

论 著

MRI及MRS在颅脑胶质瘤分级诊断中的价值研究

陈尚凡 刘俊红 俞晶晶
金晓蕾*同济大学附属普陀人民医院放射科
(上海 200060)

【摘要】目的 探讨MRI及MRS在颅脑胶质瘤分级诊断中的价值。**方法** 对我院2020年1月至2024年6月期间收治的拟行手术治疗的疑似颅脑胶质瘤110例患者进行观察,所有患者术前均行头颅MRI及MRS检查,以免疫组化病理学检查结果为金标准,分析MRI的分级诊断准确率,观察不同分级颅脑胶质瘤的MRI、MRS影像特征,分析低、高级别胶质瘤及低、高级别胶质瘤不同位置MRS代谢物比值变化,采用ROC曲线分析MRS检查下NAA/Cho比值、NAA/Cr比值、Cho/Cr比值对颅脑胶质瘤分级的诊断价值。**结果** 110例患者经手术病理均确诊为颅脑胶质瘤,低、高级别胶质瘤组患者分别51例、59例,经MRI检查确诊105例,诊断准确率为95.45%;MRI检查发现高级别胶质瘤相较于低级别胶质瘤表现出更为复杂和典型的特征,且T1WI信号区更低, T2WI高信号更明显,但低、高级别胶质瘤患者的年龄、性别比较无显著差异($P>0.05$);MRS检查发现高级别胶质瘤相较于低级别胶质瘤NAA显著降低, Cho峰明显升高, Cr变化不大,有时可见Lac峰和Lip峰,且经MRS检查发现,高级别胶质瘤NAA/Cho比值(2.20 ± 0.11)低于低级别胶质瘤的(3.97 ± 1.65),而Cho/Cr比值(4.16 ± 1.07)高于低级别胶质瘤的(2.58 ± 0.39),组间比较存在差异($t_{NAA/Cho}=8.480$ 、 $t_{Cho/Cr}=9.983$,均 $P<0.05$);低、高级别胶质瘤周区域Cho/Cr比值均较对侧镜像区升高, NAA/Cho比值均较对侧镜像区降低($P<0.05$),且低级别胶质瘤周区域NAA/Cr比值也较对侧镜像区降低($P<0.05$);ROC曲线分析MRS检查下NAA/Cho、NAA/Cr、Cho/Cr比值对颅脑胶质瘤分级诊断的AUC分别为0.725、0.760、0.765,均有一定诊断价值。**结论** MRI通过对肿瘤形态、信号特征和强化模式的显示,为肿瘤的定位和初步分级提供依据,而MRS则通过对肿瘤代谢物的分析,从细胞代谢水平反映肿瘤的级别,二者结合能够提高颅脑胶质瘤分级诊断的准确性,为临床治疗方案的制定和患者预后评估提供可靠的信息。

【关键词】 磁共振成像; 磁共振波谱;
颅脑胶质瘤分级; 诊断价值

【中图分类号】 R445.2

【文献标识码】 A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.03.001

The Value of MRI and MRS in the Classification Diagnosis of Brain Glioma

CHEN Shang-fan, LIU Jun-hong, YU Jing-jing, JIN Xiao-lei*

Department of Radiology, Putuo People's Hospital Affiliated to Tongji University, Shanghai 200060, China

ABSTRACT

Objective To investigate the value of MRI and MRS in the diagnosis of craniocerebral glioma. **Methods** A total of 110 patients with suspected craniocerebral glioma who were expected to undergo surgical treatment admitted to our hospital from January 2020 to June 2024 were observed. All patients underwent head MRI and MRS Examinations before surgery. Immunohistochemical pathological examination results were used as the gold standard to analyze the grading diagnostic accuracy of MRI. The MRI and MRS Image characteristics of brain gliomas of different grades were observed, and the ratio changes of MRS Metabolites in low and high grade gliomas and low and high grade gliomas at different locations were analyzed. The diagnostic value of NAA/Cho ratio, NAA/Cr ratio and Cho/Cr ratio under MRS Examination on brain gliomas of different grades was analyzed by ROC curve.

Results All 110 patients were confirmed as cranial glioma by surgery and pathology, 51 patients in low grade glioma group and 59 patients in high grade glioma group, respectively, and 105 patients were confirmed by MRI examination, the diagnosis accuracy rate was 95.45%. MRI showed that high-grade glioma showed more complex and typical features than low-grade glioma, and the signal area of T1WI was lower, and the high signal of T2WI was more obvious, but there was no significant difference in age and gender between low-grade and high-grade glioma patients ($P>0.05$). MRS Showed that NAA in high-grade gliomas was significantly lower than that in low-grade gliomas, Cho peak was significantly increased, Cr did not change much, sometimes Lac peak and Lip peak could be seen, and the NAA/Cho ratio in high-grade gliomas (2.20 ± 0.11) was lower than that in low-grade gliomas (3.97 ± 1.65). The Cho/Cr ratio (4.16 ± 1.07) was higher than that of low-grade glioma (2.58 ± 0.39), and there were differences between groups ($t_{NAA/Cho}=8.480$, $t_{Cho/Cr}=9.983$, both $P<0.05$). The Cho/Cr ratio in the peritumor area of low grade and high grade gliomas was higher than that in the contralateral mirror area, the NAA/Cho ratio was lower than that in the contralateral mirror area ($P<0.05$), and the NAA/Cr ratio in the peri-tumor area of low grade gliomas was also lower than that in the contralateral mirror area ($P<0.05$). Under ROC curve analysis of MRS, the ratio of NAA/Cho, NAA/Cr and Cho/Cr were 0.725, 0.760 and 0.765, respectively, in the classification diagnosis of craniocerebral glioma, which had certain diagnostic value. **Conclusion** MRI provides a basis for tumor localization and preliminary classification by displaying tumor morphology, signal characteristics and enhancement patterns, while MRS Reflects tumor grade from the level of cell metabolism by analyzing tumor metabolites. The combination of the two can improve the accuracy of cranial glioma classification diagnosis. To provide more reliable information for the formulation of clinical treatment plan and the evaluation of patient prognosis.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging; Magnetic Resonance Spectrum; Craniocerebral Glioma Classification; Diagnostic Value

颅脑胶质瘤是起源于中枢系统神经胶质细胞的一种临床常见原发性肿瘤,约占全部颅内肿瘤的45%,具有浸润性生长、不均质及临床表现缺乏特异性等特征,严重降低患者生活质量^[1-2]。根据世界卫生组织(World Health Organization, WHO)中枢神经系统肿瘤分类标准,将胶质瘤分为I~IV级,分别为低级别胶质瘤(I~II级)和高级别胶质瘤(III~IV级),级别越高,胶质瘤的恶性程度随之升高^[3]。研究发现,低级别胶质瘤生长不活跃,恶性程度低,经以手术切除为主的临床治疗后5年生存率较高,而高级别胶质瘤生长迅速,生物学行为复杂,术后辅以放、化疗后的3年内死亡率仍较高^[4-5]。因此准确的分级诊断对于制定合理的治疗策略及预后的评估至关重要。磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)具有多参数、多序列成像的优势,可清晰显示肿瘤的形态、位置和信号特征,而磁共振波谱(magnetic resonance spectroscopy, MRS)则能够利用磁共振化学位移现象检测肿瘤内部的生化、代谢变化,为胶质瘤的分级诊断提供了量化指标^[6-7]。

1 资料与方法

1.1 一般资料 对我院2020年1月至2024年6月期间收治的拟行手术治疗的颅脑胶质瘤110例患者进行观察,按照WTO中枢神经系统肿瘤分类标准将患者分为低级别胶质瘤组、高级别胶质瘤组2组。所有患者术前均行头颅MRI及MRS检查。本研究所有患者已签署自愿参与同意书。

纳入标准:符合颅脑胶质瘤诊断标准^[8],所有患者均接受标准化手术治疗;检查前无任何脑肿瘤/脑外伤病史及手术、放、化疗等治疗史;影像资料、临床资料完整可查。排除标准:存在MRI、MRS检查禁忌症;患有心、肝、肾等严重脏器病变;患有精神疾病;合并高血压、糖尿病;影像资料图像质量不佳,无法分析、勾画感兴趣区。

1.2 方法 MRI检查方法:使用磁共振扫描仪(荷兰PHILIPS公司,型号:Ingenia

【第一作者】 陈尚凡,女,主治医师,主要研究方向:磁共振影像学。E-mail: csf18616639580@163.com

【通讯作者】 金晓蕾,男,副主任医师,主要研究方向:磁共振影像学。E-mail: minmin63022602@sohu.com

3.0TMR)对所有患者进行常规的头颅MRI平扫及增强扫描,头颅正交线圈,患者取仰卧位。T1WI轴位、矢状位扫描TR、TE分别2250ms、50ms,层厚5mm,FOV 240cm×240cm,层距1mm,层数30层,矩阵352×256;T2WI轴位扫描TR、TE分别4200ms、120ms,层厚5mm,FOV 240cm×240cm,层距1mm,层数30层,矩阵352×256。平扫完成后向患者肘前静脉高压注射3mL/s速率的钆贝葡胺注射液(上海博莱科信谊药业有限责任公司,批准文号:国药准字H20054702,规格:15ml:7.935g以钆贝葡胺计)作为增强扫描对比剂,T1WI增强轴位、矢状位、冠状位扫描TR、TE分别1850ms、24ms,层厚5mm,FOV 240cm×240cm,层距1mm,层数30层,矩阵352×256;脂肪抑制反转恢复序列T1WI轴位、冠状位扫描TR、TE分别690ms、15ms,层厚5mm,FOV 240cm×240cm,层距1mm,层数30层,矩阵352×256。由两名5年以上MRI神经影像诊断经验的医师以双盲法根据平扫和增强图像观察肿瘤的大小、形态、边界、信号强度、有无囊变坏死、出血及强化方式等。

MRS检查方法:在常规MRI平扫以后增强扫描前采用点解析波谱序列行多体素¹H-MRS检查,多体素参数设置TR、TE分别为2000ms、144ms,FOV 180cm×150cm,兴趣区180mm×150mm,25个采集点,体素容积10mm×10mm×15mm,激励1次,成像时间3min58s,由两名5年以上MRS神经影像诊断经验的医师以双盲法采用MR自带软件包进行图像处理及数据测试,在后处理所得波谱图像对病变区和对侧镜像区对比分析,观察代谢产物包括N-乙酰天门冬氨酸(N-acetylaspartate, NAA)、胆碱(Choline, Cho)、肌酸(Creatine, Cr)、乳酸(Lactic acid, Lac)、脂质(Lipid, Lip)的变化。

1.3 统计学方法 本研究数据以SPSS 26.0软件进行分析,计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间以行独立样本t检验,计数资料以率表示,采用卡方检验,以受试者工作特征(receiver operating characteristic curve, ROC)曲线分析诊断价值,组间比较存在统计学意义采用P<0.05表示。

2 结果

2.1 颅脑胶质瘤的病理学检查结果及MRI的分级诊断准确率 经免疫组化病理确诊110例均为颅脑胶质瘤,低级别胶质瘤组共51例,I级15例(毛细胞型星形细胞瘤、室管膜下巨细胞星形细胞瘤分别9例、6例),II级36例(弥漫性星型细胞瘤、少突胶质细胞瘤分别24例、12例)。高级别胶质瘤组共59例,III级23例(间变型星形细胞瘤、间变型少突胶质细胞瘤分别16例、7例),IV级胶质母

细胞瘤36例。低级别胶质瘤组男、女患者分别28例、23例,平均年龄(45.46±12.23)岁,高级别胶质瘤组男、女患者分别35例、24例,平均年龄(48.17±13.85)岁,低、高级别胶质瘤组患者年龄、性别组间比较无显著差异(P>0.05)。见表1。术前经MRI诊断低、高级别胶质瘤分别50例、58例,误诊2例。MRI的分级诊断准确率为95.45%,诊断结果与手术病理结果比较无显著差异(P>0.05)。

表1 患者年龄、性别差异

项目	低级别胶质瘤组 (n=51)	高级别胶质瘤组 (n=59)	t/x ²	P
年龄(岁)	45.46±12.23	48.17±13.85	1.080	0.283
性别(%)				
男	28(54.90)	35(59.32)	0.218	0.640
女	23(45.10)	24(40.68)		

2.2 不同分级颅脑胶质瘤的MRI、MRS检查表现 MRI平扫可见I、II级胶质瘤T1WI呈等信号或低信号,T2WI为高信号,毛细胞型星形细胞瘤、室管膜下巨细胞星形细胞瘤肿瘤边界较清晰,形态多为圆形或椭圆形,可伴有囊变或钙化,囊变或钙化区在T1WI为更低信号,T2WI为更高信号,MRI增强扫描多呈明显强化。弥漫性星形细胞瘤、少突胶质细胞瘤边界欠清晰,与周围脑组织分界不明显,可伴有不同程度的囊变、坏死,轻微水肿,MRI增强扫描多呈轻度至中度强化,强化可不均匀。III、IV级胶质瘤T1WI呈现更低信号,T2WI更高信号,信号不均匀程度增加,间变型星形细胞瘤、少突胶质细胞瘤边界不清,周围水肿加重,坏死、囊变区域增多,MRI增强扫描呈不均匀强化。胶质母细胞瘤信号极不均匀,常有大片坏死、囊变和出血区,边界不清,周围脑组织水肿广泛且严重,MRI增强扫描典型表现为花环状强化。

MRS检查可见I级和II级的毛细胞型星形细胞瘤、室管膜下巨细胞星形细胞瘤和弥漫性星型细胞瘤、少突胶质细胞瘤的NAA峰降低,Cho峰升高,Cr相对稳定,Cho/Cr比值增加。III级和IV级的间变型星形细胞瘤、间变型少突胶质细胞瘤和胶质母细胞瘤的NAA显著降低,Cho峰明显升高,Cr变化不大,Cho/Cr比值大幅升高,有时可见Lac峰和Lip峰。

病例1,见图1~2。病理:(左额叶)(1)组织学诊断:间变性少突胶质细胞瘤。(2)组织学分级:WHO 3级。免疫组化结果:IDH1(+), ATRX(+), P53(-), GFAP(+), Olig2(+), Ki-67(+, 10%), EGFR VIII(-)。

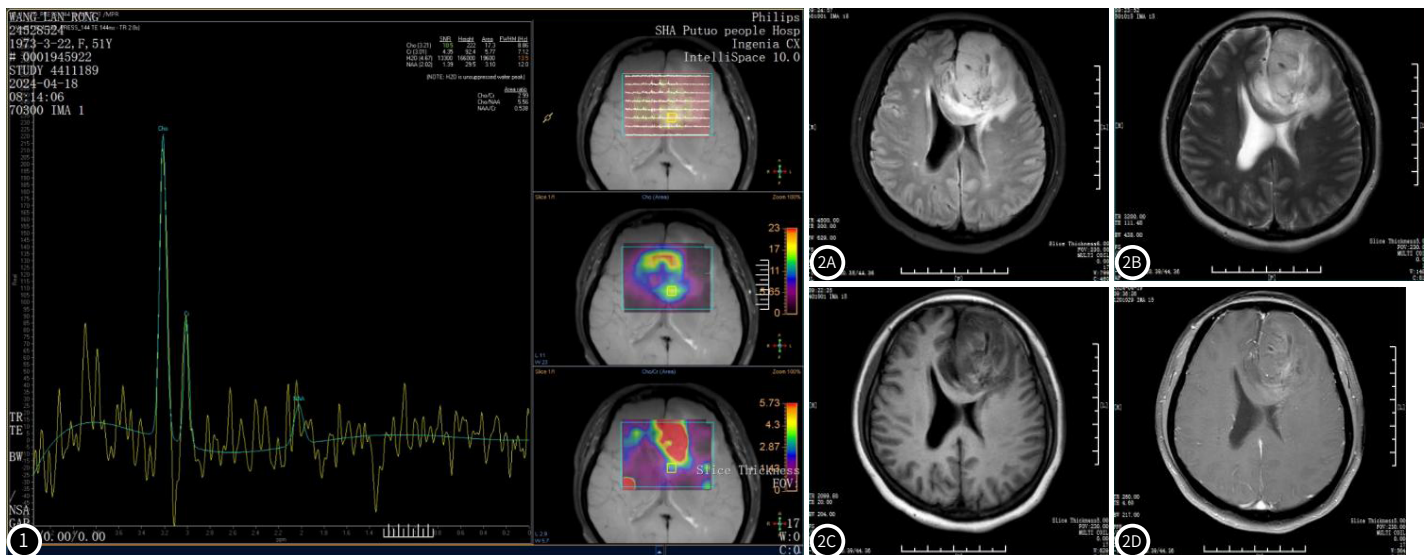


图1 MRS检查。MRS示病灶内NAA减低,Cho升高,NAA/Cr=0.538,Cho/Cr=2.99,Cho/NAA=5.56。

图2 MRI检查。左侧额叶见一混杂信号,大小约65mm×60mm,T1WI稍高、等低混杂信号,T2WI、FLAIR高低混杂信号,弥散部分受限,周围少许水肿,增强后病灶区轻度不均匀强化,边界欠清,侧脑室受压变窄,中线向右侧移位。

病例2, 见图3~4。(左基底节区)(1)组织学诊断: 弥漫性高级别胶质瘤。 (2)组织学分级: WHO 3级或以上。免疫组化结果: IDH1(-), ATRX(+), P53(+), GFAP(+), Olig2(+), Ki-67(+), 50%), EGFR VIII(-)。

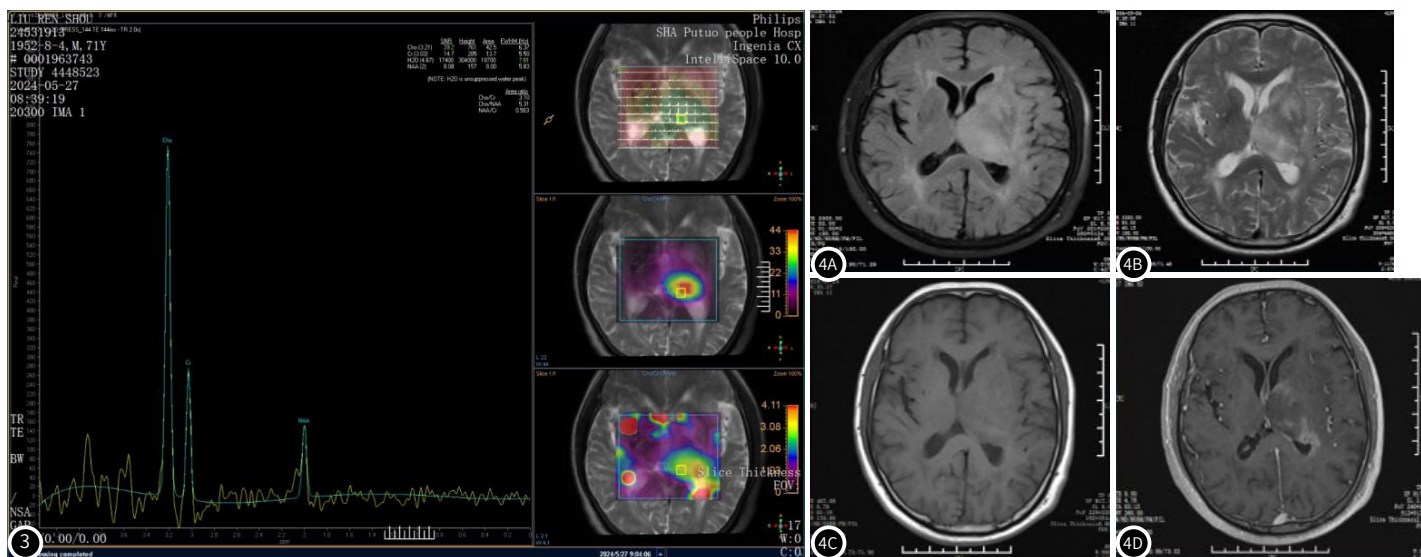


图3 MRS检查。MRS示病灶内NAA减低, Cho升高, NAA/Cr=0.38, Cho/Cr=3.13, Cho/NAA=8.28。

图4 MRI检查。左侧基底节区见卵圆形异常信号, 大小约23mm × 56mm, T1WI稍低信号, T2WI稍高信号, DWI稍高信号, ADC稍低信号, 增强后部分区域不均匀强化, 并见沿左侧脑室体部见环形不均匀强化, 左侧脑室后角轻度受压变窄, 中线稍向右侧移位。

2.3 低、高级别胶质瘤MRS代谢物比值情况比较 与低级别胶质瘤组比较, 高级别胶质瘤组NAA/Cho比值降低($P < 0.05$), Cho/Cr比值升高($P < 0.05$), NAA/Cr比值组间比较无显著差异($P > 0.05$)。见表2。

表2 低、高级别胶质瘤组MRS代谢物比值情况比较

组别	低级别胶质瘤组(n=51)	高级别胶质瘤组(n=59)	t	P
NAA/Cho	3.97 ± 1.65	2.20 ± 0.11	8.480	<0.001
NAA/Cr	0.98 ± 0.23	0.91 ± 0.16	1.872	0.064
Cho/Cr	2.58 ± 0.39	4.16 ± 1.07	9.983	<0.001

2.4 低、高级别胶质瘤不同位置MRS代谢物比值情况比较 与低级别对侧镜像区比较, 低级别肿瘤周区NAA/Cho比值、NAA/Cr比值均降低($P < 0.05$), 而Cho/Cr比值升高($P < 0.05$)。与高级别对侧镜像区比较, 高级别肿瘤周区NAA/Cho比值降低($P < 0.05$), Cho/Cr比值升高($P < 0.05$), NAA/Cr比值组间比较无显著差异($P > 0.05$)。见表3。

2.5 MRS各代谢物比值对颅脑胶质瘤分级的诊断价值分析 ROC曲线分析NAA/Cho比值、NAA/Cr比值、Cho/Cr比值对颅脑胶质瘤分级诊断的灵敏度及特异度发现, AUC相差不大。见表4、图5。

表3 低、高级别胶质瘤不同位置MRS代谢物比值情况比较

位置	低级别肿瘤周区(n=51)	低级别对侧镜像区(n=51)	t	P	高级别肿瘤周区(n=59)	高级别对侧镜像区(n=59)	t	P
NAA/Cho	0.86 ± 0.21	1.39 ± 0.47	7.353	<0.001	0.48 ± 0.12	1.37 ± 0.25	24.650	<0.001
NAA/Cr	1.21 ± 0.34	1.69 ± 0.48	5.828	<0.001	1.29 ± 0.49	1.35 ± 0.42	0.714	0.477
Cho/Cr	1.58 ± 0.49	1.17 ± 0.25	5.323	<0.001	2.58 ± 0.93	1.15 ± 0.34	11.090	<0.001

表4 ROC曲线分析MRS各代谢物比值的诊断价值

检查方式	AUC	灵敏度	特异性	约登指数	标准误差	P值	95%CI
NAA/Cho比值	0.725	76.38	74.14	0.505	0.12	<0.001	0.635~0.815
NAA/Cr比值	0.760	74.69	76.32	0.511	0.15	<0.001	0.641~0.879
Cho/Cr比值	0.765	75.55	75.06	0.506	0.10	<0.001	0.681~0.849

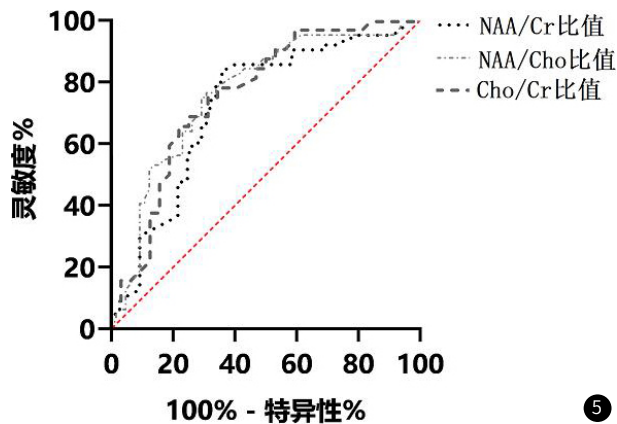


图5 MRS各代谢物比值对颅脑胶质瘤分级的诊断价值。

3 讨论

颅脑胶质瘤对放疗化疗不敏感，复发率及病死率高，因此准确的分级诊断对于治疗方案的选择和患者预后评估至关重要^[9]。免疫组化病理学检查作为肿瘤诊断的金标准，通过对肿瘤组织的细胞形态、分化程度等特征进行观察、分析，为胶质瘤的分级诊断提供了准确的评估依据。MRI在不同的脉冲序列下，肿瘤组织与周围正常组织的信号存在差异，通过明显差异区别肿瘤分级^[10]。而MRS是利用磁共振现象、化学位移原理对活体组织内代谢物进行检测的非侵入性检查方法，代谢物在不同级别胶质瘤中的浓度变化反映了肿瘤的代谢特征和生物学行为，从而更准确地反映肿瘤的级别^[11]。

本文研究结果显示，手术病理确诊了110例患者均为颅脑胶质瘤，低、高级别胶质瘤分别51例(I~II级)、59例(III~IV级)，低、高级别胶质瘤患者的年龄、性别无显著差异。MRI检查低级别胶质瘤发现T1WI通常呈等信号或低信号，这是因为低级别胶质瘤细胞密度相对较低，细胞外间隙相对正常，氢质子分布相对均匀，与周围脑组织差异不大，而T2WI为高信号主要是由于肿瘤细胞内水分增加以及肿瘤周围轻度水肿所致。低级别胶质瘤的边界相对较清晰，这与肿瘤细胞的浸润程度较低有关，其对周围脑组织的侵犯相对局限，尚未引起明显的组织破坏和炎症反应，因此在MRI图像上边界可辨。MRI检查高级别胶质瘤发现，肿瘤内部可因坏死、囊变而出现T1WI更低信号区，同时伴有不均匀的等信号或稍高信号，这是由于肿瘤实质、坏死组织和出血等成分的混合导致，而T2WI高信号更为明显是因为高级别胶质瘤细胞增殖迅速，导致细胞密度增加、细胞外间隙减小，同时伴有明显的血管源性水肿，大量的液体在细胞外间隙积聚。在增强扫描时，高级别胶质瘤多表现为明显的不均匀强化，这与肿瘤新生血管生成和血脑屏障破坏密切相关，肿瘤血管的不规则分布和高通透性使得对比剂在肿瘤内的分布不均匀，从而呈现出均匀强化的表现，这种强化模式有助于将高级别胶质瘤与低级别胶质瘤区分开来^[12]。有学者研究认为肿瘤新生血管内皮生长因子可在瘤细胞中短期内就增加肿瘤周围组织血管通透性，刺激血管周围血管内皮细胞的迅速分化、增殖，新分化、增殖的大量新生微血管又因血管多不成熟，导致动脉管壁通透性逐渐增加，从而促进肿瘤细胞恶性病变概率升高^[13-14]。本研究中MRI的分级诊断准确率为95.45%，诊断价值明显，但仍需结合其他检查进一步提高诊断的准确性。

本研究结果显示，通过MRS检查发现在低级别胶质瘤中NAA峰通常会降低，这是因为肿瘤细胞侵犯周围正常脑组织，导致神经元受损或被替代，NAA作为神经元的标志物，其含量相应减少，Cho峰可轻度升高，这是由于肿瘤细胞的增殖导致细胞膜合成增加，Cho参与细胞膜磷脂的合成，其浓度的升高反映了肿瘤细胞的代谢活性，Cr峰相对稳定，因为Cr在能量代谢过程中相对恒定。而高级别胶质瘤的MRS表现与低级别胶质瘤有明显差异，NAA峰显著降低，这是由于肿瘤细胞的高度侵袭性，大量神经元

被破坏，Cho峰明显升高，且升高程度大于低级别胶质瘤，这是因为高级别胶质瘤细胞增殖更为活跃，细胞膜合成代谢加剧。Lac、Lip峰常见于高级别胶质瘤，其出现表明细胞不能有效进行有氧呼吸，显示组织已坏死。有研究证实，由于肿瘤组织中Cho升高，NAA下降，而Cr基本不变，所以Cho/Cr，NAA/Cr等比值能反映瘤体及其周围水肿组织中化合物含量的变化，可以较好地代表胶质瘤的恶性程度^[15-16]。本文进一步研究发现，与低级别胶质瘤组比较，高级别胶质瘤组NAA/Cho比值降低，Cho/Cr比值升高，且在低、高级别胶质瘤中肿瘤周区NAA/Cho比值均低于对侧镜像区，Cho/Cr比值呈升高趋势，说明NAA、Cho、Cr在不同级别胶质瘤及不同部位肿瘤的相对浓度变化呈现特异性，对其进行检测可进一步提高颅脑胶质瘤分级诊断的准确性。与谭卫锋^[17]等研究结果一致，高级别胶质瘤NAA/Cho比值低于低级别胶质瘤，而Cho/Cr升高，高、低级别胶质瘤周区域Cho/Cr比值均较对侧镜像区升高，NAA/Cho比值均较对侧镜像区降低。本研究为探究MRS在颅脑胶质瘤分级诊断中的价值，又对各代谢指标均进行了ROC曲线分析，研究发现NAA/Cho比值、NAA/Cr比值、Cho/Cr比值的ROC曲线下面积相差不大，说明MRS的诊断价值明确。

综上所述，MRI通过对肿瘤的形态、信号特征和强化模式的显示，为肿瘤的定位和初步分级提供依据，而MRS则通过对肿瘤代谢物的分析，从细胞代谢水平反映肿瘤的级别。二者结合能够提高颅脑胶质瘤分级诊断的准确性，为临床治疗方案的制定和患者预后评估提供更可靠的信息。但在临床应用中，需要进一步扩大样本量并优化检查技术和分析方法，以更好地发挥这两种技术的优势。

参考文献

- [1] Pandey R, Caflisch L, Lodi A, et al. Metabolomic signature of brain cancer [J]. *Mol Carcinog*, 2017, 56(11): 2355-2371.
- [2] Douw L, Breedts LC, Zimmermann MLM. Cancer meets neuroscience: the association between glioma occurrence and intrinsic brain features [J]. *Brain*, 2023, 146(3): 803-805.
- [3] Park JE, Kim HS, Park KJ, et al. Pre- and posttreatment glioma: comparison of amide proton transfer imaging with MR spectroscopy for biomarkers of tumor proliferation [J]. *Radiology*, 2016, 278(2): 514-23.
- [4] Tom MC, Cahill DP, Buckner JC, et al. Management for different glioma subtypes: are all low-grade gliomas created equal [J]? *Am Soc Clin Oncol Educ Book*, 2019, 39: 133-145.
- [5] Delgado-López PD, Corrales-García EM, Martino J, et al. Diffuse low-grade glioma: a review on the new molecular classification, natural history and current management strategies [J]. *Clin Transl Oncol*, 2017, 19(8): 931-944.
- [6] Zhang H, Liu K, Ba R, et al. Histological and molecular classifications of pediatric glioma with time-dependent diffusion MRI-based microstructural mapping [J]. *Neuro Oncol*, 2023, 25(6): 1146-1156.
- [7] 李欣, 谢继承, 王静, 等. 磁共振MRS、DWI及SWI序列在脑胶质瘤分级诊断中的应用价值 [J]. *中华全科医学*, 2022, 20(9): 1541-1544.
- [8] Torres D, Canoll P. Alterations in the brain microenvironment in diffusely infiltrating low-grade glioma [J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2019, 30(1): 27-34.
- [9] Luo T, Li Y. Research and analysis of brain glioma imaging based on deep learning [J]. *J Healthc Eng*, 2021, 2021: 3426080.
- [10] Aurna NF, Yousuf MA, Taher KA, et al. A classification of MRI brain tumor based on two stage feature level ensemble of deep CNN models [J]. *Comput Biol Med*, 2022, 146: 105539.
- [11] 王鹏, 张剑宁, 王庆军, 等. 磁共振波谱在立体定向活组织检查术诊断脑胶质瘤中的应用价值 [J]. *中华神经外科杂志*, 2020, 36(8): 818-822.
- [12] 胡延涛. MRI扫描在高级别脑胶质瘤筛查中的准确性及影像学特征分析 [J]. *医学理论与实践*, 2021, 34(20): 3607-3609.
- [13] 苗娜, 齐建国, 周全红, 等. 3D动脉自旋标记成像在神经胶质瘤术前分级中的应用价值 [J]. *中国CT和MRI杂志*, 2017, 15(1): 11-13.
- [14] 张军霞, 王颖毅, 王敏, 等. MR动态磁敏感对比增强灌注技术在胶质瘤复发和放射性脑损伤鉴别诊断中的价值 [J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2018, 38(1): 20-24.
- [15] Tong T, Yang Z, Chen JW, et al. Dynamic 1H-MRS assessment of brain tumors: a novel approach for differential diagnosis of glioma [J]. *Oncotarget*, 2015, 6(31): 32257-32265.
- [16] 陈满. 1H-MRS联合DWI序列在脑胶质瘤病理分级及Ki-67指数相关性中的应用研究 [D]. 广州医科大学, 2021.
- [17] 谭卫锋, 孟志霞, 张亮. 磁共振波谱分析在脑胶质瘤分级中的应用价值 [J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2017, 20(11): 60-62.

(收稿日期: 2024-12-09)

(校对: 翁佳鸿 排版: 张鸿燊)