例行 SRT,7 例行伽玛刀治疗,2 例行伽玛刀联合化疗,1 例行 SRT 联合化疗及射波刀,1 例行 SRT 联合化疗及伽玛刀治疗。27 例经增强 MRI、MR 波谱(MR spectroscopy, MRS)和 MR 血流灌注(MR perfusion-weighted imaging, PWI)均疑诊复发,5 例经增强 MRI 及 MRS 疑诊复发,35 例经增强 MRI 及 PWI 疑诊复发,余为增强 MRI 疑诊复发患者。

2. PET/CT 图像采集及分析。静脉注射 $370.0 \sim 738.8$ MBq ^{11}C -蛋氨酸(本科自行合成)后 10~15 min,采用 PET/CT 仪(Discovery Elite,美国,GE)行 10 min 静态显像,应用有序子集最大期望值迭代法重建数据,由 2 位核医学科医师通过后处理工作站 GE

AW4.5 勾画感兴趣区 (region of interest, ROI) 测量病灶 SUV_{max} 及 SUV_{mean} (选择 40% SUV_{max} 为阈值勾画病灶), 本底选取同层面对侧正常皮质, 计算病灶 TBR_{max} 、 TBR_{mean} ; 有多个病灶时选取摄取最高者。

3. 随访。对患者随访至少 6 个月。复发标准: (1) 症状进展迅速或死亡; (2) 增强 MRI 示新增病灶或病灶增大 (同一层面直径增大 25%); (3) 除放射坏死 (部分患者不符合上述标准, 但仍不能诊断放射坏死)。放射坏死诊断标准: 行对症治疗或激素治疗后症状好转; 至少 6 个月后复查增强 MRI 病灶无增大 (同一层面直径增大 < 25%)。

4. 统计学处理。采用 IBM SPSS 20.0 软件处理数据。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。2 组间均数比较采用两独立样本 t 检验。采用 Medcalc 软件绘制半定量参数 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 、 TBR_{max} 和 TBR_{mean} 诊断肿瘤复发的受试者工作特征 (receiver operating characteristic curve, ROC) 曲线并比较曲线下面积 (area under curve, AUC); 选择约登指数最高者为最佳阈值, 计算相应的诊断效能。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 不同 PET/CT 显像半定量参数对胶质瘤术后复发的诊断价值。164 例患者中, 139 例诊断为复发 (病理诊断 39 例, 临床随访诊断 100 例), 25 例临床随访诊断为未复发。复发组与未复发组间 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 、 TBR_{max} 和 TBR_{mean} 差异均有统计学意义 (表 1); 四者诊断胶质瘤复发的 ROC AUC 分别为 0.774、0.756、0.797 和 0.804, 差异无统计学意义 (z 值: 0.265 ~ 1.674, 均 $P > 0.05$)。当上述半定量参数

的阈值分别选取 3.05、1.65、1.96 和 1.79 时, 其相应灵敏度及特异性分别为 67.6% (94/139) 和 100% (25/25)、67.6% (94/139) 和 100% (25/25)、79.9% (111/139) 和 100% (25/25)、74.8% (104/139) 和 100% (25/25)。

2. 不同级别胶质瘤组患者的比较 (图 1)。164 例中 7 例分级不详的患者 (复发 4 例、未复发 3 例) 未被纳入。(1) 高级别胶质瘤组中, 81 例诊断为复发 (病理诊断 21 例, 临床随访诊断 60 例), 13 例临床诊断为未复发。2 组患者半定量参数差异均有统计学意义 (表 1)。 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 、 TBR_{max} 和 TBR_{mean} 的 ROC AUC 分别为 0.819、0.802、0.829 和 0.858, TBR_{mean} 大于 SUV_{mean} ($z = 1.982, P < 0.05$), 余差异无统计学意义 (z 值: 0.203 ~ 1.348, 均 $P > 0.05$); 4 个指标阈值分别选取 2.80、1.85、1.81 和 1.81 时, 对应的灵敏度及特异性分别为 75.3% (61/81) 和 10/13、61.7% (50/81) 和 11/13、88.9% (72/81) 和 9/13、75.3% (61/81) 和 11/13。

(2) 低级别胶质瘤组中, 54 例诊断为复发 [病理诊断 16 例 (其中 6 例诊断为高级别胶质瘤), 临床随访诊断 38 例], 9 例临床随访诊断为未复发。复发组与未复发组患者半定量参数差异均有统计学意义 (表 1)。 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 、 TBR_{max} 和 TBR_{mean} 的 ROC AUC 分别为 0.820、0.802、0.887 和 0.872, 差异无统计学意义 (z 值: 0.444 ~ 1.407, 均 $P > 0.05$); 当 4 个指标阈值分别选取 3.05、1.65、1.93 和 1.82 时, 对应的灵敏度及特异性分别为 64.8% (35/54) 和 9/9、66.7% (36/54) 和 9/9、79.6% (43/54) 和 9/9、74.1% (40/54) 和 9/9。

3. PET/CT 半定量参数与肿瘤级别的关系。复

表 1 不同组别胶质瘤术后患者¹¹C-蛋氨酸 PET/CT 显像半定量参数的比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	SUV_{max}	SUV_{mean}	TBR_{max}	TBR_{mean}
胶质瘤术后复发组	139	4.19±1.95	2.34±1.08	2.95±1.17	2.64±1.11
胶质瘤术后未复发组	25	2.59±1.18	1.46±0.72	1.83±0.79	1.59±0.71
高级别胶质瘤术后复发组	81	4.33±2.02	2.43±1.14	3.06±1.24	2.77±1.20
高级别胶质瘤术后未复发组	13	2.41±0.93	1.32±0.59	1.72±0.80	1.43±0.67
低级别胶质瘤术后复发组	54	4.05±1.89	2.23±1.01	2.84±1.06	2.48±0.96
低级别胶质瘤术后未复发组	9	2.21±0.77	1.30±0.40	1.56±0.34	1.41±0.30
t 值 ^a		5.550	5.126	6.067	6.183
P 值 ^a		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
t 值 ^b		5.610	5.361	5.137	5.871
P 值 ^b		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
t 值 ^c		2.864	2.730	7.009	6.559
P 值 ^c		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

注: SUV_{max} 为最大标准摄取值, SUV_{mean} 为平均标准摄取值, TBR_{max} 为病灶-本底 SUV_{max} 比值, TBR_{mean} 为病灶-本底 SUV_{mean} 比值; ^a 胶质瘤术后复发组与未复发组比, ^b 高级别胶质瘤术后复发组与未复发组比, ^c 低级别胶质瘤术后复发组与未复发组比, 差异均有统计学意义

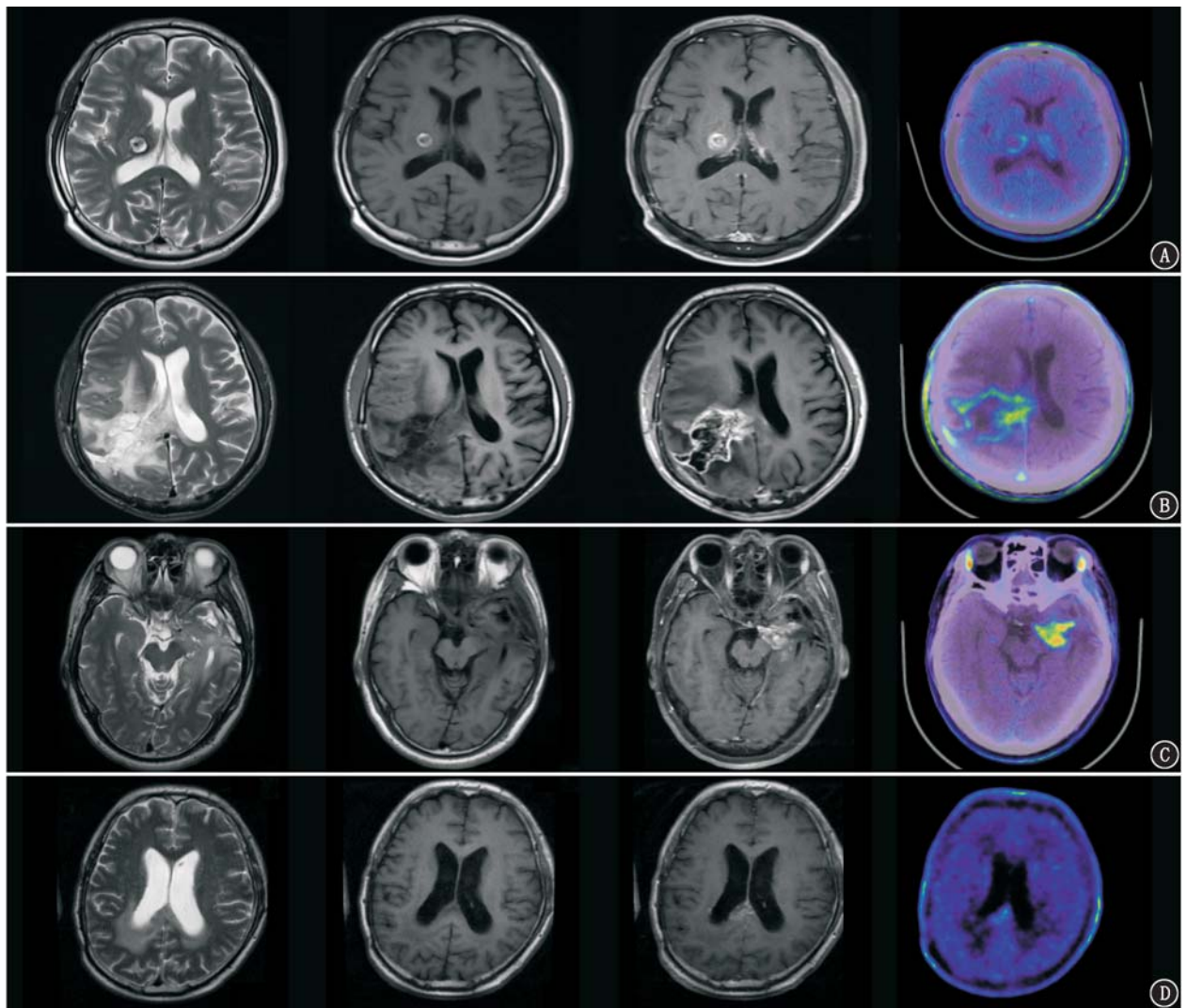


图 1 胶质瘤术后患者的影像学检查图[各图由左至右分别为 MRI T₂ 加权成像(WI)、T₁WI、T₁ 增强及¹¹C-蛋氨酸 PET/CT 显像图]。A. 低级别胶质瘤术后未复发患者(男,59岁),T₂WI 与 T₁WI 高信号,增强扫描轻度强化,PET/CT 显像示病灶边缘轻度摄取;B. 低级别胶质瘤术后复发患者(男,39岁),T₂WI 高信号,T₁WI 低信号,增强扫描术区边缘不规则强化,PET/CT 显像示病灶边缘摄取增高;C. 高级别胶质瘤术后复发患者(男,40岁),T₂WI 高信号,T₁WI 低信号,增强扫描颞叶内侧不规则强化灶,PET/CT 显像示病灶摄取明显增高;D. 高级别胶质瘤术后未复发患者(男,59岁),T₂WI 高信号,T₁WI 稍低信号,增强扫描术区边缘轻度强化,PET/CT 显像示病灶边缘轻度摄取

发患者中,39 例有明确病理诊断,其中 37 例分级明确(低级别 10 例、高级别 27 例),高与低级别患者的半定量参数间差异均无统计学意义(表 2)。4 个指标 ROC AUC 分别为 0.649、0.638、0.577 和 0.573,差异无统计学意义(z 值:0.106~1.752,均 $P>0.05$);当 4 个指标阈值分别选取 3.85、2.55、3.48 和 2.67 时,其诊断高级别胶质瘤复发的相应灵敏度及特异性分别为 74.1% (20/27) 和 2/10、59.3% (16/27) 和 8/10、51.9% (14/27) 和 9/10、59.3% (16/27) 和 8/10。

讨 论

由于手术或放疗导致血-脑屏障被破坏,胶质瘤术后放射性坏死在增强 MRI 上可表现为异常强化,

表 2 不同级别胶质瘤复发患者¹¹C-蛋氨酸摄取程度的比较($\bar{x}\pm s$)

疾病类别	例数	SUV _{max}	SUV _{mean}	TBR _{max}	TBR _{mean}
高级别胶质瘤	27	5.08±1.93	2.82±1.17	3.35±1.12	3.03±1.16
低级别胶质瘤	10	3.97±2.40	2.22±1.17	2.60±0.83	2.40±0.83
t 值		1.452	1.387	1.937	1.574
P 值		0.060	0.120	0.160	0.170

注: SUV_{max} 为最大标准摄取值, SUV_{mean} 为平均标准摄取值, TBR_{max} 为病灶-本底 SUV_{max} 比值, TBR_{mean} 为病灶-本底 SUV_{mean} 比值

患者症状与部分胶质瘤术后患者症状类似,且靶向治疗后胶质瘤的增强程度受到影响,因此 MRI 对部分胶质瘤术后患者的诊断评估有一定的局限性。本研究纳入的患者均表现为增强 MRI 异常强化,部分患

者 MRS 或 PWI 也难以鉴别。

目前,¹¹C-蛋氨酸 PET 显像用于肿瘤诊断、分级和反映肿瘤增殖活性,其还可显示肿瘤大小及范围^[5-7]。研究表明,¹¹C-蛋氨酸 PET 显像诊断脑肿瘤复发(部分研究包括转移瘤)的灵敏度为 70%~100%^[3-4,8-11]。本研究中其灵敏度为 61.7%~88.9%,与既往研究结果差别不大。¹¹C-蛋氨酸 PET 显像与其他影像学技术(如 MRI 等)联合应用可实现多模态融合,提高对肿瘤的诊断,还对手术、放疗等有辅助价值^[12]。蛋氨酸不能通过血-脑屏障,显像本底较低,能更好地显示病灶;其 PET 显像的目测法及半定量分析法均有较高的诊断价值^[13-14],半定量分析法诊断的 AUC 更高,还能预测无进展生存时间。

标准摄取值(standardized uptake value, SUV)反映机体对显像剂的摄取,其稳定性易受多种因素影响。为排除肿瘤部位引起的 SUV 差异,本研究仅分析原发幕上胶质瘤患者。结果显示,复发组的 SUV_{max}、SUV_{mean}、TBR_{max} 和 TBR_{mean} 均较未复发组增高,即肿瘤复发的氨基酸代谢活性增高。而既往研究^[8-9,13-14]可能由于样本量有限,并未发现有统计学意义的差异。未复发组患者摄取蛋氨酸的机制尚不明确,可能与术后或放疗后的胶质增生有关^[15]。相较于 SUV,TBR 可对患者的个体差异进行校正。本研究的 4 个指标均有一定的诊断价值,而 TBR 的诊断效能更高;在对高级别胶质瘤的术后随访中,TBR_{mean} 较 SUV_{mean} 的诊断效能更高;但在低级别胶质瘤中的优势并不明显,这可能与纳入的低级别胶质瘤术后患者较少有关,也可能是由于低级别胶质瘤氨基酸代谢较低,病灶/本底比值较低所致。

本研究选择最佳阈值时采用了约登指数最高者。Tripathi 等^[16]选择 TBR_{max} > 1.9,其对应的灵敏度及特异性分别为 0.95 和 0.89;Deuschl 等^[17]认为 TBR_{max} > 1.8 对应的诊断效能最高;而 Terakawa 等^[18]报道复发组及未复发组的 TBR_{max} 差异并无统计学意义,而选择 TBR_{mean} 大于 1.58 时对应的灵敏度及特异性分别为 0.75 和 0.75。上述研究样本量较小。本研究共纳入 164 例患者,呈现出高级别组 TBR_{mean} 的诊断效能更高、低级别组 TBR_{max} 更高的趋势;这可能与高级别胶质瘤复发病灶的蛋氨酸摄取较高、低级别胶质瘤复发病灶蛋氨酸摄取较低有关。另外,评估肿瘤病灶时,尤其是针对有大片坏死的病灶时,SUV_{mean} 和 TBR_{mean} 会明显低估病灶活性;选择 40% SUV_{max} 为阈值勾画 ROI 病灶边缘,可在一定程度上减少对病灶的低估。肿瘤及肿瘤术后均存在

血-脑屏障的破坏,同时放射性损伤也伴有炎性细胞浸润,因此放射性坏死及肿瘤复发均存在蛋氨酸摄取增加,而复发病灶的摄取增高也与复发的肿瘤细胞的密度及数量有关,因此复发病灶的蛋氨酸摄取较放射性损伤更高,同时肿瘤细胞密度及数量可能影响患者预后,因此蛋氨酸显像半定量分析可用于胶质瘤患者的预后研究^[19]。

本研究还对病理确诊复发的患者进行了分级比较,高级别胶质瘤的蛋氨酸摄取较低级别胶质瘤增高,但差异无统计学意义,表明基于¹¹C-蛋氨酸静态显像对高低级别胶质瘤进行分级的价值有限,高与低级别胶质瘤的 4 个指标有大量重叠,而 SUV_{max} 的分级价值较余参数更高,但差异亦无统计学意义,可能与纳入样本量较小有关。另外,本研究纳入患者均为胶质瘤术后改变者,术后及放疗后的改变均可能影响蛋氨酸摄取,进而影响研究结果。有研究报告¹¹C-蛋氨酸 PET 显像判断原发性胶质瘤高与低级别的灵敏度高达 80%^[20];而¹⁸F-酪氨酸动态显像的灵敏度可高达 90%以上,较葡萄糖代谢显像更为灵敏,但该动态显像方法并不适于¹¹C-蛋氨酸 PET 显像^[21-22]。

综上,对于 MRI 疑诊复发的幕上胶质瘤术后患者,¹¹C-蛋氨酸 PET/CT 显像的半定量参数有一定的诊断价值;对于高级别胶质瘤术后复发患者的诊断,TBR_{mean} 较 SUV_{mean} 更有优势;对于低级别胶质瘤术后患者,SUV_{max}、SUV_{mean}、TBR_{max} 和 TBR_{mean} 的诊断价值相似,但对高与低级别胶质瘤的分级鉴别价值有限。本研究为回顾性研究,大部分患者最终诊断为临床随访结果,对结果判定可能存在一定偏倚,有待统一采集参数并完善随访病理。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Verma N, Cowperthwaite MC, Burnett MG, et al. Differentiating tumor recurrence from treatment necrosis: a review of neuro-oncologic imaging strategies [J]. *Neuro Oncol*, 2013, 15(5): 515-534. DOI: 10.1093/neuonc/nos307.
 - [2] de Groot JF, Fuller G, Kumar AJ, et al. Tumor invasion after treatment of glioblastoma with bevacizumab: radiographic and pathologic correlation in humans and mice [J]. *Neuro Oncol*, 2010, 12(3): 233-242. DOI: 10.1093/neuonc/nop027.
 - [3] 闫文明,白侠,王雪梅,等.¹¹C-MET-PET/CT 检查在术后放疗脑胶质瘤患者肿瘤复发与放射性脑坏死鉴别诊断中的应用 [J]. *山东医药*, 2016, 56(27): 60-62. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2016.27.020.
- Yan WM, Bai X, Wang XM, et al. The role of ¹¹C-MET-PET/CT in differentiating tumor recurrence from radiation necrosis in brain

- glioma patients with postoperative radiotherapy[J]. *Shandong Med J*, 2016, 56(27): 60-62. DOI:10.3969/j.issn.1002-266X.2016.27.020.
- [4] 刘云琴,钱立庭,汪世存,等. PET-CT 鉴别脑胶质瘤放疗后复发与坏死的研究[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2011, 20(3): 186-188. DOI:10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2011.03.004.
- Liu YQ, Qian LT, Wang SC, et al. The role of positron emission tomography in differentiating tumor recurrence from radiation necrosis in brain glioma patients[J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2011, 20(3): 186-188. DOI:10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2011.03.004.
- [5] 邵虹, Trampal C, 吴靖川. ^{11}C -蛋氨酸 PET 显像诊断胶质瘤的价值[J]. *中华核医学杂志*, 2003, 23(2): 75-76. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2003.02.003.
- Shao H, Trampal C, Wu JC. The diagnostic value of ^{11}C -methionine PET scan in differentiating and grading gliomas[J]. *Chin J Nucl Med*, 2003, 23(2): 75-76. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2003.02.003.
- [6] 胡裕效,朱虹. ^{11}C -MET PET 显像在脑胶质瘤中的应用进展[J]. *放射学实践*, 2010, 25(11): 1293-1295. DOI:10.3969/j.issn.1000-0313.2010.11.029.
- Hu YX, Zhu H. Progress in the application of ^{11}C -MET PET imaging in glioma[J]. *Radiol Practice*, 2010, 25(11): 1293-1295. DOI:10.3969/j.issn.1000-0313.2010.11.029.
- [7] 徐蓓,吴平,姚成军. 氨基酸正电子发射断层显像术在脑胶质瘤诊疗中的应用进展[J]. *中华神经外科杂志*, 2018, 34(3): 314-318. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2018.03.023.
- Xu Q, Wu P, Yao CJ. Progress in the application of amino acid positron emission tomography in the diagnosis and treatment of glioma[J]. *Chin J Neurosurg*, 2018, 34(3): 314-318. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2018.03.023.
- [8] Nihashi T, Dahabreh IJ, Terasawa T. Diagnostic accuracy of PET for recurrent glioma diagnosis: a meta-analysis[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2013, 34(5): 944-950, S1-11. DOI:10.3174/ajnr.A3324.
- [9] Minamimoto R, Saginoya T, Kondo C, et al. Differentiation of brain tumor recurrence from post-radiotherapy necrosis with ^{11}C -methionine PET: visual assessment versus quantitative assessment[J]. *PLoS One*, 2015, 10(7): e0132515. DOI:10.1371/journal.pone.0132515.
- [10] Skvortsova TY, Brodskaya ZL, Gurchin AF. PET using ^{11}C -methionine in recognition of pseudoprogression in cerebral glioma after combined treatment[J]. *Zh Vopr Neurokhir Im N N Burdenko*, 2014, 78(4): 50-58.
- [11] 理东丽,许乙凯,王全师,等. ^{11}C -MET 和 ^{18}F -FDG PET/CT 诊断胶质瘤术后残余或复发的比较[J]. *中华核医学杂志*, 2011, 31(4): 233-236. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9780.2011.04.007.
- Li DL, Xu YK, Wang QS, et al. Comparison between ^{11}C -methionine and ^{18}F -FDG PET/CT in diagnosing residual or recurrent glioma[J]. *Chin J Nucl Med*, 2011, 31(4): 233-236. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9780.2011.04.007.
- [12] 武玉亮,泮长存,张鹏,等. 多模态融合技术在延髓胶质瘤手术中的应用[J]. *中华神经外科杂志*, 2018, 34(4): 327-332. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2018.04.002.
- Wu YL, Pan CC, Zhang P, et al. Application of multimodal image fusion in microsurgical resection of medullary gliomas[J]. *Chin J Neurosurg*, 2018, 34(4): 327-332. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2018.04.002.
- [13] Martínez-Amador N, Jiménez-Bonilla J, Martínez-Rodríguez I, et al. Value of the visual and semiquantitative analysis of carbon-11-methionine PET/CT in brain tumors' recurrence versus post-therapeutic changes[J]. *Nucl Med Commun*, 2017, 38(12): 1125-1132. DOI:10.1097/MNM.0000000000000754.
- [14] Herrmann K, Czernin J, Cloughesy T, et al. Comparison of visual and semiquantitative analysis of ^{18}F -FDOPA-PET/CT for recurrence detection in glioblastoma patients[J]. *Neuro Oncol*, 2014, 16(4): 603-609. DOI:10.1093/neuonc/not166.
- [15] Tsuyuguchi N, Takami T, Sunada I, et al. Methionine positron emission tomography for differentiation of recurrent brain tumor and radiation necrosis after stereotactic radiosurgery—in malignant glioma[J]. *Ann Nucl Med*, 2004, 18(4): 291-296.
- [16] Tripathi M, Sharma R, Varshney R, et al. Comparison of F-18 FDG and C-11 methionine PET/CT for the evaluation of recurrent primary brain tumors[J]. *Clin Nucl Med*, 2012, 37(2): 158-163. DOI:10.1097/RLU.0b013e318238f51a.
- [17] Deuschl C, Kirchner J, Poeppel TD, et al. ^{11}C -MET PET/MRI for detection of recurrent glioma[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2018, 45(4): 593-601. DOI:10.1007/s00259-017-3916-9.
- [18] Terakawa Y, Tsuyuguchi N, Iwai Y, et al. Diagnostic accuracy of ^{11}C -methionine PET for differentiation of recurrent brain tumors from radiation necrosis after radiotherapy[J]. *J Nucl Med*, 2008, 49(5): 694-699. DOI:10.2967/jnumed.107.048082.
- [19] Poetsch N, Woehrer A, Gesperger J, et al. Visual and semiquantitative ^{11}C -methionine PET: an independent prognostic factor for survival of newly diagnosed and treatment-naïve gliomas[J]. *Neuro Oncol*, 2018, 20(3): 411-419. DOI:10.1093/neuonc/nox177.
- [20] Falk Delgado A, Falk Delgado A. Discrimination between primary low-grade and high-grade glioma with ^{11}C -methionine PET: a bivariate diagnostic test accuracy meta-analysis[J]. *Br J Radiol*, 2018, 91(1082): 20170426. DOI:10.1259/bjr.20170426.
- [21] Moulin-Romsée G, D'Hondt E, de Groot T, et al. Non-invasive grading of brain tumours using dynamic amino acid PET imaging: does it work for ^{11}C -methionine? [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2007, 34(12): 2082-2087. DOI:10.1007/s00259-007-0557-4.
- [22] Dunet V, Pomoni A, Hottinger A, et al. Performance of ^{18}F -FET versus ^{18}F -FDG-PET for the diagnosis and grading of brain tumors: systematic review and meta-analysis[J]. *Neuro Oncol*, 2016, 18(3): 426-434. DOI:10.1093/neuonc/nov148.

(收稿日期:2019-03-29)