

论 著

基于常规MRI的影像学特征联合MRS在脑胶质瘤术前分级评估及预测术后复发的应用研究

王伟¹ 沈龙山^{1,2,3,*} 程雯⁴
陈刘成^{2,3,5} 王震寰^{2,6}

1.蚌埠医学院第二附属医院放射科
(安徽 蚌埠 233040)

2.数字医学与智慧健康安徽普通高校重点实验室(蚌埠医学院), 蚌埠医学院临床应用解剖研究所 (安徽 蚌埠 233004)

3.蚌埠医学院医学影像学院
(安徽 蚌埠 233030)

4.蚌埠学院文学与教育学院
(安徽 蚌埠 233000)

5.蚌埠医学院第一附属医院放射科
(安徽 蚌埠 233004)

6.蚌埠医学院人体解剖教研室
(安徽 蚌埠 233030)

【摘要】目的 探讨常规MRI的影像学特征联合MRS成像在脑胶质瘤术前分级评估及预测术后复发中的价值。**方法** 分析68例经病理学证实及标准手术治疗的脑胶质瘤患者的临床资料。术前均进行MRI平扫增强检查及MRS检查。使用3D-Slicer软件测量肿瘤实质区体积及表面积、瘤周水肿体积、瘤周水肿体积与肿瘤实质区体积之比,同时测量肿瘤实质区及瘤周水肿区Cho/NAA、Cho/Cr的比值,比较术后不同病理级别与上述测量值的相关性。随访患者术后6~24个月内的复发情况。比较复发与未复发患者的肿瘤实质区体积、瘤周水肿体积、瘤周水肿体积与肿瘤实质区体积之比、肿瘤实质区Cho/NAA、Cho/Cr的比值。采用ROC曲线评估上述指标对预测脑胶质瘤术后复发的效能。**结果** 高级别胶质瘤组肿瘤实质区体积及表面积、瘤周水肿体积、瘤周水肿体积与肿瘤实质区体积之比、肿瘤实质区及瘤周水肿区Cho/NAA、Cho/Cr的比值高于低级别胶质瘤组,差异具有统计学意义($P<0.05$)。与未复发患者比较,复发患者术前肿瘤实质区体积、瘤周水肿体积、瘤周水肿体积与肿瘤实质区体积之比、肿瘤实质区Cho/NAA、Cho/Cr的比值均较高,绘制ROC曲线分析上述指标对预测脑胶质瘤术后复发具有较高价值。**结论** 常规MRI的影像学特征联合MRS可评估脑胶质瘤的术前分级诊断,同时对预测术后复发具有价值。

【关键词】 脑胶质瘤; 影像特征; 分级; 磁共振波谱成像

【中图分类号】 R445.2

【文献标识码】 A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.07.005

【第一作者】 王伟,男,住院医师,中枢神经系统疾病影像学研究, E-mail: 1325673570@qq.com

【通讯作者】 沈龙山,男,主任医师,中枢神经系统疾病影像学研究, E-mail: trede@163.com

Application of Imaging Features based on Conventional MRI Combined with MRS in Preoperative Grading Evaluation and Prediction of Postoperative Recurrence of Glioma

WANG Wei¹, SHEN Long-shan^{1,2,3,*}, CHENG Wen⁴, CHEN Liu-cheng^{2,3,5}, WANG Zhen-huan^{2,6}

1.Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital of Bengbu Medical College, Bengbu 233040, Anhui Province, China

2.Key Laboratory of digital medicine and intelligent health in Anhui Universities (Bengbu Medical College), Institute of clinical applied anatomy, Bengbu Medical College, Bengbu 233004, Anhui Province, China

3.School of medical imaging, Bengbu Medical College, Bengbu 233030, Anhui Province, China

4.School of literature and education, Bengbu University, Bengbu 233000, Anhui Province, China

5.Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Bengbu Medical College, Bengbu 233004, Anhui Province, China

6.Department of human anatomy, Bengbu Medical College, Bengbu 233030, Anhui Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the value of conventional MRI imaging features combined with MRS imaging in preoperative grading evaluation and prediction of postoperative recurrence of glioma. **Methods** The clinical data of 68 patients with brain glioma confirmed by pathology and treated by standard operation were analyzed. Preoperative MRI plain enhanced examination and MRS examination were performed. 3D-Slicer software was used to measure the volume and surface area of tumor parenchyma, the volume of peritumoral edema, and the ratio of the volume of peritumoral edema to the volume of tumor parenchyma. Meanwhile, the ratio of Cho/NAA and Cho/Cr of tumor parenchyma and peritumoral edema were measured, and the correlation between the above measured values and different postoperative pathological grades was compared. Patients were followed up for recurrence 6 to 24 months after operation. The volume of tumor parenchyma, the volume of peritumoral edema, the ratio of the volume of peritumoral edema to the volume of tumor parenchyma, and the ratio of Cho/NAA and Cho/Cr in tumor parenchyma were compared between recurrent and non-recurrent patients. ROC curve was used to evaluate the efficacy of the above indexes in predicting postoperative glioma recurrence. **Results** The volume and surface area of tumor parenchyma, the volume of peritumoral edema, the ratio of peritumoral edema volume to the volume of tumor parenchyma, and the ratio of Cho/NAA and Cho/Cr in the tumor parenchyma and peritumoral edema in the high-grade glioma group were higher than those in the low-grade glioma group. In the grade glioma group, the difference was statistically significant ($P<0.05$). Compared with non-relapsed patients, the preoperative tumor parenchymal volume, peritumoral edema volume, ratio of peritumoral edema volume to tumor parenchymal volume, and Cho/NAA and Cho/Cr ratios in tumor parenchyma were higher in patients with recurrence. ROC curve analysis of the above indicators has high value in predicting postoperative glioma recurrence. **Conclusion** The imaging features of conventional MRI combined with MRS can evaluate the preoperative grading diagnosis of glioma, and it is also valuable for predicting postoperative recurrence.

Keywords: Glioma; Image Features; Classification; Magnetic Resonance Spectrum Imaging

脑胶质瘤是中枢神经系统中常见的恶性肿瘤,其特征是弥漫性浸润,预后不良^[1]。在恶性脑肿瘤中,胶质瘤发病率和死亡率较高,目前主要还是以手术治疗为主,因此术前对脑胶质瘤进行准确的分级诊断以及判断预后是影像学的重要研究内容^[2-3]。按照WHO标准可以将胶质瘤分为低级别(I、II级)与高级别(III、IV级),级别越高,恶性程度越高^[4]。本研究回顾性分析有完整术前资料及随访信息的68例不同级别脑胶质瘤患者,旨在探讨常规MRI的影像学特征联合MRS在脑胶质瘤术前分级诊断及预测术后复发中的价值,为肿瘤浸润范围的评估、临床治疗方案的选取以及预后的判断提供重要的参考依据。

1 资料与方法

1.1 临床资料 收集我院2020年1月至2022年1月经手术病理学证实的68例脑胶质瘤患者的临床资料,其中男性32例,女性36例,年龄30~85岁,平均 (51.52 ± 13.40) 岁。根据WHO对中枢神经胶质瘤的分类标准,将I级和II级定义为低级别胶质瘤(low grade glioma, LGG), III级和IV级定义为高级别胶质瘤(high grade glioma, HGG)。本组研究对象中低级别胶质瘤31例,高级别胶质瘤37例。所有患者经标准化手术治疗后,在随访过程中复发30例,未复发38例。

1.2 检查方法 所有患者均接受头颅MRI检查,使用Philips Achieva 3.0T磁共振扫描仪进行常规MRI检查和1H-MRS检查。常规MRI检查包括MRI平扫及增强检查,对比剂使用钆喷酸葡胺(GD-DTPA),剂量为0.2mmol/kg,注射流率为3mL/s。MRS采用点分辨波谱技术,其扫

描参数为：TR 2000.0ms、TE 144.0ms，FOV 200mm×162mm，NEX 1，体素大小为10mm×10mm×10mm，扫描时间为4min 34s，在T₁WI增强轴位和平扫T₂WI轴位上的肿瘤最大实性层面上定位，包括肿瘤实性部分及瘤周水肿区。同时获取T₁WI序列、T₂WI序列及T₁WI增强序列等。

1.3 图像的获取与分析 检查结束后将图像上传至后处理工作站，由2名高年资磁共振影像医师分别对图像进行分析。在MRI图像上，根据T₂WI像以及增强T₁WI图像上的信号特点确定肿瘤周围水肿区及肿瘤实质部分的范围。对于肿瘤的增强T₁WI像上有强化，则将明显强化的区域作为肿瘤的实质部分，对于未见明显强化的低级别胶质瘤，以在T₂WI像上的高信号或稍高信号的的中心区域作为肿瘤实质部分，肿瘤周围水肿区域则是位于肿瘤实质周围，T₁WI呈低信号，T₂WI呈高信号，增强未见强化。使用3D-Slicer软件，在T₂WI像及T₁WI增强图像上逐层勾画肿瘤周围水肿及肿瘤实质区的范围，软件得出其表面积及体积，见图1和图2。设肿瘤实质区体积为V_G，则高级别胶质瘤肿瘤实质区体积为V_{HG}，低级别胶质瘤肿瘤实质区体积为V_{LG}。设肿瘤周围水肿体积为V_w，则高级别胶

质瘤周围水肿体积为V_{HW}，低级别胶质瘤周围水肿体积为V_{LW}。设肿瘤实质区表面积为S_G，则高级别胶质瘤肿瘤实质区表面积为S_{HG}，低级别胶质瘤肿瘤实质区表面积为S_{LG}。磁共振波谱图像观察与数据分析：应用后处理分析软件完成，在波谱图上选择ROI，将ROI放置于患者肿瘤实性部分及瘤周水肿区域。测定N-乙酰天门冬氨酸(n-ethanol tianmendong, NAA)，胆碱(choline, Cho)和肌酸(creatine, Cr)等代谢物的浓度值，同时计算Cho/Cr和Cho/NAA的相对比值。每个病例根据病变大小选择1~3个体素进行测量，取其均值，测量时避开囊变坏死及明显钙化区。

1.4 随访方法 通过门诊进行随访，术后随访6~24个月，根据复发情况分为复发组与未复发组，肿瘤复发标准：与患者术后第一次MRI比较，复查手术部位出现新发占位，且再次经手术组织病理学证实为准。

1.5 统计学分析 所有数据的处理均采用SPSS 26.0统计软件进行分析。计数资料采用例数及(%)表示，采用卡方检验；计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示，采用独立样本t检验。利用ROC曲线评估各指标在预测脑胶质瘤术后复发中的价值。P<0.05认为差异具有统计学意义。

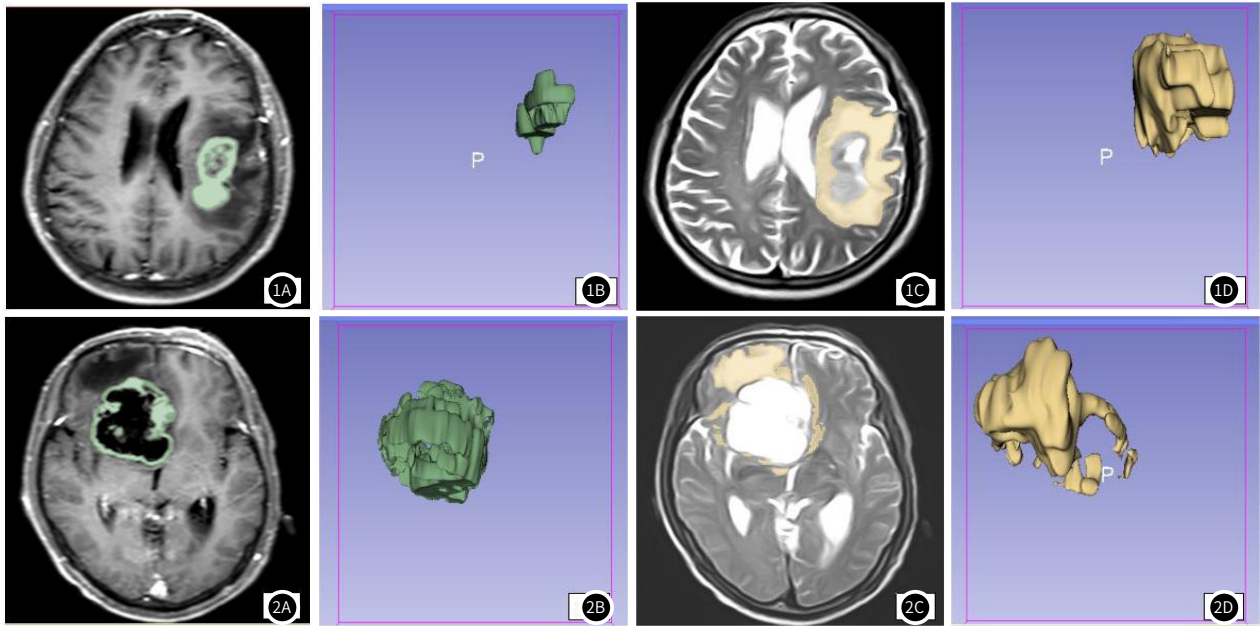


图1A-图1D IV级左侧额叶胶质母细胞瘤；图2A-图2D II级右侧额叶星形细胞瘤；图1A、图1C图及图2A、图2C 肿瘤实质区及瘤周水肿区的勾画，图1B、图1D及图2B、图2D 肿瘤实质区及瘤周水肿区的三维重建。

2 结果

2.1 高、低级别胶质瘤一般资料比较 68例脑胶质瘤患者中，男性32例(47.1%)，女性36例(52.9%)；高级别胶质瘤37例(54.4%)，低级别胶质瘤31例(45.6%)。两组性别及年龄差异无统计学意义(P>0.05)，见表1。

表1 两组一般资料比较

组别	例数	性别		年龄(岁)
		男	女	
LGG	31	12	19	47.61±12.14
HGG	37	20	17	55.12±13.72
χ ² /t值		1.366		-2.002
P值		0.243		0.051

2.2 高、低级别胶质瘤术前影像学特征比较 对高、低级别脑胶质瘤患者肿瘤实质区体积、表面积及瘤周水肿体积进行数据比较。高级别胶质瘤肿瘤实质区体积V_{HG}为(22.32±13.58)cm³，低级别胶质瘤肿瘤实质区体积V_{LG}为(10.45±7.07)cm³，两者差异具有统计学意义(P<0.05)。高级别胶质瘤瘤周水肿体积V_{HW}为(57.73±33.38)cm³，低级别胶质瘤瘤周水肿体积V_{LW}为(17.45±14.73)cm³，两者差异具有统计学意义(P<0.05)。高级别胶质瘤肿瘤实质区表面积

S_{HG}为(93.42±52.59)cm²，低级别胶质瘤肿瘤实质区表面积S_{LG}为(47.17±34.77)cm²，两者差异具有统计学意义(P<0.05)。高级别胶质瘤瘤周水肿体积与肿瘤实质区体积之比V_w/V_G为(3.20±1.69)，低级别胶质瘤瘤周水肿体积与肿瘤实质区体积之比V_w/V_G为(2.09±1.29)，两者差异具有统计学意义(P<0.05)，见表2。

表2 胶质瘤MRI各测量值与病理级别比较

组别	例数	V _G	V _w	S _G	V _w /V _G
LGG	31	10.45±7.07	17.45±14.73	47.17±34.77	2.09±1.29
HGG	37	22.32±13.58	57.73±33.38	93.42±52.59	3.20±1.69
t值		-3.844	-5.480	-3.621	-2.533
P值		<0.001	<0.001	0.001	0.015

2.3 高、低级别胶质瘤MRS各指标值比较 测定高、低级别脑胶质瘤患者肿瘤实质区Cho/NAA、Cho/Cr的比值,对数据进行分析比较，两者差异均具有统计学意义(P<0.05)，同时对分析高、低级别脑胶质瘤周围水肿区Cho/NAA、Cho/Cr的比值,两者差异均具有统计学意义(P<0.05)，见表3。

2.4 脑胶质瘤患者术后复发组与未复发组各检测指标分析 复发组中高级别胶质瘤26例(86.7%)，低级别胶质瘤4例(13.3%)；未复发组中低级别胶质瘤27例(71.1%)，高级别胶质瘤11例

(28.9%), 两组差异具有统计学意义($P<0.05$)。复发组肿瘤实质区体积 V_G 、瘤周水肿体积 V_W 、瘤周水肿体积与肿瘤实质区体积之比 V_W/V_G 、肿瘤实质区Cho/NAA、Cho/Cr值分别为 25.24 ± 17.65 、 61.99 ± 32.41 、 3.21 ± 1.55 、 3.85 ± 2.21 、 2.44 ± 1.14 , 未复发组各检测指标值分别为 9.01 ± 6.82 、 19.03 ± 17.05 、 1.99 ± 1.30 、 1.84 ± 0.79 、 1.47 ± 0.45 。与未复发组比较, 复发

组各检测指标值均较高, 差异具有统计学意义($P<0.05$)。将上述各指标作为检验变量, 将脑胶质瘤患者术后的复发组与未复发组作为状态变量, 绘制ROC曲线, 见图3。上述各检测指标对于预测脑胶质瘤术后复发具有较高价值($AUC>0.7$), 见表4。

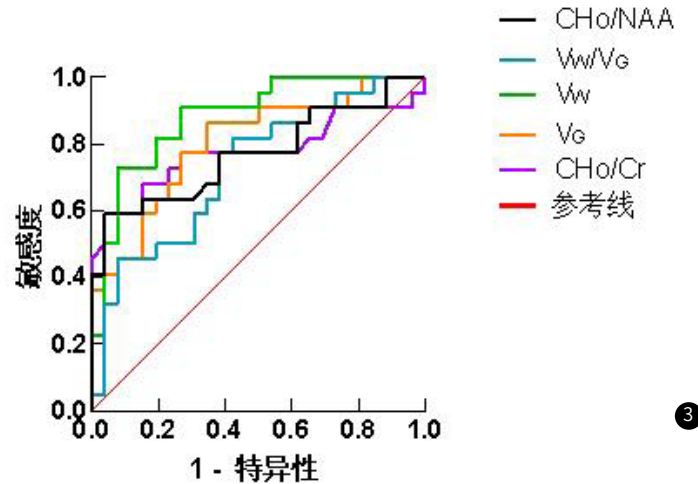


图3 瘤周水肿体积 V_W 等各指标预测脑胶质瘤术后复发的ROC曲线

表3 两组各代谢物比值与病理级别比较

组别	例数	肿瘤实质区		瘤周水肿区	
		Cho/NAA	Cho/Cr	Cho/NAA	Cho/Cr
LGG	31	1.65 ± 0.65	1.43 ± 0.52	0.82 ± 0.29	1.06 ± 0.38
HGG	37	3.67 ± 1.93	2.36 ± 1.07	1.33 ± 0.62	1.68 ± 0.65
t值		-4.937	-3.913	-3.678	-4.013
P值		<0.001	<0.001	0.001	<0.001

表4 MRI影像学特征预测脑胶质瘤术后复发的价值分析

检测指标	AUC	cut-off值	AUC的95%CI	P值	特异度	敏感度	约登指数
V_G	0.804	10.151	0.679~0.929	<0.001	0.654	0.864	0.518
V_W	0.883	46.491	0.788~0.978	<0.001	0.923	0.727	0.650
V_W/V_G	0.729	1.642	0.586~0.872	0.007	0.577	0.818	0.395
Cho/NAA	0.770	2.955	0.629~0.911	0.001	0.962	0.591	0.553
Cho/Cr	0.776	2.165	0.629~0.923	0.001	0.962	0.591	0.553

3 讨论

脑胶质瘤是神经外科最常见的原发性中枢神经系统肿瘤类别。研究认为^[5]准确的对胶质瘤进行分级诊断需要经过组织病理学的确认, 但进一步的了解肿瘤术前MRI表现将有助于提高胶质瘤分级的准确性, 有利于脑胶质瘤患者病情的全面评估。尽管胶质瘤在MRI像上的边缘通常比较清晰, 但在影像学上可见的肿瘤外仍存在肿瘤细胞, 这使其成为一种浸润性疾病, 且预后不良, 术后经常会出现肿瘤复发的现象^[6-8], 因此这依然是目前需要克服的难题。虽然MRI成像的作用多用于术前对脑胶质瘤进行初步诊断以及术后的治疗随访, 但MRI成像还能够量化肿瘤的某些影像学特征, 为这些肿瘤的分级诊断提供额外的信息^[9]。有研究表明磁共振成像的许多影像学特征与患者预后相关, 包括肿瘤的大小、位置、数量以及肿瘤坏死和水肿状态等^[10]。同时也有研究认为^[11-12]磁共振波谱成像技术广泛用于无创性检测颅内病变的生化指标和代谢变化, 对脑胶质瘤的准确诊断和预测患者预后起着至关重要的作用。

在不同级别胶质瘤中, 其MRI影像学特征表现也不同, 低级别胶质瘤表现为等或长 T_1 、长 T_2 信号, 肿瘤边界清楚, 占位效应不明显, 而高级别胶质瘤信号多不均匀, 常伴有囊变坏死, 边界

不清, 占位效应明显, 肿瘤周围多伴有严重的水肿^[13]。有研究认为脑胶质瘤的MRI影像学特征包含了许多肿瘤的生长方式与内在生物学行为信息, 这些信息对脑胶质瘤的初步诊断具有重要的意义^[14]。在本研究中, 笔者对高、低级别胶质瘤的肿瘤实质区体积 V_G 、肿瘤周围水肿体积 V_W 与肿瘤病理级别的关系进行分析, 发现各组间比较差异均具有统计学意义。因此, 笔者认为脑胶质瘤的恶性程度越高, 肿瘤实质区体积 V_G 与肿瘤周围水肿体积 V_W 均越大, 此结果与相关文献相符。在本研究中, 笔者还对肿瘤实质区的表面积 S_G 以及瘤周水肿体积与肿瘤实质区体积之比 V_W/V_G 与肿瘤的病理级别进行分析, 发现各组间比较差异均具有统计学意义。因此, 笔者认为脑胶质瘤病理级别越高, S_G 与 V_W/V_G 越大。有研究认为肿瘤的增强特征、肿瘤的坏死、瘤周水肿的程度、肿瘤的大小以及瘤周水肿体积与肿瘤体积之比等影像学特征是胶质瘤预后的影响因素^[9,15]。因此通过本研究笔者认为上述研究的影像学特征 V_G 、 V_W 、 S_G 及 V_W/V_G 与脑胶质瘤的病理级别具有相关性, 对临床诊断以及治疗具有一定的指导意义。

MRS是一种无创性检测活体组织内生化学代谢信息的方法, 通过检测胶质瘤内部代谢物的异常来反映肿瘤生物学行为的演变, 是近些年来研究的热点^[3,16]。研究认为, MRS主要从生化和能量代

谢两方面对病变进行研究,其肿瘤的代谢产物浓度可以有效的协助脑胶质瘤的分级诊断,作为常规MRI对脑胶质瘤分级评价的良好补充^[17]。在本研究中,低级别胶质瘤组肿瘤实质区的Cho/NAA、Cho/Cr比值分别为 1.65 ± 0.65 、 1.43 ± 0.52 ,低于高级别胶质瘤组的 3.67 ± 1.93 、 2.36 ± 1.07 ,差异具有统计学意义,说明肿瘤实质区上述代谢产物浓度比值对诊断高、低级别胶质瘤具有一定价值,与肖国强等^[18]研究结果一致。由于胶质瘤是颅内恶性程度较高的肿瘤,具有浸润性生长的特点,同时肿瘤周围常伴有水肿是其常见的表现。有研究认为,肿瘤周围的水肿区域同时存在微观肿瘤浸润和血管源性水肿,并被认为是其在疾病进展中发挥重要的作用^[19-20]。在本研究中,笔者分析了高、低级别胶质瘤周围水肿区域的Cho/NAA、Cho/Cr比值,发现低级别胶质瘤组Cho/NAA、Cho/Cr比值分别为 0.82 ± 0.29 、 1.06 ± 0.38 ,低于高级别胶质瘤组的 1.33 ± 0.62 、 1.68 ± 0.65 ,差异具有统计学意义,说明MRS在瘤周水肿区对脑胶质瘤的分级诊断方面具有价值。

脑胶质瘤的治疗手段目前仍是以手术切除为主,而肿瘤的术后复发多是由于肿瘤切除不完全出现肿瘤细胞的残留导致^[21]。本研究显示脑胶质瘤术后复发组中高级别胶质瘤比例高于低级别胶质瘤,未复发组中低级别胶质瘤比例高于高级别胶质瘤,提示高级别胶质瘤相对于低级别胶质瘤更易复发。在本研究中,笔者发现脑胶质瘤患者术后复发组的术前肿瘤实质区体积 V_G 、肿瘤周围水肿体积 V_W 以及瘤周水肿体积与肿瘤实质区体积之比 V_W/V_G 均高于术后未复发组的患者,提示复发的脑胶质瘤术前存在较高的肿瘤细胞密度和严重的瘤周水肿。肿瘤的侵袭性生长与较高的血管密度及肿瘤细胞密度有关,而肿瘤细胞的侵袭是为了获得更多的营养,瘤周水肿则为其提供了合适的方式,所以瘤周水肿中更容易出现肿瘤细胞的浸润^[22-24]。同时本研究发现脑胶质瘤患者术后复发组的术前肿瘤实质区Cho/NAA、Cho/Cr值比未复发组的患者更高,这可能与复发的脑胶质瘤患者术前肿瘤细胞存在更快的细胞生长速度以及神经元受到更严重的损伤相关。在本研究中,绘制ROC曲线结果显示,肿瘤实质区体积 V_G 、瘤周水肿体积 V_W 、瘤周水肿体积与肿瘤实质区体积之比 V_W/V_G 以及肿瘤实质区Cho/NAA、Cho/Cr值对预测脑胶质瘤术后复发具有价值($AUC > 0.7$)。其中当瘤周水肿体积达 46.491 cm^3 时,瘤周水肿体积预测脑胶质瘤术后复发的AUC值为0.883,其敏感度为0.727,特异度为0.923,诊断价值最高。通过对上述各指标的分析,为肿瘤浸润范围的评估、术后复发情况的判断及临床治疗方案的选取提供更多的理论依据。

本研究存在的局限性:首先研究对象的样本量较少,对结果可能存在选择偏倚。其次,手动勾画感兴趣的区域时,可能存在一些偏差,容易丢失部分信息。同时本研究是回顾性分析,以后还需更大样本量的研究进行验证。

综上所述,不同级别的脑胶质瘤具有不同的影像学特征和生化、能量代谢信息。常规MRI的影像学特征联合MRS可对脑胶质瘤患者的术前分级诊断进行全面的评估,同时可以对术后患者的复发情况进行初步的判断,为临床提供参考依据,以降低患者术后复发的几率和提高患者的生活质量。

参考文献

[1] Zaccagna F, Riemer F, Priest AN, et al. Non-invasive assessment of glioma microstructure using VERDICT MRI: correlation with histology[J]. Eur Radiol, 2019, 29(10): 5559-5566.

- [2] 陈绪珠, 马军. 影像组学在脑胶质瘤中的研究进展[J]. 磁共振成像, 2018, 9(10): 721-724.
- [3] 张玉琴, 徐海东, 董海波, 等. 3.0T氢质子磁共振波谱成像在胶质瘤术前分级及术后随访中的应用[J]. 医学影像学杂志, 2016, 26(2): 194-197.
- [4] 宋加哲, 胡兰花, 范国光, 等. 3.0T磁共振动态对比增强扫描在脑胶质瘤分级诊断中的应用[J]. 中国医科大学学报, 2016, 45(7): 620-625.
- [5] Cao H, Erson-Omay EZ, Li X, et al. A quantitative model based on clinically relevant MRI features differentiates lower grade gliomas and glioblastoma[J]. Eur Radiol, 2020, 30(6): 3073-3082.
- [6] Daher A, de Groot J. Rapid identification and validation of novel targeted approaches for Glioblastoma: A combined ex vivo-in vivo pharmacomic model[J]. Exp Neurol, 2018, 299(Pt B): 281-288.
- [7] Anjum K, Shagufta BI, Abbas SQ, et al. Current status and future therapeutic perspectives of glioblastoma multiforme (GBM) therapy: A review[J]. Biomed Pharmacother, 2017, 92: 681-689.
- [8] Jakola AS, Bouget D, Reinertsen I, et al. Spatial distribution of malignant transformation in patients with low-grade glioma[J]. J Neurooncol, 2020, 146(2): 373-380.
- [9] Gutman DA, Cooper LA, Hwang SN, et al. MR imaging predictors of molecular profile and survival: multi-institutional study of the TCGA glioblastoma data set[J]. Radiology, 2013, 267(2): 560-9.
- [10] Liu H, Shen L, Huang X, et al. Maximal tumor diameter in the preoperative tumor magnetic resonance imaging (MRI) T2 image is associated with prognosis of Grade II Glioma[J]. Medicine (Baltimore), 2021, 100(10): e24850.
- [11] Nelson SJ, Kadambi AK, Park I, et al. Association of early changes in 1H MRSI parameters with survival for patients with newly diagnosed glioblastoma receiving a multimodality treatment regimen[J]. Neuro Oncol, 2017, 19(3): 430-439.
- [12] Cui Y, Zeng W, Jiang H, et al. Higher Cho/NAA Ratio in Postoperative Peritumoral Edema Zone Is Associated With Earlier Recurrence of Glioblastoma[J]. Front Neurol, 2020, 11: 592155.
- [13] 李振玉, 张国栋. MRI在脑胶质瘤诊断及治疗随访中应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2017, 15(05): 8-11.
- [14] 李文涛, 颜伟, 张军霞, 等. 基于磁共振图像的脑胶质瘤影像学临床分型及意义[J]. 中华神经医学杂志, 2015, 14(12): 1205-1209.
- [15] Wu CX, Lin GS, Lin ZX, et al. Peritumoral edema shown by MRI predicts poor clinical outcome in glioblastoma[J]. World J Surg Oncol, 2015, 13: 97.
- [16] 张照明, 于向峰, 宋吉慧. 磁共振扩散加权成像联合波谱成像评估脑胶质瘤级别的应用价值[J]. 临床荟萃, 2020, 35(12): 1106-1110.
- [17] 赵树立, 邓克学, 程传东. 3.0T磁共振1H-MRS代谢产物在脑胶质瘤分级诊断中的价值及其与Ki-67蛋白的相关分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(08): 4-5+14.
- [18] 肖国强, 王善涛, 徐丰林. DWI联合MRS对脑胶质瘤分级诊断的价值[J]. 磁共振成像, 2020, 11(7): 573-576.
- [19] Dasgupta A, Geraghty B, Maralani PJ, et al. Quantitative mapping of individual voxels in the peritumoral region of IDH-wildtype glioblastoma to distinguish between tumor infiltration and edema[J]. J Neurooncol, 2021, 153(2): 251-261.
- [20] Ellingson BM. Radiogenomics and imaging phenotypes in glioblastoma: novel observations and correlation with molecular characteristics[J]. Curr Neurol Neurosci Rep, 2015, 15(1): 506.
- [21] 李德培, 陈银生, 郭琤琤, 等. 脑胶质瘤的临床疗效和预后因素分析(附741例报告)[J]. 中华神经外科杂志, 2018, 34(39): 905-909.
- [22] Durmo F, Lätt J, Rydelius A, et al. Brain Tumor Characterization Using Multibiometric Evaluation of MRI[J]. Tomography, 2018, 4(1): 14-25.
- [23] Blystad I, Warntjes JBM, Smedby Ö, et al. Quantitative MRI for analysis of peritumoral edema in malignant gliomas[J]. PLoS One, 2017, 12(5): e0177135.
- [24] Raschke F, Barrick TR, Jones TL, et al. Tissue-type mapping of gliomas[J]. Neuroimage Clin, 2019, 21: 101648.

(收稿日期: 2022-09-30)

(校对编辑: 姚丽娜)