

论 著

动态磁敏感对比磁共振成像与磁共振弥散张量成像联合检查对高级别脑胶质瘤术后复发情况的评估分析*

张事达 钱伟军* 李立
赵文 商飞翔 李冠军
刘波 束鹏辉 刘军旗
开封市中心医院医学影像科
(河南 开封 475000)

【摘要】 **目标** 探究动态磁敏感对比磁共振成像(DSC-MRI)联合磁共振弥散张量成像(DTI)检查在高级别脑胶质瘤术后复发中的评估价值。**方法** 回顾性分析2021年1月至2023年12月于我院就诊且同时接受DSC-MRI、DTI检查的62例疑似脑胶质瘤术后复发患者临床资料,以组织病理学诊断为金标准分为术后复发组及非术后复发组,比较其入院时DSC-MRI参数[相对脑血容量(rCBV)值、相对脑血流量(rCBF)值]、DTI参数[病变区的表现弥散系数(ADC)、相异性分数(FA)]差异,并经ROC曲线评估上述参数在脑胶质瘤术后复发诊断中的效能。以《脑胶质瘤诊疗规范(2018年版)》中的世界卫生组织(WHO)中枢神经系统肿瘤分类为依据,将术后复发组患者根据肿瘤恶性程度分为高级别(WHO分级为III级、IV级)及低级别(WHO分级为I级、II级)两亚组,比较各亚组入院时DSC-MRI参数(rCBV、rCBF值)及DTI参数(ADC、FA)差异,经ROC曲线评估相关参数高级别脑胶质瘤患者术后复发的评估效能。**结果** 组织病理学诊断结果显示,62例脑胶质瘤患者中,术后复发组为45例(72.58%),术后非复发组为17例(27.42%)。术后复发组rCBV值、rCBF值明显高于非术后复发组($P<0.05$);FA、ADC值明显低于非术后复发组($P<0.05$)。ROC曲线结果显示,DSC-MRI联合DTI在脑胶质瘤术后复发的诊断的曲线下面积(AUC值)分别为0.905、0.875、0.869、0.767、0.995。高级组rCBV值、rCBF值明显高于低级组($P<0.05$);FA、ADC值明显低于低级组($P<0.05$)。ROC曲线结果显示,DSC-MRI联合DTI对高级别脑胶质瘤患者术后复发评估的曲线下面积(AUC值)分别为0.903、0.918、0.879、0.906、0.976。**结论** DSC-MRI与DTI联合应用对脑胶质瘤患者诊断效能较好,且可对不同恶性程度的脑胶质瘤进行准确评估,有利于高级别脑胶质瘤复发的预防与识别,有助于相关治疗方案的制定。

【关键词】 DSC-MRI; DTI; 高级别; 复发; 脑胶质瘤

【中图分类号】 R742

【文献标识码】 A

【基金项目】 2023年度开封市科技发展计划项目(2307011)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.03.002

Evaluation and Analysis of Postoperative Recurrence Status of High-grade Brain Glioma by Dynamic Susceptibility Contrast Magnetic Resonance Imaging Combined with Magnetic Resonance Diffusion Tensor Imaging*

ZHANG Shi-da, QIAN Wei-jun*, LI Li, ZHAO Wen, SHANG Fei-xiang, LI Guan-jun, LIU Bo, SHU Peng-hui, LIU Jun-qi.

Department of Medical Imaging, Kaifeng Central Hospital, Kaifeng 475000, Henan Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the evaluated value of dynamic susceptibility contrast magnetic resonance imaging (DSC-MRI) combined with magnetic resonance diffusion tensor imaging (DTI) evaluation on postoperative recurrence of high-grade brain glioma. **Methods** The clinical data of 62 patients with suspected postoperative recurrence of brain glioma who received DSC-MRI and DTI in the hospital were retrospectively analyzed from January 2021 to December 2023. The patients were divided into postoperative recurrence group and postoperative non-recurrence group by taking histopathological diagnosis as gold standard. The differences in DSC-MRI parameters [relative cerebral blood volume (rCBV), relative cerebral blood flow (rCBF)] and DTI parameters [apparent diffusion coefficient (ADC), fractional anisotropy (FA)] at admission were compared. ROC curve was used to evaluate the efficiency of the above parameters in the diagnosis of postoperative recurrence of brain glioma. Taking World Health Organization (WHO) classification of central nervous system tumors in "Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Gliomas (2018 Edition)" as basis, the patients in the postoperative recurrence group were classified into high-grade (WHO grade III or IV) subgroup and low-grade (WHO grade I or II) subgroup according to the tumor malignancy degree. The differences in DSC-MRI parameters (rCBV, rCBF) and DTI parameters (ADC, FA) were compared between the subgroups at admission. ROC curve was used to evaluate the evaluated efficiency of the above parameters on postoperative recurrence of patients with high-grade brain glioma. **Results** Histopathological diagnosis showed that among 62 patients with brain glioma, 45 cases (72.58%) were in postoperative recurrence group and 17 cases (27.42%) were in postoperative non-recurrence group. The rCBV and rCBF in postoperative recurrence group were significantly higher than those in postoperative non-recurrence group ($P<0.05$) while the FA and ADC were significantly lower than those in postoperative non-recurrence group ($P<0.05$). ROC curve results showed that the areas under the curves (AUCs) of DSC-MRI parameters, DTI parameters and combination in the diagnosis of postoperative recurrence of brain glioma were 0.905, 0.875, 0.869, 0.767 and 0.995 respectively. The rCBV and rCBF in high-grade subgroup were significantly higher ($P<0.05$) while the FA and ADC were significantly lower than those in low grade group ($P<0.05$). ROC curve results suggested that the AUCa of the above parameters for postoperative recurrence of patients with high-grade brain glioma were 0.903, 0.918, 0.879, 0.906 and 0.976 respectively. **Conclusion** The combined application of DSC-MRI and DTI has good diagnostic efficiency on patients with brain glioma, and can accurately evaluate the brain glioma with different malignancy degrees, and it is conducive to the prevention and identification of recurrence of high-grade brain glioma, and is helpful for the formulation of relevant treatment regimens.

Keywords: DSC-MRI; DTI; High-grade; Recurrence; Brain Glioma

脑胶质瘤是中枢神经系统常见的原发性肿瘤之一^[1],起源于神经胶质细胞^[2]。这类肿瘤根据其细胞来源可分为星形细胞瘤^[3]、少突胶质细胞瘤、室管膜瘤等。脑胶质瘤具有高度的异质性,临床表现和预后差异较大。其发病机制复杂,可能与遗传^[4]、环境^[5]以及基因突变^[6]等因素有关,常表现为头痛^[7]、神经功能缺失^[8]等症状。当患者由于复杂致病因素使得肿瘤细胞的增殖能力增强、组织结构破坏加重以及基因突变积累,将会使得低级别脑胶质瘤向高级别发展。而高级别脑胶质瘤则具有增殖快速^[9]、侵袭性强^[10]、复发率高^[11]、预后较差^[12]等特点^[13],且更易侵犯周围正常脑组织,形成不清晰的肿瘤边界,更易使得血管增生。尽管手术、放疗及化疗等综合治疗手段已在临床中广泛应用,但术后肿瘤复发仍是伴有高级别脑胶质瘤死亡的主要原因。然而,由于脑胶质瘤复发的临床症状和影像学表现与治疗后脑组织变化(如放射性脑组织坏死)极为相似。因此,准确区分高级别脑胶质瘤对后续治疗及预后至关重要。磁共振成像(MRI)等传统影像学检查是高级别脑胶质瘤术后复发的主要手段。然而,单纯依赖常规MRI在区分相关方面的变化有一定的局限性。近年来,磁共振弥散张量成像(DTI)等高级成像技术为此类疾病的诊断做出巨大贡献,该技术能够评估肿瘤与正常脑组织关系,并通过评估水分子在组织中的扩散特性区分脑胶质瘤与放射性脑组织坏死^[14]。而动态磁敏感对比磁共振成像(DSC-MRI)则能够通过评估肿瘤区血流动力学变化,有助于复发性肿瘤诊断与识别^[15]。二者联用能够有效为临床提供更全面、准确的评估依据,综合评估复发风险,推动高级别脑胶质瘤的个性化治疗与管理,改善其预后。本文探讨DSC-MRI与DTI联合应用在高

【第一作者】 张事达,男,主治医师,主要研究方向: MRI诊断。E-mail: Zsd329977910@163.com

【通讯作者】 钱伟军,男,主任医师,主要研究方向: MRI诊断。E-mail: qwj1120714@126.com

级别脑胶质瘤术后复发评估中的价值，以期提供更加准确和可靠的复发诊断依据，为临床决策提供重要参考，现作总结如下：

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2021年1月至2023年12月于我院就诊且同时接受DSC-MRI、DTI检查的62例疑似脑胶质瘤术后复发患者临床资料，其中男性35例，女性27例，平均年龄为(42.55±7.19)岁。

纳入标准：(1)符合《脑胶质瘤诊疗规范(2018年版)》^[15]中高级别脑胶质瘤相关诊断标准，且经病理学检测确诊为高级别脑胶质瘤；(2)年龄18岁及以上；(3)已进行手术者，且于术后6周或3个月内进行影像学评估；(4)患者及家属均签署《知情同意书》。
排除标准：(1)合并伴有心肺疾病、肾功能不全等严重器质性疾病者；(2)因运动伪影或其他原因导致DSC-MRI或DTI影像质量不佳，无法进行有效分析者；(3)合并伴有癫痫等其他严重的中枢神经系统疾病患者；(4)处于孕期及哺乳期的女性患者。

1.2 方法

1.2.1 DSC-MRI检查：患者以仰卧位置于MRI扫描仪检查台，并确保患者头部位于磁场中心，随后采用头部固定装置对头部进行固定。准备完毕后，以层厚3.6mm，TE20ms，TR2800ms为设置参数进行采用梯度回波-平面回波成像序列(GRE-EPI)进行DSC-MRI检查，并连续扫描30期像。将钆喷酸葡胺5mL采用高压注射器以3.5mL/s于第6期相开始时经肘静脉注入患者机体，待注射完毕后将10mL0.9%无菌氯化钠溶液注入，共计扫描时间90s，记录相对脑血容量(rCBV)及相对脑血流量(rCBF)值。

1.2.2 DTI检查：患者平卧于检查台，使其头部位于线圈中间，并采用头部固定装置对其头部进行固定。准备完毕后采用自旋-平面回波序列(SE-EPI)以15个不方向弥散梯度场、弥散敏感系数为0.1000s/mm²、层厚为6.0mm、层间距为1.0mm进行DTI扫描，共扫描19个层面获得304层图像。共计扫描时间4min37s。同时采用T2加权成像(T2WI)做最后3个方位扫描，并记录病变区的表现弥散系数(ADC)、相异性分数(FA)。

1.2.3 诊断效能评估方法：以组织病理学诊断为金标准分为术后复发组及非术后复发组，比较其入院时DSC-MRI参数(rCBV、rCBF)、DTI参数(ADC、FA)差异，并经ROC曲线评估上述参数在脑胶质瘤术后复发诊断中的效能。

1.2.4 高级别脑胶质瘤患者术后复发的评估效能 评估方法 以脑胶质瘤诊疗规范(2018年版)中的世界卫生组织(WHO)中枢神经系统肿瘤分类为依据，将术后复发组患者根据肿瘤恶性程度分为高级别(WHO分级为III级、IV级)及低级别(WHO分级为I级、II级)两亚组，比较各亚组入院时DSC-MRI参数(rCBV、rCBF)及DTI参数(ADC、FA)差异，经ROC曲线评估相关参数在胶质瘤术后复发分级中的评估效能。

1.3 统计学方法 采用SPSS 25.0软件进行数据分析，其中计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示，组间比较采用独立样本t检验；计数资料以[n(%)]表示，组间比较采用 χ^2 检验；采用MedCal软件绘制ROC曲线，并以rCBV、rCBF、ADC、FA参数作为检验变量，肿瘤恶性程度作为状态变量(1=高级别脑胶质瘤，0=低级别)脑胶质瘤，以P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 组织病理学诊断结果 组织病理学诊断结果显示，62例脑胶质瘤患者中，术后复发组为45例(72.58%)，术后非复发组为17例(27.42%)。

2.2 术后复发组与非术后复发组脑胶质瘤患者DSC-MRI、DTI参数比较 术后复发组rCBV值、rCBF值显著高于非术后复发组(P<0.05)；FA、ADC值显著低于非术后复发组(P<0.05)，见表1。

2.3 DSC-MRI联合DTI在脑胶质瘤术后复发中的诊断效能 DSC-MRI联合DTI在脑胶质瘤术后复发中的诊断的AUC值分别为0.905、0.875、0.869、0.767、0.995，见表2、图1。

2.4 不同恶性程度的脑胶质瘤术后复发患者DSC-MRI、DTI参数比较 高级组rCBV值、rCBF值显著高于低级组(P<0.05)；FA、ADC值显著低于低级组(P<0.05)，见表3。

表1 术后复发组与非术后复发组脑胶质瘤患者DSC-MRI、DTI参数比较

组别	例数	rCBV值	rCBF值	FA(10 ⁻³ mm/s)	ADC(10 ⁻³ mm/s)
术后复发组	45	2.89±0.86	2.03±0.31	0.34±0.04	1.50±0.14
非术后复发组	17	1.17±0.15	1.26±0.18	0.45±0.07	1.69±0.25
t值		8.158	9.616	7.759	3.788
P值		0.000	0.000	0.000	0.000

表2 DSC-MRI联合DTI在脑胶质瘤术后复发中的诊断效能

参数	AUC	cut-off值	95%CI	P值	敏感度	特异度	约登指数
rCBV值	0.905	1.995	0.804~0.965	<0.001	0.800	0.941	0.741
rCBF值	0.875	1.180	0.767~0.945	<0.001	0.956	0.824	0.780
FA	0.869	0.395	0.759~0.941	<0.001	0.844	0.795	0.639
ADC	0.767	1.635	0.643~0.865	0.001	0.933	0.529	0.455
联合	0.995	-	0.984~1.000	<0.001	0.978	0.882	0.860

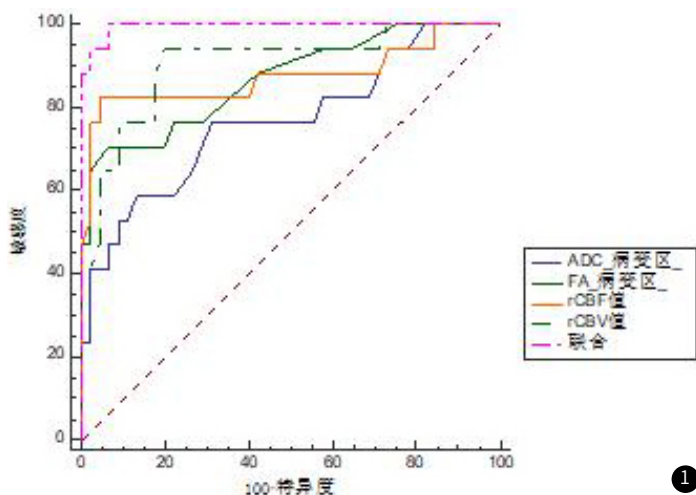


图1 DSC-MRI联合DTI在脑胶质瘤术后复发中的诊断效能ROC曲线。

表3 不同恶性程度的脑胶质瘤术后复发患者DSC-MRI、DTI参数比较

组别	例数	rCBV值	rCBF值	FA(10 ⁻³ mm/s)	ADC(10 ⁻³ mm/s)
高级组	26	3.16±0.42	2.31±0.29	0.31±0.03	1.38±0.11
低级组	19	2.51±0.18	1.65±0.16	0.39±0.05	1.67±0.23
t值		6.320	8.956	6.690	5.625
P值		0.000	0.000	0.000	0.000

2.5 DSC-MRI联合DTI对高级别脑胶质瘤患者术后复发的评估效能

DSC-MRI联合DTI对高级别脑胶质瘤患者术后复发的AUC值分别为0.903、0.918、0.879、0.906、0.976，见表4、图2。

2.6 典型病例 见图3。

表4 DSC-MRI联合DTI对高级别脑胶质瘤患者术后复发的评估效能

参数	AUC	cut-off值	95%CI	P值	敏感度	特异度	约登指数
rCBV值	0.903	2.820	0.777~0.971	<0.001	0.846	0.947	0.793
rCBF值	0.918	1.975	0.797~0.979	<0.001	0.889	0.947	0.836
FA	0.879	0.385	0.747~0.957	<0.001	0.923	0.368	0.291
ADC	0.906	1.460	0.781~0.972	<0.001	0.885	0.474	0.359
联合	0.976	-	0.879~0.999	<0.001	0.923	0.895	0.818

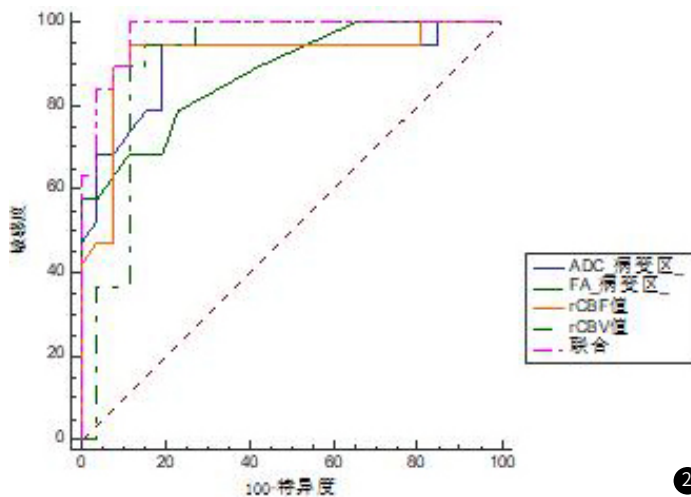


图2 DSC-MRI联合DTI对高级别脑胶质瘤患者术后复发的评估效能ROC曲线。

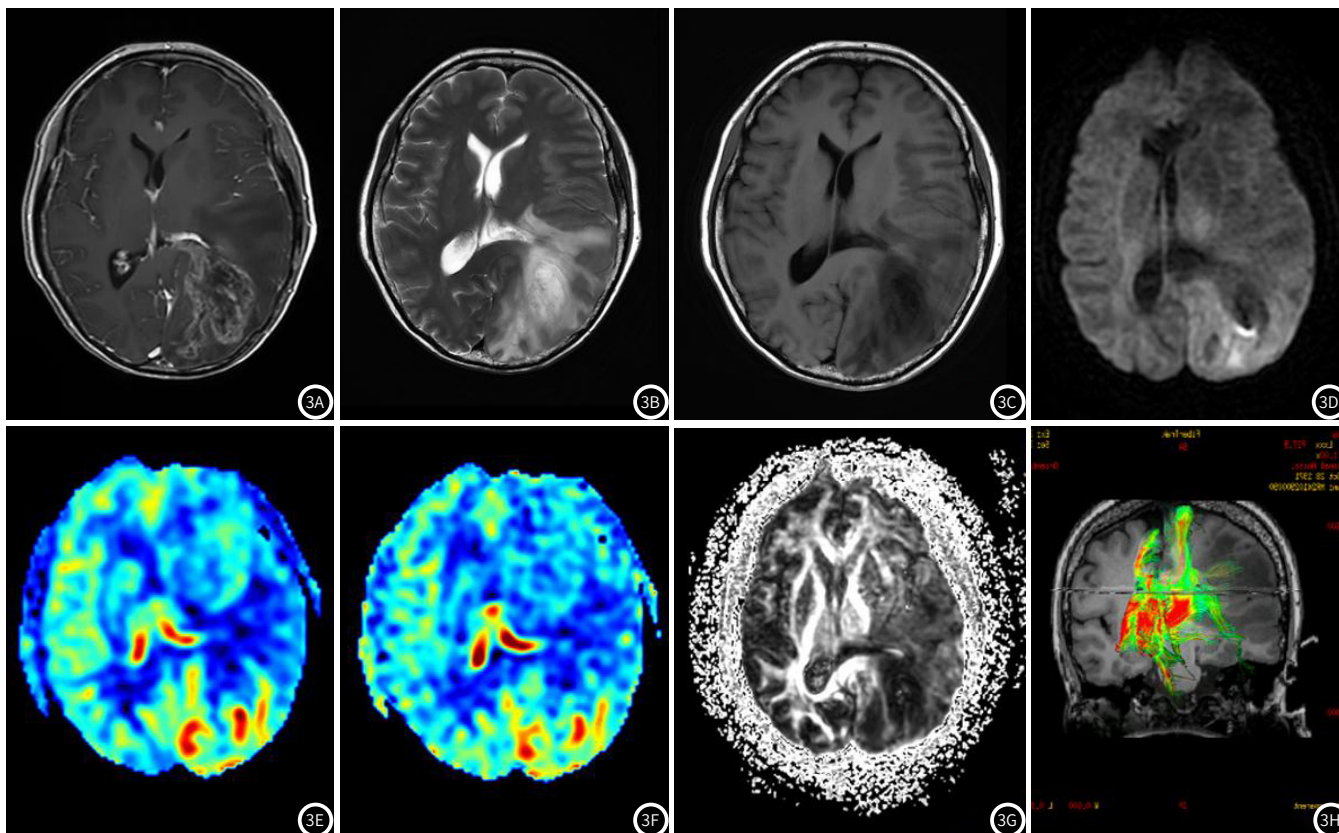


图3 典型病例。男性，46岁，经组织病理学诊断确诊为胶质母细胞瘤IV级。术后，经随访证实为肿瘤复发。图3A为放疗后3个月T1增强图像，呈脑回状强化。图3B为T2序列呈不均匀高信号。图3C为T1序列呈低信号。图3D为DWI序列呈稍高信号。图3E~图3F分别为CBV、CBF伪彩图，病灶区CBV及CBF较对侧升高。图3G~图3H分别为FA图和DTI图，见图3。

3 讨论

在高级别脑胶质瘤术后,准确区分肿瘤复发和治疗相关改变(如放射性坏死)对于制定后续治疗方案至关重要。然而,传统影像学方法,如常规MRI,往往难以明确区分这些病理状态,具有一定局限性。动态磁敏感对比磁共振成像DSC-MRI是一种基于灌注成像的技术,能够通过检测肿瘤区域的血流动力学变化,提供肿瘤微循环状态的信息,有助于发现复发的肿瘤组织^[15]。DTI可通过反映水分子在组织内的弥散行为,揭示组织的微观结构变化,尤其是对于脑白质束的改变具有敏感性^[16]。两种成像技术的联合应用能够提供更加全面的影像学信息,不仅能够提高术后复发的早期诊断准确性,还可以更好地评估肿瘤的侵袭范围和微观组织结构的变化,进而为临床医生提供更为精确的诊断依据。

ADC反映水分子在组织中的弥散情在复发性脑胶质瘤中,肿瘤细胞的密度较高,水分子的自由弥散受限,ADC值降低,提示肿瘤复发。在复发性胶质瘤中,肿瘤可能侵袭白质,破坏正常的神经纤维结构,导致FA值降低。FA值变化有助于识别复发肿瘤对周围白质的侵袭情况,尤其在判断胶质瘤的扩展和浸润范围方面有重要作用。本研究表明,术后复发组rCBV、rCBF高于非术后复发组;病变区FA、ADC值低于非术后复发组,表明术后复发的脑胶质瘤患者脑部血流灌注更为活跃,具体原因可能包括以下几点:①肿瘤复发时,癌细胞为维持生长和扩展会刺激血管生成(即肿瘤内新血管形成),而该类新生血管通常密集且结构异常,进而导致肿瘤区域的血容量和血流量明显增加;②复发肿瘤侵袭性更强,且该类肿瘤通常处于快速生长阶段,对氧气和营养的需求更高,因此使得血流灌注方面表现显著增高。本研究还发现,DSC-MRI联合DTI在脑胶质瘤术后复发中具有良好的诊断效能,猜测原因可能为首先,DSC-MRI能够通过直观显示血流动力学信息区分肿瘤复发与放射性坏死等低血流状态,同时DTI在检测脑白质束的完整性方面具有敏感性,可有效反映组织微结构变化,并呈现不同的弥散特征。其次,DSC-MRI强调肿瘤的血管和血流特性,而DTI则关注组织的细胞结构和纤维束完整性。两者的结合提供了功能成像和结构成像的双重视角,能够更全面地评估病变区的特征。这种互补性使得两项技术在单独使用时无法获得的诊断信息通过联合应用得以全面呈现,显著提升了复发诊断的准确性。联合应用后,可以通过DSC-MRI和DTI的多参数进行综合评估,减少单一技术可能导致的误判。

本研究发现,高级组rCBV值、rCBF值高于低级组;病变区FA、ADC值低于低级组,表明高级别脑胶质瘤血流变化及组织微结构变化相较于低级别脑胶质瘤变化更为明显,究其原因可能为高级别胶质瘤血管生成活跃,血供需求大,进而导致rCBV、rCBF值明显高于低级别胶质瘤,其次高级别胶质瘤细胞密度较高,限制水分子的弥散,导致ADC值降低;又因为该级别肿瘤侵袭性较强,对脑白质束破坏程度较高,FA值也显著降低。低级别胶质瘤细胞密度低,弥散相对自由,ADC值较高,且对脑白质束的破坏较少,FA值较高。在本研究中,DSC-MRI联合DTI对高级别脑胶质瘤患者术后复发的评估效能较优,这可能与上述两种技术联合应用能够直观反映患者血流变化及肿瘤微观变化有关。

综上所述,DSC-MRI与DTI联合应用对脑胶质瘤患者具有良好的诊断效能,且可对高级别脑胶质瘤进行有效评估,有利于高级别脑胶质瘤复发的预防与识别,有助于相关治疗方案的制定。

参考文献

- [1] 刘蕊,史可,王兰. CT与MRI对原发性中枢神经系统淋巴瘤和脑胶质瘤的鉴别诊断分析[J]. 中国肿瘤临床与康复, 2022, 29(4): 385-389.
- [2] 陈锡贤,孙海峰,成江,等. 脑神经胶质瘤细胞癌胚抗原相关细胞黏附分子1对替莫唑胺化疗敏感性的作用及其机制研究[J]. 中国现代医学杂志, 2023, 33(4): 27-32.
- [3] 郑丽远,徐文中,任飞,等. CT与MRI扫描在脑胶质瘤术前诊断中的应用效果分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024(2): 22.
- [4] 郭瑶,赖名耀,李少群,等. 成人丘脑胶质瘤与成人脑干胶质瘤分子遗传特征的差异与预后相关[J]. 临床神经外科杂志, 2024, 21(3): 273-279.
- [5] 邓晓冬,杨育辉,梁钰华,等. 红豆杉脑胶质瘤微环境重建介导TH17/Treg免疫平衡的机制研究[J]. 脑与神经疾病杂志, 2024, 32(5): 317-322.
- [6] 邹霞,严欣然,李榆欣,等. 3D-APT及ADC直方图分析预测IDH突变型WHO2/3级胶质瘤中ATRX基因突变的价值研究[J]. 中华神经医学杂志, 2024, 23(7): 659-668.
- [7] 王坤,武江,田婊子,等. 临床表现不典型的脑胶质瘤误诊原因分析[J]. 临床误诊误治, 2023, 36(2): 30-33.
- [8] 宋旭东,陈华轩,邓学云. 岛叶脑胶质瘤显微镜下切除术中不同神经导航辅助技术对切除效果,神经肽水平及术后认知功能的影响[J]. 医学综述, 2022, 28(17): 3511-3516.
- [9] 葛鑫,刘光耀,甘铁军,等. 合成MRI联合弥散加权成像评估胶质瘤级别及肿瘤细胞增殖活性[J]. 中国医学影像技术, 2023, 39(2): 171-175.
- [10] 黄露露,张孟贤,于世英. 细胞间网络连接在高级别胶质瘤中的作用研究进展[J]. 中国临床神经外科杂志, 2022, 27(1): 51-52.
- [11] 黄冠又,侯小红,张欣,等. 蛋白磷酸酶2A活性抑制因子的表达对脑胶质瘤患者的预后意义及其作用机制的探讨[J]. 中华神经外科杂志, 2024, 40(3): 291-298.
- [12] 周江芬,赖名耀,蔡林波. 老年高级别胶质瘤临床特点及预后分析[J]. 中国医药导报, 2022, 19(23): 27-31.
- [13] 田丽丽,戴盟,郭红燕. FGL1调控口腔鳞状细胞癌细胞上皮-间充质转化的机制及其与临床病理特征的关系[J]. 临床与病理杂志, 2023, 43(12): 2080-2089.
- [14] 黄和平,孙毅,郭桂兰. 磁共振弥散张量成像结合弥散张量纤维束成像在脑胶质瘤分级及诊断中的应用价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(9): 19-21.
- [15] 严君,徐瑾,林慧慧,等. MR动态磁敏感对比增强灌注成像鉴别脑胶质瘤复发与假性进展的应用研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(10): 8-10.
- [16] 李旭朝,成晶晨,徐立新. DTI纤维束重建联合术中超声在脑功能区胶质瘤手术中的应用[J]. 影像科学与光化学, 2022, 40(3): 494-498.

(收稿日期: 2025-02-18)

(校对: 翁佳鸿 排版: 张鸿燊)