

多模态磁共振成像对脑膜瘤分级与分型的诊断价值

冀笑笑¹, 吕海蓉¹, 贾荣荣¹, 赵凤²

(1. 西北大学附属医院·西安市第三医院医学影像科, 陕西 西安 710018; 2. 西安市中医医院医学影像科, 陕西 西安 710021)

【摘要】目的: 探讨多模态磁共振成像(MRI)对脑膜瘤分级与分型的诊断价值。**方法:** 选取 98 例脑膜瘤患者为研究对象, 根据病理检查结果分为良性组($n=78$)和恶性组($n=20$)。患者入院后均接受常规 MRI 扫描及多模态 MRI 检查。比较良性组和恶性组脑膜瘤患者、不同良性脑膜瘤亚型患者多模态 MRI 参数[脑膜瘤区表观弥散系数(ADC)、局部脑血流量(rCBF)、磁敏感信号强度(ITSS)、乙酰天门冬氨酸(NAA)/胆碱(Cho)、NAA/肌酸(Cr)、Cho/Cr], 受试者工作特征(ROC)曲线分析多模态 MRI 对脑膜瘤分型分级的诊断价值。**结果:** 恶性组患者脑膜瘤区 ADC 值、NAA/Cho、NAA/Cr 低于良性组($P<0.05$); rCBF、ITSS、Cho/Cr 高于良性组($P<0.05$)。ROC 曲线分析显示, 三维动脉自旋标记(3D-ASL)、磁共振扩散加权成像(DWI)、磁敏感加权成像(SWI)及磁共振波谱成像(¹H-MRS)对脑膜瘤分级诊断的曲线下面积(AUC)为 0.723、0.735、0.777、0.870, 联合诊断的 AUC 为 0.957。不同良性脑膜瘤亚型患者 rCBF、ITSS、NAA/Cho、NAA/Cr 及 Cho/Cr 水平比较, 差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论:** 多模态 MRI 对脑膜瘤分级与分型的鉴别与诊断具有良好的临床价值。

【关键词】 脑膜瘤; 分级; 分型; 多模态 MRI; 诊断

【中图分类号】 R445.2 **【文献标志码】** A

Diagnostic value of multimodal magnetic resonance imaging in grading and Subtype of meningiomas

Ji Xiao-xiao¹, LV Hai-rong¹, JIA Rong-rong¹, ZHAO Feng²

(Department of Medical Imaging, 1. Xi'an No. 3 Hospital, Affiliated Hospital of Northwest University, Xi'an 710018; 2. Xi'an Hospital of Traditional Chinese Medicine, Xi'an 710021, Shaanxi, China)

【Abstract】Objective: To analyze the diagnostic value of multimodal magnetic resonance imaging (MRI) in grading and Subtype of meningiomas. **Methods:** A total of 98 patients with meningiomas were reviewed. They were divided into benign group ($n=78$) and malignant group ($n=20$) according to the pathological examination results. All of them underwent conventional MRI scan and multimodal MRI examination upon admission. The multimodal MRI parameters [apparent diffusion coefficient (ADC), local cerebral blood flow (rCBF), magnetic sensitive signal intensity (ITSS), N-acetylaspartate (NAA)/choline (Cho), NAA/creatine (Cr), Cho/Cr] of patients with benign and malignant meningiomas, and patients with different subtypes of benign meningiomas were compared. The diagnostic value of multimodal MRI for meningioma classification and grading were analyzed by receiver operating characteristic (ROC) curves. **Results:** The ADC, NAA/Cho ratio and NAA/Cr ratio of meningiomas in the malignant group were lower than those in the benign group ($P<0.05$). The rCBF, ITSS and Cho/Cr ratio were higher than those in the benign group ($P<0.05$). The AUC values of three-dimensional arterial spin labeling (3D-ASL), diffusion-weighted imaging (DWI), susceptibility-weighted imaging (SWI) and proton magnetic resonance spectroscopy (¹H-MRS) for grading of meningiomas were 0.723, 0.735, 0.777 and 0.870. The AUC of combined diagnosis was 0.957. There were significant differences in rCBF, ITSS, NAA/Cho ratio, NAA/Cr ratio and Cho/Cr ratio among patients with different subtypes of benign meningiomas ($P<0.05$). **Conclusion:** Multimodal MRI is helpful in clinical grading and Subtype of meningiomas.

【Key words】 Meningioma; Grading; Subtype; Multimodal MRI; Diagnosis

脑膜瘤是一种源自蛛网膜上皮细胞的肿瘤, 发生率占颅内肿瘤的 13% ~ 26%, 女性发病率较高^[1]。脑膜瘤大多为良性, 且肿瘤进展较慢, 但具

有膨胀性生长特性, 若不及时加以干预治疗, 严重者可导致患者丧失听觉、视觉等功能^[2]。脑膜瘤依据世界卫生组织(WHO)分级标准可分为 I、II、III 级,

基金项目: 陕西省重点研发计划项目(2024SF-YBXM-085)

作者简介: 冀笑笑(1987-), 女, 主治医师。E-mail: jxxzfk@163.com

通讯作者: 赵凤。E-mail: qingwen309201@126.com

其中Ⅰ级为良性脑膜瘤,患者症状相对较轻,临床治疗效果确切;Ⅱ、Ⅲ级脑膜瘤属于恶性脑膜瘤范畴,术后具有一定复发风险,且可发生颅外侵犯。而不同脑膜瘤分型则更加多样化,包括内皮型、成纤维型、砂粒型、血管瘤型等多种类型^[3]。不同类型的脑膜瘤不仅在生物学行为方面存在差异,在手术治疗方法及对患者预后影响等方面同样不尽相同。因此对脑膜瘤分级分型的准确鉴别有助于临床治疗方案的制定以改善患者预后。随着临床影像学的发展,核磁共振(MRI)逐渐成为临床疾病诊断的主要方式之一。MRI可提供准确的肿瘤定位、特征等信息,其中多模态MRI通过结合多种成像技术,能提供更为丰富的肿瘤信息,有助于医生更准确地判断脑膜瘤的分级与分型^[4]。目前临床多模态MRI在脑膜瘤中的应用多集中于疾病诊断,而在脑膜瘤的分级与分型评估诊断中的研究有限。本研究旨在探讨多模态MRI在脑膜瘤分级与分型中的诊断价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2021年1月至2023年12月西北大学附属医院收治的98例脑膜瘤患者为研究对象,根据病理结果分组。WHOⅠ级患者78例,纳入良性组;WHOⅡ级患者14例和Ⅲ级患者6例,共20例纳入恶性组。其中Ⅰ级患者中纤维型36例,内皮型30例,过渡型12例;Ⅱ级患者均为非典型脑膜瘤;Ⅲ级患者均为间变型脑膜瘤。本研究经医院医学伦理委员会审核批准。纳入标准:(1)患者均符合脑膜瘤诊断标准^[5],且具有明确的病理诊断结果;(2)年龄>18岁;(3)患者影像学资料完整;(4)无脑部手术史。排除标准:(1)入院时意识不清、认知功能不全;(2)患者有MRI检查禁忌证;(3)MRI图像质量较差者;(4)合并其他恶性肿瘤者。

1.2 方法

1.2.1 多模态MRI检查:采用西门子1.5T或飞利浦3.0T磁共振扫描仪及其专用头线圈进行检查,行常规序列扫描,T1WI(TR/TE=2 000 ms/9.3 ms);T2WI(TR/TE=3 000 ms/100 ms);FLAIR:TR/TE=7 000 ms/90 ms,反转时间为2 220 ms。三维动脉自旋标记(3D-ASL):TR/TE=4 173 ms/10 ms,层厚6 mm,FOV 230 mm×182 mm,矩阵64×60。磁共振扩散加权成像(DWI)扫描:TR/TE=5 000 ms/103 ms,b值设置为0和1 000 s/m²,上述检查层厚5 mm,层距1 mm,矩阵256×256,FOV为200×200 mm。磁敏感加权成像(SWI)扫描:采用3D-FLASH,TR/TE=27 ms/20 ms,翻转角15°,层厚2 mm。平

扫后,用高压注射器,以0.1 mmol/kg、3 mL/s团注Gd-DTPA。磁共振波谱成像(¹H-MRS):首先采用T2WI-3D序列扫描并重建定位,TR/TE=3 200 ms/400 ms,FOV=250×250 mm,层厚1 mm,矩阵256×256,定位完成后采用CSI技术扫描,参数:TR/TE=1 700 ms/135 ms,体素10 mm×10 mm×15 mm。

1.2.2 图像处理与分析 由两位有经验的影像科主治医生对MRI图像进行检查和分析,如果有不同的观点,则通过讨论来取得共识。序列导入配套处理软件,获取3D-ASL伪彩图,手动选取感兴趣区(ROI),测量肿瘤全层血流量(TBF)与对侧对应位置脑血流量(CBF)值,若肿瘤足够大,取3个层面作为不同ROI,每个ROI分别测量3次并取平均值作为结果,并计算平均rCBF=TBF/CBF;DWI检查数据传输至配套独立工作站,获取表观弥散系数(ADC)图像,选择病灶强化最明显的层面,在ADC图像上勾选ROI,其中多发病灶逐个勾画,勾画时避开囊变、坏死等区域,记录平均ADC值。SWI图像对磁敏感信号强度(ITSS)进行分析,层面选择为最小密度投影(MinIP)图像上肿瘤低信号最多层,评估ITSS等级分为0、1、2、3级,信号分别为无低信号、1~5个点/线状低信号、6~10个点/线状低信号、超过10个点/线状低信号或成片低信号,ITSS等级越高,信号越强,其中多瘤灶ITSS分级取最高级,统计并计算患者平均ITSS分级。¹H-MRS选取病灶实质区的ROI,检测各区域颅脑乙酰天门冬氨酸(NAA)、胆碱(Cho)、肌酸(Cr),并计算NAA/Cho、NAA/Cr、Cho/Cr。

1.3 观察指标

(1)良性组和恶性组脑膜瘤患者多模态MRI参数;(2)多模态MRI参数对脑膜瘤分级的诊断价值;(3)不同良性脑膜瘤亚型的多模态MRI参数;(4)典型脑膜瘤病例影像学特征。

1.4 统计学分析

采用SPSS25.0软件对数据进行处理与分析。计量资料符合正态分布且方差齐性,以($\bar{x} \pm s$)表示,两组间比较行独立样本t检验,多组间比较使用单因素方差分析,进一步两两分析采用SNK-q检验;诊断价值采用受试者工作特征(ROC)曲线分析,单个AUC比较采用Z检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 良性组和恶性组脑膜瘤患者多模态MRI参数比较

恶性组患者脑膜瘤区ADC值、NAA/Cho、NAA/Cr低于良性组;rCBF、ITSS、Cho/Cr高于良性组,差

异均有统计学意义($P<0.05$)。见表1。

表1 良性组和恶性组脑膜瘤患者多模态 MRI 参数比较($\bar{x}\pm s$)				
参数	恶性组($n=20$)	良性组($n=78$)	t 值	P 值
rCBF	2.27 ± 0.70	1.65 ± 0.49	4.597	<0.001
ADC 值($\times10^{-3}\text{ mm}^2/\text{s}$)	0.82 ± 0.24	0.97 ± 0.17	3.218	0.002
ITSS(级)	1.76 ± 0.53	1.30 ± 0.39	4.355	<0.001
NAA/Cho	0.14 ± 0.04	0.17 ± 0.05	2.484	0.015
NAA/Cr	0.20 ± 0.06	0.25 ± 0.07	2.342	0.021
Cho/Cr	1.96 ± 0.52	1.60 ± 0.47	2.990	0.004

表2 多模态 MRI 参数对脑膜瘤分级的诊断价值

指标	AUC 值	Z 值	P 值	约登指数	截断值	敏感度(%)	特异度(%)	95% CI
3D-ASL	0.723	2.851	0.004	0.455	1.87	75.00	70.51	0.624~0.809
DWI	0.735	3.214	0.001	0.456	$0.72\times10^{-3}\text{ mm}^2/\text{s}$	50.00	93.59	0.636~0.819
SWI	0.777	5.174	<0.001	0.505	1 级	80.00	70.51	0.682~0.855
$^1\text{H-MRS}$	0.870	10.072	<0.001	0.680	—	95.00	73.08	0.787~0.929
联合	0.957	24.596	<0.001	0.823	—	90.00	92.31	0.896~0.988

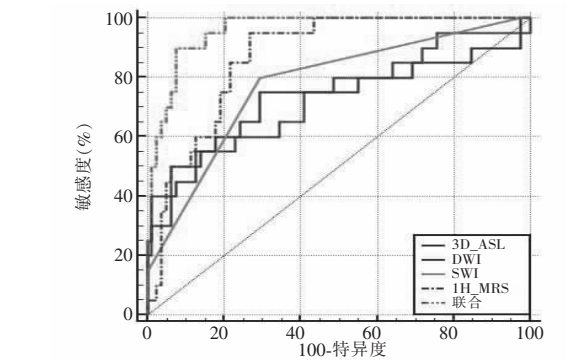


图1 多模态 MRI 参数对脑膜瘤分级诊断价值的 ROC 曲线

2.4 典型脑膜瘤病例影像学特征

病例1,女,65岁,小脑幕下枕大池区脑膜瘤。MRI显示,无脂肪饱和序列T2WI轴位病灶呈稍高信号,边缘可见更高信号水肿带,邻近四脑室受;脂

2.2 多模态 MRI 参数对脑膜瘤分级的诊断价值

ROC 曲线分析显示,3D-ASL、DWI、SWI、 $^1\text{H-MRS}$ 对恶性脑膜瘤均有诊断价值,且联合诊断的价值高于单独诊断($P<0.05$)。见表2及图1。

2.3 不同良性脑膜瘤亚型的多模态 MRI 参数比较

不同良性脑膜瘤亚型患者 rCBF、ITSS、NAA/Cho、NAA/Cr 及 Cho/Cr 水平比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表3。

肪饱和序列T2-FLAIR序列轴位病灶呈稍高信号,边缘见更高信号水肿带,四脑室受压;无脂肪饱和序列T1WI序列轴位病灶呈稍低信号,序列T2WI矢状位可见四脑室受压变窄;脂肪饱和序列T1WI增强扫描轴位、矢状位和冠状位显示肿块明显较均匀强化,矢状位可见脑膜尾征;CT平扫轴位显示肿块呈不均匀稍高密度,其内可见斑片状钙化;MRS序列显示病变Cho峰略高,未见明确NAA,可见高大Lip峰。病理结果(小脑肿瘤):结合组织学特点及免疫组化结果:EMA(部分+),CK(pan)(-),GFAP(-),Vimentin(+),PR(+),SSTR2(点灶+),S-100(-),STAT6(弱+),OLIG-2(-),Ki-67(3%+)。见图2A-J。

表3 不同良性脑膜瘤亚型的多模态 MRI 参数比较($\bar{x}\pm s$)

组别	rCBF	ADC	ITSS	NAA/Cho	NAA/Cr	Cho/Cr
纤维型($n=36$)	1.56 ± 0.46	0.93 ± 0.22	1.21 ± 0.13	0.18 ± 0.04	0.22 ± 0.04	1.42 ± 0.19
内皮型($n=30$)	2.37 ± 0.71 ^①	0.97 ± 0.21	1.25 ± 0.19	0.18 ± 0.05	0.24 ± 0.03	1.62 ± 0.22 ^①
过渡型($n=12$)	2.08 ± 0.62 ^①	0.91 ± 0.12	1.35 ± 0.15 ^①	0.14 ± 0.03 ^{①②}	0.35 ± 0.09 ^{①②}	2.11 ± 0.47 ^{①②}
F 值	15.670	0.491	3.517	4.402	33.948	27.977
P 值	<0.001	0.614	0.035	0.016	<0.001	<0.001

① $P<0.05$,与纤维型比较;② $P<0.05$,与内皮型比较。

病例2,女,59岁,左额部镰旁脑膜瘤。MRI检查显示,无脂肪饱和序列T2WI轴位病灶呈混杂稍高信号,内见斑片状低信号,邻近侧脑室受压,中线结构右移,矢状位可见胼胝体受压;序列T1WI序列轴位病灶呈混杂稍低信号,其内见斑片状低信号;序

列T2-FLAIR序列轴位病灶呈混杂稍高信号,内见斑片状低信号;DWI序列病灶呈轻度弥散受限稍高信号;脂肪饱和序列T1WI增强扫描轴位、矢状位和冠状位显示肿块呈明显不较均匀强化,内可见斑片状低信号无强化区,冠状位可见脑膜尾征。病理结

果(左额叶):结合组织形态及免疫组化结果,符合过渡型脑膜瘤(WHO 1 级)。免疫组化结果:EMA(+),CK 广(-),GFAP(-),VIM(+),PR(部分

+) ,SSTR2(+),S-100(+),KI-67(约 4%+),OLIG-2(-)。见图 2K-S。

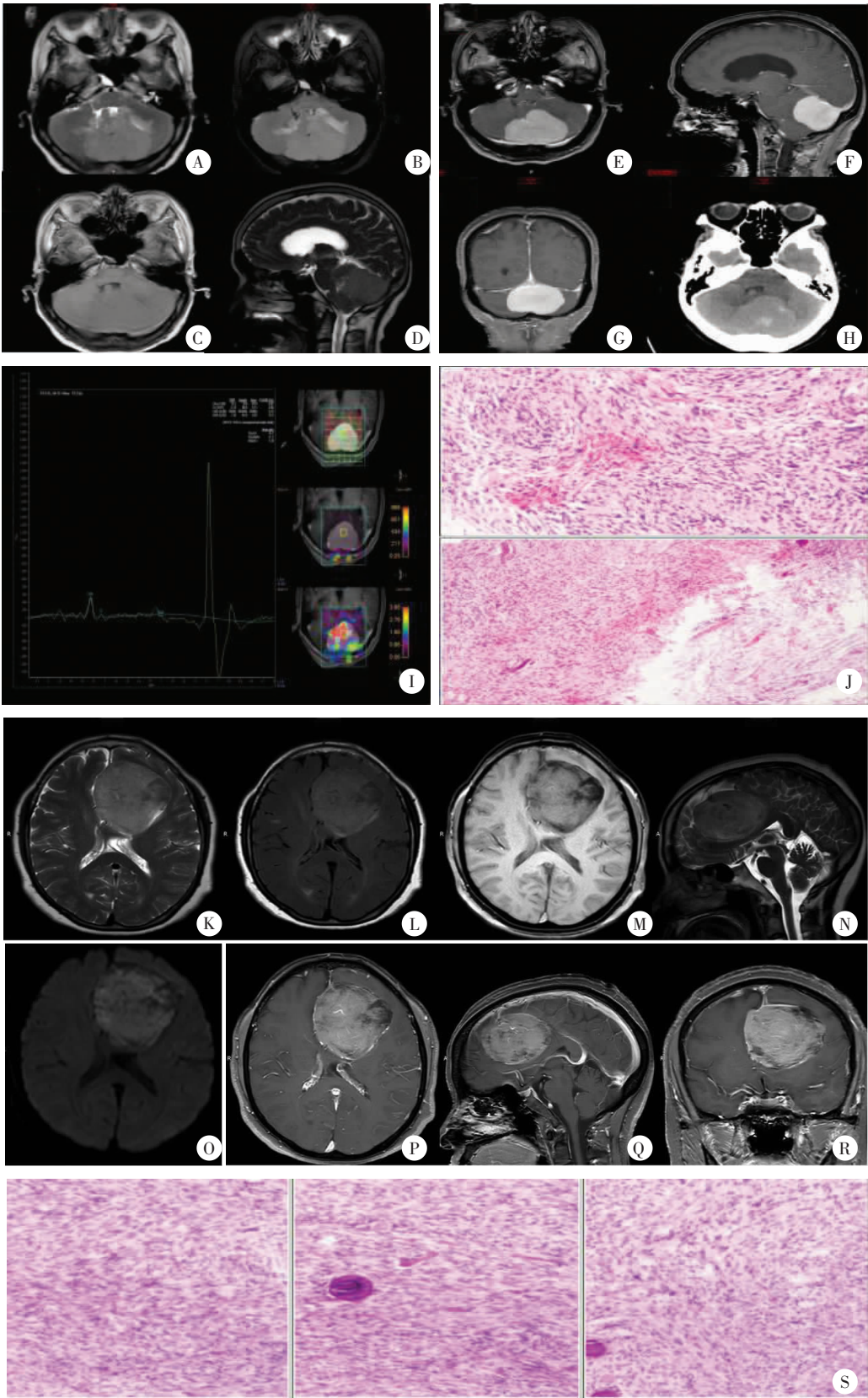


图 2 典型脑膜瘤病例影像学特征 (HE×100)

3 讨论

颅内肿瘤为中枢神经系统中常见疾病,主要有胶质瘤、脑膜瘤及转移性肿瘤。脑膜瘤患者在早期无明显症状,晚期可出现癫痫、肢体功能衰退等;以良性居多,但仍有部分患者可进展为恶性,导致不良预后。因此针对脑膜瘤分级分型的评估与预测对临床治疗可起到指导作用^[6]。目前脑膜瘤诊断鉴别

的金标准为病理检查,但对患者身体具有一定损害,无法用于常规检查。临床对肿瘤疾病的诊断采用MRI扫描,其具有操作简便、分辨率高等优势,在临床应用广泛^[7]。

MRI技术中,3D-ASL技术运用磁标记动脉质子进行三维快速成像,随后通过图像处理技术得出脑血流的灌注信息,无需向人体注入对比剂,而是以自由扩散的水分子作为内源性对比剂,是一种良好的灌注技术^[8]。DWI基于磁共振原理的影像技术,将水分子的扩散速度和程度进行量化得到ADC值,实现对肿瘤情况的量化评估^[9]。SWI主要反映组织内静脉血、出血、铁沉积等物质的磁敏感性变化,其在肿瘤上的低信号可通过ITSS反映,体现肿瘤内部的磁敏感性变化,如肿瘤坏死、微出血和肿瘤血管化^[10]。¹H-MRS的基本原理涉及化学位移和自旋耦合,依据不同化合物对主磁场的屏蔽作用不同以及核自旋产生的核磁矩间会相互干扰,导致共振峰的分裂和谱峰的增宽等原理,实现对代谢产物的评估,进而可掌握脑组织的代谢状态并检测肿瘤的成分和生物学特性等^[11]。本研究结果显示,恶性组患者脑膜瘤区ADC值、NAA/Cho、NAA/Cr低于良性组($P<0.05$),rCBF、ITSS、Cho/Cr高于良性组($P<0.05$)。原因可能是rCBF与肿瘤的生长速度息息相关。良性脑膜瘤生长缓慢,对周围组织的压迫和破坏程度较低,rCBF相对更低,而恶性脑膜瘤生长迅速,对周围组织的侵袭性强,需要大量的血液供应来满足其生长需求,因此rCBF值会升高^[12]。关于ADC值,WHO II/III级别的脑膜瘤相较于WHO I级的脑膜瘤具有更高的细胞密度,细胞外间隙相对较小,限制了水分子的弥散能力,此外恶性脑膜瘤往往具有丰富的血管网络,但这些血管可能更加紊乱和不规则,导致水分子在肿瘤内部的弥散路径受到阻碍,ADC值降低,因此恶性脑膜瘤患者ADC值呈现更低水平^[13]。在恶性脑膜瘤中,其生长速率较快、对周围组织的侵袭性强,这种快速的生长和侵袭可能导致静脉窦受到压迫和破坏,且肿瘤可能压迫静脉窦,导致血流受阻、出血或改变流向,进而引起信号强度的变化,另外恶性脑膜瘤中可存在钙化或

铁沉积等,最终导致ITSS低信号的增多^[14]。在¹H-MRS检查中,NAA是神经元和轴突的标志物,其浓度通常反映了神经元的完整性和功能状态,而Cr则是一种在脑内相对稳定的代谢物,常作为MRS中的内参照物;而Cho主要存在于细胞膜,其水平变化于细胞膜代谢变化相关,当细胞膜代谢旺盛时其水平明显增加。在恶性脑膜瘤中由于肿瘤增殖加快,细胞膜代谢旺盛,因此导致Cho水平大大升高,而快速增长的肿瘤组织又可压迫或破坏周围神经元等结构,进而导致NAA浓度降低,因此在NAA/Cho、NAA/Cr及Cho/Cr方面,良恶性脑膜瘤存在差异^[15]。本研究通过ROC分析发现,3D-ASL、DWI、SWI、¹H-MRS诊断恶性脑膜瘤的AUC为0.723、0.735、0.777、0.870,联合诊断的AUC为0.957,且联合诊断高于3D-ASL、DWI、SWI及¹H-MRS单独诊断;表明多模态MRI的联合应用在诊断脑膜瘤分级方面也具有较高价值。

临床脑膜瘤患者目前较多为良性,而良性脑膜瘤存在不同的亚型,不同亚型患者其治疗干预方式也不尽相同,因此针对分型的鉴别同样重要^[16]。本研究发现,除去DWI之外,纤维型脑膜瘤、内皮型脑膜瘤及过渡型脑膜瘤三种亚型患者rCBF、ITSS、NAA/Cho、NAA/Cr及Cho/Cr水平比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。纤维型脑膜瘤细胞和细胞核均为长梭状体,呈松散的同心螺旋状排列,有丰富的网状纤维和胶原纤维间质;内皮型脑膜瘤由多角形细胞组成,此类细胞成片状排列,形状肥大且细胞界线不清,核在中央较大,可见核仁,胞浆均匀;过渡型脑膜瘤细胞大多呈现梭形,但存在诸多脑膜内皮细胞灶,且细胞呈旋涡状排列,中央有血管或存在同心层样砂粒体^[17]。相较于纤维型和内皮型,过渡型虽同属良性脑膜瘤,但其具有向周围组织浸润性生长的能力,并可能越过硬脑膜向深部侵犯,因此其恶性程度相对稍高,因此在多模态MRI参数表现上也存在差异^[18];但本研究由于选取样本有限,各亚组样本量较少,上述MRI参数可能受到患者个体因素的影响,因此统计学计算上可能存在一定误差,但仍可初步确认多模态MRI在对脑膜瘤分型的鉴别中具有一定指导意义。

综上,MRI在脑膜瘤的诊断鉴别中具有明显优势,结合DWI、3D-ASL、SWI及¹H-MRS等的多模态MRI诊断脑膜瘤良恶性具有良好价值,且对良性脑膜瘤亚型的鉴别也具有一定价值,值得临床推广。

- Consortium on Meningiomas consensus review on scientific advances and treatment paradigms for clinicians, researchers, and patients[J]. *Neuro-oncology*, 2024, 26(10):1742–1780.
- [2] Näslund O, Strand PS, Skoglund T, *et al.* Overview and recent advances in incidental meningioma[J]. *Expert Review of Anticancer Therapy*, 2023, 23(4):397–406.
- [3] Maggio I, Franceschi E, Tosoni A, *et al.* Meningioma; not always a benign tumor. A review of advances in the treatment of meningiomas[J]. *CNS Oncology*, 2021, 10(2):CNS72.
- [4] Neromyliotis E, Kalamatanos T, Paschalis A, *et al.* Machine learning in meningioma MRI: past to present. A narrative review[J]. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2022, 55(1):48–60.
- [5] 中华医学会神经外科学分会神经肿瘤学组. 脑膜瘤分子诊疗专家共识(2022版)[J]. *中华神经外科杂志*, 2023, 39(4):325–338.
- [6] Raban D, Patel SH, Honce JM, *et al.* Intracranial meningioma surveillance using volumetrics from T2-weighted MRI[J]. *Journal of Neuroimaging*, 2022, 32(1):134–140.
- [7] 韩涛, 刘显旺, 徐震东, 等. 构建多参数 MRI 影像组学脑膜瘤分级模型[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2023, 34(4):229–233, 266.
- [8] Kalchev E. Insights into meningioma visibility on arterial spin labeling MRI: location outweighs size[J]. *Cureus*, 2023, 15(6):e40204.
- [9] Iglseder S, Iglseder A, Beliveau V, *et al.* Somatostatin receptor subtype expression and radiomics from DWI-MRI represent SUV of [68Ga]Ga-DOTATOC PET in patients with meningioma[J]. *Journal of Neuro-Oncology*, 2023, 164(3):711–720.
- [10] Xu Z, Chen M, Zheng S, *et al.* Differential diagnosis of parotid gland tumours: Application of SWI combined with DWI and DCE-MRI[J]. *European Journal of Radiology*, 2022, 146:110094.
- [11] Gill SK, Rose HEL, Wilson M, *et al.* Characterisation of paediatric brain tumours by their MRS metabolite profiles[J]. *NMR in Biomedicine*, 2024, 37(5):e5101.
- [12] Panigrahi M, Bodhey NK, Pati SK, *et al.* Differentiation between various types and subtypes of intracranial meningiomas with advanced MRI[J]. *SA Journal of Radiology*, 2022, 26(1):2480.
- [13] Cao T, Jiang R, Zheng L, *et al.* T1 and ADC histogram parameters may be an in vivo biomarker for predicting the grade, subtype, and proliferative activity of meningioma[J]. *European Radiology*, 2023, 33(1):258–269.
- [14] Peer S, Saini J, Prasad C, *et al.* Utility of multiparametric pre-operative magnetic resonance imaging in differentiation of chordoid meningioma from the other histopathological subtypes of meningioma-a retrospective study[J]. *Neuroradiology*, 2022, 64(2):253–264.
- [15] Liu L, Liang F. Magnetic resonance spectroscopy may help diagnose sporadic meningioangiomatosis associated with meningioma: a case report[J]. *Frontiers in Neurology*, 2022, 13:912728.
- [16] Smith HL, Wadhwani N, Horbinski C. Major features of the 2021 WHO classification of CNS tumors[J]. *Neurotherapeutics*, 2022, 19(6):1691–1704.
- [17] 徐海彪, 袁光耀, 潘敏泓, 等. 基于铜死亡基因识别脑膜瘤亚型并筛选脑膜瘤-免疫相关的关键基因[J]. *临床神经外科杂志*, 2024, 21(2):162–171.
- [18] 张琪, 李桂林, 何艳姣. 良性脑膜瘤中自噬小体的超微结构特点及临床意义[J]. *中国组织工程研究*, 2023, 27(33):5304–5308.
- (收稿日期:2024–12–13 修回日期:2025–01–29)