

双时相PET/CT扫描在脑肿瘤的诊断价值

王佳琦^{1,2}, 崔勇², 栾琨², 李晨光³, 张艺宝³

1. 成武县人民医院医学影像科, 山东 菏泽 274200; 2. 山东大学第二医院医学影像中心, 山东 济南 250033; 3. 北京大学肿瘤医院暨北京市肿瘤防治研究所放疗科/恶性肿瘤发病机制及转化研究教育部重点实验室, 北京 100142

【摘要】目的:探究双时相PET/CT扫描在脑肿瘤初诊及随访中的价值。**方法:**回顾性分析31例采用双时相¹⁸F-FDG PET/CT扫描的脑肿瘤初诊及随访病例,在以病理或影像检查进行定性分析的基础上,对两期扫描病变SUV_{max}值进行半定量分析,并根据ROC分析确定FDG PET/CT双期扫描的特定临界值,以区分肿瘤的活性。**结果:**延迟扫描对诊断病变有无活性的灵敏度、特异度、准确度有显著提升(常规扫描期:灵敏度80.6%、特异度99.9%、准确度96.3%;延迟扫描期:灵敏度88.9%、特异度100%、准确度97.9%, $P<0.001$),说明延迟扫描可以进一步明确病变性质。对于病灶有活性患者,对侧尾状核头(CCH)延迟扫描较常规扫描SUV_{max}值变化具有统计学意义($P<0.001$);对侧脑白质(CWM)、同侧小脑皮质(ICC)与病变(T)的靶本比(T/CWM、T/ICC),有活性病变组以及整体(有活性病变组与无活性病变组)延迟期较常规扫描期半定量分析差异具有统计学意义($P<0.001$);对变化百分比ROC分析得到准确度、灵敏度、特异度,综合3个参数可知,ICC>CWM>CCH($\Delta T/CWM$:灵敏度77.8%、特异度72.7%、准确度90.9%; $\Delta T/CCH$:灵敏度88.9%、特异度54.5%、准确度91.1%; $\Delta T/ICC$:灵敏度83.3%、特异度72.7%、准确度93.4%)。**结论:**脑肿瘤双时相PET/CT检查对于提高脑肿瘤活性诊断准确率,具有一定的可行性和临床应用价值。

【关键词】双时相¹⁸F-FDG PET/CT;脑肿瘤;最大标准化摄取值;半定量分析

【中图分类号】R816.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2023)02-0157-06

Diagnostic value of dual-phase PET/CT in brain tumor

WANG Jiaqi^{1,2}, CUI Yong², LUAN Kun², LI Chenguang³, ZHANG Yibao³

1. Department of Medical Imaging, Chengwu Hospital, Heze 274200, China; 2. Medical Imaging Center, the Second Hospital of Shandong University, Jinan 250033, China; 3. Key Laboratory of Carcinogenesis and Translational Research (Ministry of Education/Beijing)/Department of Radiation Oncology, Peking University Cancer Hospital & Institute, Beijing 100142, China

Abstract: Objective To investigate the value of dual-phase PET/CT in the initial diagnosis and follow-up of brain tumor. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the initial diagnosis and follow-up cases ($n=31$) of brain tumors using dual-phase ¹⁸F-FDG PET/CT. Based on the qualitative analysis by pathological or imaging examination, the SUV_{max} value of the lesion in the dual-phase scans was semi-quantitatively analyzed, and the specific critical value of dual-phase FDG PET/CT scan was determined according to ROC analysis to distinguish the tumor activity. **Results** The sensitivity, specificity and accuracy of delayed scan were 88.9%, 100.0% and 97.9%, higher than 80.6%, 99.9% and 96.3% of routine scan ($P<0.001$), indicating that delayed scan can further clarify the nature of the lesion. In patients with viable lesions, the SUV_{max} of contralateral caudate nucleus head (CCH) of delayed scan differed from that of routine scan ($P<0.001$). The semi-quantitative analysis showed that there were statistical significance between delayed scan and routine scan in target ratios of contralateral white matter (CWM), ipsilateral cerebellar cortex (ICC) to viable lesion (Target, T), and the intergroup comparison between viable lesion and the overall (viable and nonviable lesions) ($P<0.001$). According to the accuracy, sensitivity and specificity obtained by ROC analysis on the percentage change, ICC had the optimal diagnostic efficiency, followed by CWM and CCH. The sensitivity, specificity, accuracy were 77.8%, 72.7%, 90.1% for $\Delta T/CWM$, 88.9%, 54.5%, 91.1% for $\Delta T/CCH$, and

【收稿日期】2022-11-26

【基金项目】国家自然科学基金(12275012);北京市自然科学基金(Z210008);北京大学肿瘤医院科学研究基金学科骨干项目(2021-1);北大百度基金资助项目(2020BD029);恶性肿瘤发病机制及转化研究教育部/北京市重点实验室开放基金(2022开放-2);北京大学医学部教育教学研究立项项目(2020YB34);北京大学新工科交叉专项/中央高校基本科研业务费(PKU2022XGK006);国家重点研发计划(2019YFF01014405);内蒙古自治区科技计划(2022YFSH0064)

【作者简介】王佳琦,影像技师,研究方向:核医学技术、放射治疗技术,E-mail: 970747754@qq.com

【通信作者】张艺宝,医学物理师,高级工程师,博士生导师,E-mail: zhangyibao@pku.edu.cn

83.3%, 72.7%, 93.4% for $\Delta T/ICC$. **Conclusion** Dual-phase PET/CT examination has certain feasibility and clinical application value for improving the accuracy of brain tumor activity diagnosis.

Keywords: dual-phase ^{18}F -FDG PET/CT; brain tumor; maximum standardized uptake value; semiquantitative analysis

前言

脑及中枢神经系统肿瘤(以下简称脑肿瘤)可分为:原发性高级别脑肿瘤、原发性中枢神经系统淋巴瘤、脑转移瘤3类,具有较高的发病率与死亡率^[1]。磁共振成像(MRI)是诊断和随访脑肿瘤的首选影像检查方法^[2]。但MRI在复发肿瘤与治疗中产生的炎症或假性进展诊断具有局限性,部分患者存在对MRI的禁忌症,影响后续治疗方案。PET/CT是一种可以提高患者治疗增益比的有效手段,尤其在MRI不能精确勾画肿瘤靶区时^[3-5]。此外,PET图像与MRI图像的融合可充分利用二者优势,提高真性检出率^[6-7]。本研究旨在对脑肿瘤双时相 ^{18}F -FDG PET/CT扫描的结果进行半定量回顾性评估,并将其与后续的病理或影像检查进行比较,确定FDG PET/CT双期扫描的特定临界值,区分肿瘤的活性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本实验为回顾性研究,采用随机取样的方法从2018年12月~2022年3月在山东大学第二医院行PET/CT检查的脑肿瘤患者中抽取42人。纳入标准:(1)有活检结果确诊为脑肿瘤,且近6个月内MR提示肿瘤复发或病变大小变化者;(2)对于有既往放疗治疗史的患者不做特殊处理,只关注其颅内肿瘤是否有活性;(3)治疗中未使用贝伐单抗及未失访者;(4)病变大小 >8 mm者。按照上述标准,筛选出符合条件者31例,共47处病变。其中:病变有活性组23例,共36处病变;病变无活性组8例,共11处病变。对上述入组患者进行双时相扫描,并测量病变(T)以及对侧脑白质(Contralateral White Matter, CWM)、对侧尾状核头(Contralateral Caudate Nucleus Head, CCH)、同侧小脑皮质(Ipsilateral Cerebellar Cortex, ICC)的最大标准化摄取值(SUV_{max})并分别计算病变 SUV_{max} 与CWM(T/CWM)、CCH(T/CCH)、ICC(T/ICC)的 SUV_{max} 比值(靶本比)和靶本比变化百分比。

1.2 成像方法与扫描方案

山东大学第二医院使用的PET/CT为飞利浦Ingenuity TF型,该设备应用了自动聚焦采集技术,重建采用有序子集最大期望值迭代(OSEM)法,图像重建后传输至麦迪克斯影像处理工作站。CT扫描参数如下:120 kV、300 mA、照射野(FOV) 600 mm、层厚

(SW)2 mm。扫描范围:自颅顶至下颌水平。注射的放射性 ^{18}F -FDG由GE PET Tracer回旋加速器及自动化学合成系统生产,放化纯度 $>95\%$ 。扫描前禁食6 h以上,近14 d内未使用升白细胞及刺激骨髓的药物,空腹血糖控制在10 mmol/L内,扫描前饮水1 000~1 500 mL,排泄两次以上。注射药量为0.1 mCi/Kg,注射药物后独自静卧等候检查。PET-CT分别在注射药物30 min(常规扫描期, T_1)和3 h(延迟扫描期, T_2)予以双时相扫描。

1.3 图像分析及诊断标准

图像判读由一位放射科医师和一位核医学科医师各自独立完成视觉定性判读。在病变区域内放置合适的圆形感兴趣区测量点(ROI),并在CWM、CCH、ICC选取合适的ROI,测得病变及CWM、CCH、ICC的 SUV_{max} 值,并计算靶本比以及靶本比变化百分比。以病理活检或随访磁共振诊断结果作为定性分析依据。

1.4 统计学分析

采用SPSS25.0和Graphad 9.0软件分析绘图,对31例患者进行双时相扫描得到的半定量参数(病变、CWM、CCH、ICC) SUV_{max} 值进行校正 t 检验;对于有活性病变组和无活性病变组,两组数据均服从正态分布且样本量对应一致,分别在双时相下行配对 t 检验。47处病变与时间之间的相关性通过ROC曲线进行评估。基于ROC分析的最佳临界值及其诊断性能的相关度量(包括双时相的临界值、准确度及95%置信区间、特异性、灵敏性),以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 相关变量分析

31例患者(男性18例、女性13例)共47处病变,患者平均年龄57.1岁(范围35~73岁)。组织学类型:原发性高级别脑肿瘤8例(IV级多形性胶质母细胞瘤5例、III级间变性星形细胞瘤3例),转移瘤22例(转移部位:乳腺2例、肺16例、卵巢2例、肾1例、胃1例),原发性中枢神经系统淋巴瘤1例。按照研究标准,共有36处病变被认为是具有活性的,11处病变被认为是无活性的。病变有活性组和病变无活性组患者在年龄、性别、病变大小、病变位置方面没有统计学差异($P>0.05$)。

2.2 半定量分析

在常规期扫描和延迟期扫描下,与无活性病变组相比,有活性病变组的病灶 SUV_{max} 、T/CWM、T/CCH以及T/ICC与无活性病变组相比,差异有统计学意义($P<0.001$)(表1)。T₂时刻较T₁时刻,有活性

病变 SUV_{max} 显著增加($P<0.001$),而在靶本比方面,只有有活性病变与CWM、ICC处比值才显著增加,但T₂时刻较T₁时刻,病灶 SUV_{max} 、T/CWM、T/ICC、整体(病变有活性组与病变无活性组),差异有统计学意义($P<0.001$)。

表1 有活性与无活性病灶半定量参数分析表($\bar{x} \pm s$)
Table 1 Comparison of semiquantitative parameters for viable and nonviable lesions (Mean±SD)

参数	时刻	无活性组(n=11)	有活性组(n=36)	合计(n=47)	P ₁ 值
病灶 SUV_{max}	T ₁	4.75±1.96	11.21±4.76	9.70±5.08	<0.001
	T ₂	5.02±2.39	14.69±5.91	12.42±6.71	<0.001
	P ₂ 值	0.244	<0.001	<0.001	<0.001 ^b
CWM SUV_{max}	T ₁	2.84±0.43	3.20±0.82	3.12±0.76	0.168
	T ₂	2.78±0.57	3.32±0.81	3.20±0.79	0.045
	P ₂ 值	0.592	0.285	0.370	0.015 ^b
CCH SUV_{max}	T ₁	10.67±3.05	8.86±2.95	9.28±3.04	0.083
	T ₂	11.46±2.69	10.35±3.19	10.61±3.09	0.305
	P ₂ 值	0.043	<0.001	<0.001	0.054 ^b
ICC SUV_{max}	T ₁	8.66±1.94	7.81±1.77	8.01±1.83	0.183
	T ₂	9.31±1.51	8.26±2.43	8.50±2.28	0.184
	P ₂ 值	0.057	0.221	0.086	0.060 ^b
T/CWM	T ₁	1.71±0.80	3.55±1.21	3.12±1.37	<0.001
	T ₂	1.84±1.01	4.47±1.58	3.86±1.37	<0.001
	P ₂ 值	0.288	<0.001	<0.001	<0.001 ^b
T/CCH	T ₁	0.48±0.23	1.35±0.57	1.15±0.63	<0.001
	T ₂	0.46±0.24	1.48±0.54	1.24±0.65	<0.001
	P ₂ 值	0.526	0.075	0.095	<0.001 ^b
T/ICC	T ₁	0.58±0.28	1.47±0.57	1.27±0.64	<0.001
	T ₂	0.56±0.28	1.86±0.75	1.55±0.87	<0.001
	P ₂ 值	0.438	<0.001	<0.001	<0.001 ^b

T:病灶,CWM:对侧脑白质,CCH:对侧尾状核头,ICC:同侧小脑皮质;P₁:病变无活性组 vs 病变有活性组, P₂:T₁时刻 vs T₂时刻;b:评估病变性质(无活性病变、有活性病变)和分期(T₁、T₂)之间的相互作用

图1显示了各参数的ROC曲线,在常规扫描期使用病变 SUV_{max} 时,AUC为92.7%。在区分有活性和无活性病变时,不同参数的变化百分比不如单个病变的 SUV_{max} 值或靶本比在T₁、T₂时刻的比率明显。表1总结了有活性和无活性病变在T₁和T₂时刻每个参数的比较。除CWM在T₂时刻具有统计学意义($P=0.045$)外,所有参考点在有活性和无活性病变之间差异无统计学意义($P>0.05$),从而为每个解剖位置提供适当的参考。表2详细列出了每个参数在T₁和T₂时刻通过ROC分析计算出的最佳临界值。计算了每个参数的AUC值、诊断准确度、敏感度、特异度。对于变化百分比分别采用式(1)~式(4)获得。

病灶变化百分比计算公式:

$$\Delta T = \frac{Target_{T_2} - Target_{T_1}}{Target_{T_1}} \times 100\% \tag{1}$$

CWM、CCH、ICC对应靶本比变化百分比计算公式:

$$\Delta T/CWM = \frac{T/CWM_{T_2} - T/CWM_{T_1}}{T/CWM_{T_1}} \times 100\% \tag{2}$$

$$\Delta T/CCH = \frac{T/CCH_{T_2} - T/CCH_{T_1}}{T/CCH_{T_1}} \times 100\% \tag{3}$$

$$\Delta T/ICC = \frac{T/ICC_{T_2} - T/ICC_{T_1}}{T/ICC_{T_1}} \times 100\% \tag{4}$$

其中,Target_{T₁}和Target_{T₂}分别为常规扫描期与延迟扫描期病灶 SUV_{max} 值,T/CWM_{T₁}、T/CCH_{T₁}、T/ICC_{T₁}与

T/CWM_{T2}、T/CCH_{T2}、T/ICC_{T2} 分别为 CWM、CCH、ICC 在常规扫描期与延迟扫描期的靶本比。通过对变化百分比 ROC 分析得到准确度、灵敏度、特异度,综合3个指标可得:ICC>CWM>CCH(ΔT/CWM:灵敏度 77.8%、

特异度 72.7%、准确度 90.9%; ΔT/CCH: 灵敏度 88.9%、特异度 54.5%、准确度 91.1%; ΔT/ICC: 灵敏度 83.3%、特异度 72.7%、准确度 93.4%)。两例脑肿瘤患者双时相 PET/CT 扫描影像图如图 2、图 3 所示。

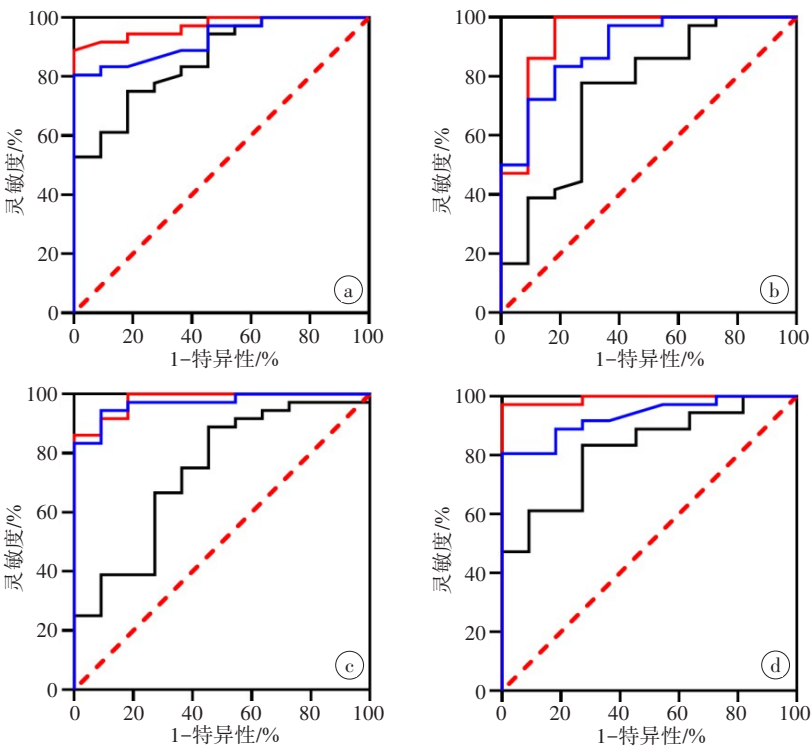


图 1 ROC 曲线图
Figure 1 ROC curves

常规扫描期 T₁: 蓝实线; 延迟扫描期 T₂: 红实线; 变化百分比: 黑实线, 红虚线对角线是参考线。图 1a 代表病变 SUV_{max} 的 ROC 曲线, T₁ 时刻和 T₂ 时刻 AUC 分别为 92.7% 和 97.1%, 变化百分比 AUC 为 85.7%; 图 1b 为 T/CWM 的 ROC 曲线, T₁ 时刻和 T₂ 时刻 AUC 分别为 89.7% 和 93.9%, 变化百分比 AUC 为 74.9%; 图 1c 为 T/CCH 的 ROC 曲线, T₁ 时刻和 T₂ 时刻 AUC 分别为 97.0% 和 98.0%, 变化百分比 AUC 为 73.7%; 图 1d 为 T/ICC 的 ROC 曲线, T₁ 时刻和 T₂ 时刻 AUC 分别为 93.2% 和 99.2%, 变化百分比 AUC 为 82.1%

表 2 基于 ROC 分析的最佳临界值及其诊断性能的相关度量
Table 2 Optimal cutoff values based on ROC analysis and associated measures of diagnostic performance

参数	CUT-OFF 值	AUC/%	95% 置信区间/%	准确度/%	灵敏度/%	特异度/%	P 值
病灶 SUV _{max} , T ₁	7.85	92.7	85.5~99.9	96.3	80.6	99.9	<0.000 1
病灶 SUV _{max} , T ₂	8.60	97.1	93.0~100	97.9	88.9	100	<0.000 1
T/CWM _{T1}	2.38	89.6	79.3~100	94.7	83.3	81.8	<0.000 1
T/CWM _{T2}	2.08	93.9	84.5~100	95.2	99.9	81.8	<0.000 1
T/CCH _{T1}	0.708	97.0	92.6~100	97.8	94.4	90.9	<0.000 1
T/CCH _{T2}	0.95	98.0	94.6~100	98.3	86.1	99.9	<0.000 1
T/ICC _{T1}	1.00	93.2	86.3~100	96.5	80.6	100	<0.000 1
T/ICC _{T2}	0.94	99.2	97.5~100	99.1	97.2	100	<0.000 1
ΔT	15.17	85.7	74.1~97.4	94.1	75.0	82.0	0.000 4
ΔT/CWM	5.21	74.9	57.1~92.7	90.9	77.8	72.7	0.013 3
ΔT/CCH	-6.01	73.7	56.3~91.4	91.1	88.9	54.5	0.018 2
ΔT/ICC	-0.655	82.1	69.2~95.0	93.4	83.3	72.7	0.001 4

CUT-OFF 值: 诊断临界值

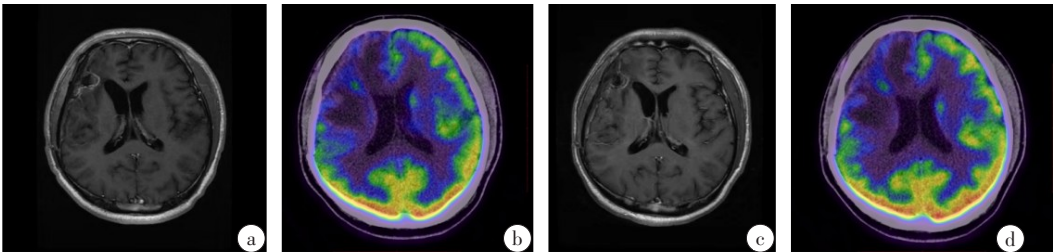


图2 脑胶质瘤患者影像
Figure 2 Images of a patient with glioblastoma

44岁男性,胶质母细胞瘤患者,20个月前行手术治疗。图2a为初诊MR,图2b为常规扫描期PET-CT,图2c为随访MR,图2d为延迟扫描期PET-CT。其中图2c较图2a增强扫描未见明显改变,对照图2b和图2d,病变显示环状周围FDG摄取,与无活性病灶一致。病灶SUV_{max}在常规扫描期图像上为8.3,在延迟期图像上为7.5

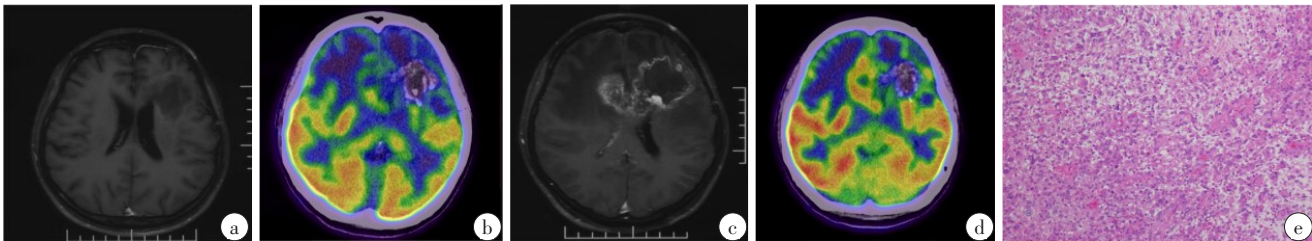


图3 脑星形细胞瘤患者影像
Figure 3 Images of a patient with astrocytoma

31岁女性,病理活检为星形细胞瘤IV级,术后并放疗后进展。图3a为初诊MR,图3b为常规扫描期PET-CT,图3c为随访MR,图3d为延迟扫描期PET-CT,图3e为病理涂片(×400)。其中图3a显示左侧额叶混杂密度灶周围见低密度水肿区,图3c显示,左侧治疗部位钙化无活性,右侧胼胝体膝部至右侧额叶较图3a进展有活性。对照图3b和图3d,病变显示环状周围FDG摄取,与肿瘤复发一致。病灶SUV_{max}在常规扫描期图像上为6.4,在延迟期图像上为9.0(增加40.6%)

3 讨论

¹⁸F-FDG 可被细胞膜上相应的转运蛋白识别并转运至细胞内。在糖酵解中,由于六磷酸葡萄糖不能被己糖激酶识别代谢且不能跨细胞膜被动转运。肿瘤组织具有瓦伯格效应,即肿瘤具有较高的糖酵解和乳酸分泌能力。故肿瘤细胞需要摄取大量葡萄糖,但正常脑组织也表现对葡萄糖高摄取^[8]。除了¹⁸F-FDG外,¹¹C-乙酸、¹¹C-胆碱等也被用于观察肿瘤对核素的特异性摄取,且已被证实在脑肿瘤成像方面优于FDG^[9-13]。虽然它们在单时相成像中较FDG在区分肿瘤复发和放射性坏死中更敏感,但正常本底摄取有限,炎性细胞摄取减少,故尚不能用于标准临床实践^[14]。研究表明,随着时间进行细胞内的六磷酸葡萄糖酶发挥去磷酸化作用降低了细胞内的葡萄糖摄取浓集,而脑肿瘤对FDG活性保持相对稳定或有所升高。因此,使得靶本比随时间进行进一步增大,双时相FDG PET/CT成像较传统的单时相成像,在原发和转移性脑肿瘤中的诊断准确性有所提高^[15]。这与Özütemiz等^[16]的结论具有一致性。此外Horky等^[17]选取了对侧额叶灰质做参考点,而本试

验采用了多个本底参考点:CWM、CCH和ICC。其中,CWM和CCH是为避免治疗侧可能出现的放射治疗停滞。且CCH代谢稳定,在大脑皮层的不同位置都可以看到。ICC被用来消除在跨小脑裂时,对侧小脑皮质可能出现的放疗效应。Özütemi等^[16]认为通过选取多个参考本底,减小了放疗效应可能发生的概率。但据统计分析,病变与CWM变化百分比、病变与CCH变化百分比等参数几乎没有相关性、可预测性和临床实用价值。所得结果与Horky等^[17]的结论一致。通过双时相扫描增加了病人影像信息,使得延迟期与常规扫描期图像形成对比,为提高诊断的准确率提供了影像数据支持。

本试验从技术上减少了病变在早期高浓集表现对诊断的影响,且不改变病变本身生物学属性。但对于观察的靶本比及靶本比变化百分比与Özütemi等^[16]得到的数据具有差异性。可能的原因有:①多发性脑肿瘤分布具有不确定性,对于参考点的测量具有差异性;②病灶直径<10 mm时因图像分辨率可能会对诊断造成影响;③样本容量有限,数据偏移性大,依从性较差。今后可增大样本容量,进一步探究

靶本比以及靶本比变化百分率在双时相扫描中的价值,以及发现应用新的能代替 ^{18}F -FDG并具有良好的易得性和普适性的放射性核素。

4 结 论

双时相扫描对于脑肿瘤的诊断较单时相扫描进一步明确了肿瘤的活性,对指导肿瘤放疗靶区的勾画、反馈治疗效果与预后,以及对肿瘤患者的全周期治疗方案的制定具有积极作用。

【参考文献】

- [1] 徐源佑, 张永辉, 丁璐璐, 等. 1972-2016年启东市脑肿瘤死亡趋势分析[J]. 中国慢性病预防与控制, 2021, 29(3): 236-240.
Xu YY, Zhang YH, Ding LL, et al. Trend analysis of brain tumor mortality in Qidong City from 1972-2016[J]. China Chronic Disease Prevention and Control, 2021, 29(3): 236-240.
- [2] 李文美. MRI检查技术专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2016, 50(10): 724-739.
Li WM. Expert consensus on MRI examination techniques [J]. Chinese Journal of Radiology, 2016, 50(10): 724-739.
- [3] Law I, Albert NL, Arbizu J, et al. Joint EANM/EANO/RANO practice guidelines/SNMMI procedure standards for imaging of gliomas using PET with radiolabelled amino acids and [^{18}F]FDG: version 1.0[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2019, 46(3): 540-557.
- [4] Galldiks N, Langen KJ, Albert NL, et al. PET imaging in patients with brain metastasis: report of the RANO/PET group[J]. Neuro Oncol, 2019, 21(5): 585-595.
- [5] Meric K, Killeen RP, Abi Ghanem AS, et al. The use of ^{18}F -FDG PET ratios in the differential diagnosis of common malignant brain tumors [J]. Clin Imaging, 2015, 39: 970-974.
- [6] Leiva-Salinas C, Muttikkal TJ, Flors L, et al. FDG PET/MRI coregistration helps predict response to gamma knife radiosurgery in patients with brain metastases[J]. AJR Am J Roentgenol, 2019, 212(2): 425-430.
- [7] Leiva-Salinas C, Schiff D, Flors L, et al. FDG PET/MR imaging coregistration helps predict survival in patients with glioblastoma and radiologic progression after standard of care treatment[J]. Radiology, 2017, 283(2): 508-514.
- [8] 廖栩鹤, 王荣福, 张建华, 等. 肿瘤正电子显像的临床应用现状与前景[J]. 肿瘤学杂志, 2019, 25(4): 364-371.
Liao XH, Wang RF, Zhang JH, et al. The overview of status and prospective of clinical application in oncology for positron emission tomography[J]. Journal of Oncology, 2019, 25(4): 364-371.
- [9] 赵升, 赵雷, 张锐, 等. 11C-乙酸盐与 ^{18}F -FDG PET/CT联合显像在原发性肝癌诊断中的应用[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2018, 38(9): 623-624.
Zhao S, Zhao L, Zhang R, et al. Application of 11C-acetate PET/CT combined with ^{18}F -FDG PET/CT imaging in the diagnosis of primary liver cancer[J]. Chinese Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, 2018, 38(9): 623-624.
- [10] 李玉来, 周明, 刘雨涛, 等. 11C-胆碱PET-CT显像在脑肿瘤诊断中的应用价值[J]. 中华转移性肿瘤杂志, 2020, 3(3): 200-204.
Li YL, Zhou M, Liu YT, et al. The value of 11C-choline PET-CT imaging in the diagnosis of brain tumors [J]. Chinese Journal of Metastatic Tumors, 2020, 3(3): 200-204.
- [11] 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.
- [12] Katsanos AH, Alexiou GA, Fotopoulos AD, et al. Performance of ^{18}F -FDG, 11C-methionine, and ^{18}F -FET PET for glioma grading: a meta-analysis[J]. Clin Nucl Med, 2019, 44(11): 864-869.
- [13] Tomura N, Kokubun M, Saginoya T, et al. Differentiation between treatment-induced necrosis and recurrent tumors in patients with metastatic brain tumors: comparison among 11C-methionine-PET, FDG-PET, MR permeability imaging, and MRI-ADC-preliminary results[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2017, 38(8): 1520-1527.
- [14] Chen W, Cloughesy T, Kamdar N, et al. Imaging proliferation in brain tumors with ^{18}F -FLT PET: comparison with ^{18}F -FDG[J]. J Nucl Med, 2005, 46(6): 945-952.
- [15] Bochev PH, Klisarova A, Kaprelyan AG, et al. Delayed FDG-PET/CT images in patients with brain tumors: impact on visual and semiquantitative assessment[J]. J IMAB, 2013, 19(1): 367-371.
- [16] Özütemiz C, Neil EC, Tanwar M, et al. The role of dual-phase FDG PET/CT in the diagnosis and follow-up of brain tumors[J]. AJR Am J Roentgenol, 2020, 215(4): 985-996.
- [17] Horky LL, Hsiao EM, Weiss SE, et al. Dual phase FDG-PET imaging of brain metastases provides superior assessment of recurrence versus post-treatment necrosis[J]. J Neurooncol, 2011, 103(1): 137-146.

(编辑: 薛泽玲)