



电子、语音版

· 论 著 ·

多模态磁共振技术在脑内环形强化病变中的诊断价值

曾旖旎, 李文君, 朱安定, 陈茹, 宋治, 郑文
中南大学湘雅三医院神经内科, 湖南 长沙 410013

摘要:目的 总结脑内环形强化病变的神经影像学特点,探讨多模态磁共振技术在脑内环形强化病变中的诊断价值。方法 回顾分析 2015 年 1 月—2023 年 1 月中南大学湘雅三医院就诊的 67 例脑内环形强化病变患者多模态磁共振特点、影像学诊断、临床确诊报告及预后等相关临床资料。结果 67 例脑内环形强化病变患者中,胶质瘤 26 例,转移瘤 20 例,脑脓肿 7 例,脱髓鞘病变 5 例,淋巴瘤 3 例,其他病变 6 例。常规 MRI 序列(T1WI、T2WI、FLAIR 和增强)尽管能清晰显示脑内环形强化灶的部位、形态、灶周水肿程度等特点,但定性诊断困难。结合其他多模态磁共振序列(MRS、DWI、PWI 等)的影像学特点,并构建影像学鉴别诊断流程图,57 例患者得出了较明确的影像学诊断,其中 54 例患者的影像学诊断与最终临床诊断相符。结论 多模态磁共振技术(MRS、DWI、PWI 等)通过解析脑内环形强化病变的病理生理特点,结合程序性鉴别诊断分析,显著提高了影像学诊断的准确率。

[国际神经病学神经外科学杂志, 2024, 51(1): 7–16]

关键词: 环形强化灶;多模态磁共振成像;胶质瘤;转移瘤;脑脓肿

中图分类号: R741.041

DOI: 10.16636/j.cnki.jinn.1673-2642.2024.01.002

Value of multimodal magnetic resonance imaging in diagnosis of ring-enhancing lesions in the brain

ZENG Yini, LI Wenjun, ZHU Anding, CHEN Ru, SONG Zhi, ZHENG Wen

Department of Neurology, Third Xiangya Hospital, Central South University, Changsha, Hunan 410013, China

Corresponding author: ZHENG Wen, Email: zhengwen5309@163.com

Abstract: **Objective** To investigate the neuroimaging characteristics of intracranial ring-enhancing lesions and the value of multimodal magnetic resonance imaging (MRI) in the diagnosis of such lesions. **Methods** A retrospective analysis was performed for the clinical data of 67 patients with intracranial ring-enhancing lesions who were treated in Third Xiangya Hospital, Central South University, from January 2015 to January 2023 and underwent multimodal MRI, including imaging characteristics, imaging diagnosis, report of clinical confirmed diagnosis, and prognosis. **Results** Among the 67 patients with intracranial ring-enhancing lesions, there were 26 patients with glioma, 20 patients with metastatic tumors, 7 patients with encephalopathy, 5 patients with demyelinating lesions, 3 patients with lymphomas, and 6 patients with other diseases. Although conventional MRI sequences (T1WI, T2WI, FLAIR, and contrast-enhanced examination) can clearly display the location and shape of ring-enhancing lesions and the degree of perifocal edema, it is difficult to make a qualitative diagnosis. With reference to the imaging characteristics of other multimodal magnetic resonance sequences (such as MRS, DWI, and PWI) and the construction of a flow chart for imaging differential diagnosis, a relatively clear imaging diagnosis was made for 57 patients, among whom 54 patients had an imaging diagnosis consistent with the final clinical diagnosis. **Conclusion** Multimodal magnetic resonance techniques (including MRS, DWI, and PWI) significantly improve the accuracy of imaging diagnosis by analyzing the pathophysiological characteristics of intracranial ring-enhancing

基金项目: 湖南省自然科学基金(2020JJ4865、S2021JJMSXM2689), 湖南省临床医学技术创新指导项目(2020SK53612)。

收稿日期: 2023-05-11; 修回日期: 2024-01-05

作者简介: 曾旖旎(1999—), 女, 硕士研究生, 主要从事癫痫临床研究。Email: zyn20200212@163.com。

通信作者: 郑文(1976—), 男, 神经内科副主任, 副主任医师, 硕士研究生导师, 主要从事癫痫临床与基础研究。Email: zhengwen5309@163.com。

lesions in combination with the programmed differential diagnostic analysis.

[Journal of International Neurology and Neurosurgery, 2024, 51(1): 7-16]

Keywords: ring-enhancing lesions; multimodal magnetic resonance imaging; glioma; metastatic tumor; encephalopathy

脑内环形强化病变是神经影像学常见的异常表现,其病变性质复杂多样。尽管常规磁共振(magnetic resonance imaging, MRI)序列[T1WI、T2WI、液体抑制反转恢复(fluid attenuated inversion recovery, FIAIR)和增强]可以清楚显示病变的范围、环形强化的形态及灶周水肿程度等,但定性诊断依然困难重重,面临很大的挑战^[1-2]。近年来,多模态功能磁共振技术飞速发展,除了能清楚显示脑内环形强化病变的形态学特征,还可进一步揭示病变的病理生理特点^[3-5],为定性诊断提供更多的影像学证据,提高影像学诊断的准确率。本文通过总结多模态磁共振技术解析脑内环形强化病变的病理生理特点,构建脑内常见环形强化病变鉴别诊断的流程图,进一步探讨多模态磁共振技术在脑内环形强化病变诊断中的重要价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析2015年1月—2023年1月我院(中南大学湘雅三医院)就诊的67例脑内环形强化病变患者多模态磁共振影像学特点、影像学诊断、临床诊断及预后等相关临床资料。其中,男性43例,女性24例;年龄18~76岁。所纳入资料获得湘雅三医院医学伦理委员会批准。

1.2 多模态磁共振成像技术

67例脑内环形强化病变患者均完成了多模态磁共振成像技术检查,包括T1WI、T2WI、FIAIR、增强、磁共振波谱分析(magnetic resonance spectroscopy, MRS)、弥散加权

成像(diffusion weighted imaging, DWI)和/或灌注加权成像(perfusion weighted imaging, PWI)序列。部分患者进行了常规CT扫描。进一步分析每位患者多模态磁共振的影像学特点及影像学诊断,并与最终临床诊断比分析,评估影像学诊断的准确率。

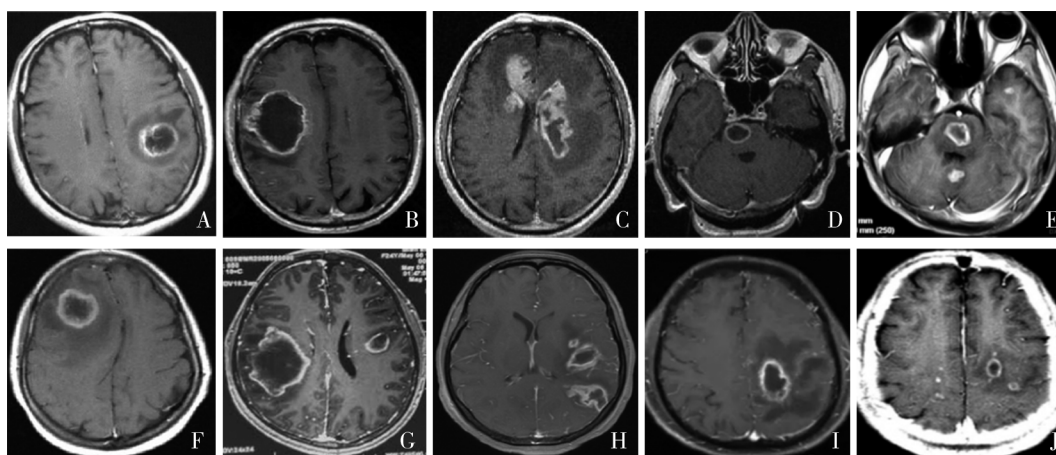
2 结果

2.1 脑内环形强化病变初步诊断

纳入的67例脑内环形强化病变患者中,胶质瘤26例,转移瘤20例,脑脓肿7例,脱髓鞘病变5例,淋巴瘤3例,其他病变6例[脑囊虫病2例,结核瘤1例,Whipple病1例,原发性中枢神经系统血管炎(primary angiitis of the central nervous system, PACNS)1例,放射性损伤1例]。常规MRI序列(T1WI、T2WI、FIAIR和增强)尽管能清晰显示病变的部位、环形强化的形态、灶周的水肿程度等特点,但鉴别诊断困难。不同病变的环形强化灶的形态可大致相似,而相同病变表现出来的环形强化灶的形态又可千差万别(见图1)。仅仅依据常规MRI序列的影像学特点,大部分病例很难得出一个比较明确的影像学诊断。

2.2 影像学鉴别诊断流程

进一步分析67例患者MRS、DWI、PWI等多模态磁共振序列的典型特点,并构建影像学鉴别诊断流程图(见图2),其中57例患者得出了比较明确的影像学诊断,54例患者的影像学诊断与最终临床诊断相符(病理检查或临床疗效验证,见表1)。



A:胶质瘤; B:胶质瘤; C:转移瘤; D:转移瘤; E:结核瘤; F:淋巴瘤; G:脱髓鞘假瘤; H:脑脓肿; I:脑脓肿; J:脱髓鞘假瘤。

图1 脑内环形强化病变

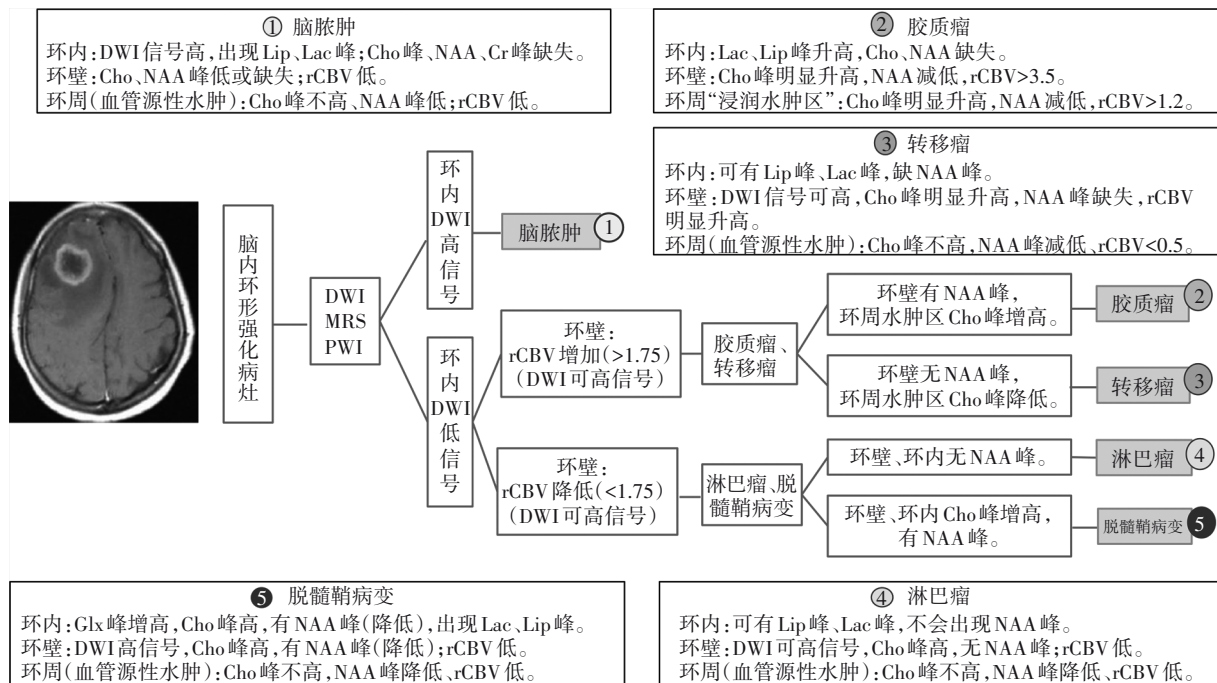


图2 脑内常见环形强化病变的鉴别诊断流程图

表1 67例患者的临床、影像学特点及影像学诊断

临床诊断	例数	性别		年龄/岁	临床症状	多模态磁共振			影像学诊断
		男	女			DWI	MRS	rCBV	
高级别胶质瘤	26	15	11	36~75	头痛(n=17),偏侧肢体乏力(n=14),偏侧肢体麻木(n=6),癫痫发作(n=9),视觉障碍(n=3),言语障碍(n=11)。	环壁:稍高信号(n=17),等信号(n=9);环内:低信号(n=26)。	环壁:Cho峰升高(n=26),NAA峰减低(n=26);环内:Cho、NAA峰缺失(n=26);环周水肿区:Cho峰升高(n=18),Cho峰改变不明显(n=3),5例未检测该区)。	环壁:4.51±0.41(n=21,5例未做PWI);环周水肿区:1.51±0.21(n=17,5例未做PWI,4例未检测该区)。	胶质瘤(n=21),其他诊断(n=5)
转移瘤	20	13	7	43~81	头痛(n=18),偏侧肢体乏力(n=7),偏侧肢体麻木(n=3),癫痫发作(n=4),视觉障碍(n=1),言语障碍(n=3),高级智能减退(n=2)。	环壁:稍高信号(n=13),等信号(n=7);环内:低信号(n=20)。	环壁:Cho峰升高(n=20),NAA峰缺失(n=9),NAA峰显著降低(n=8),Cr峰缺失或非正常低(n=18);环内:Cho、NAA峰缺失(n=20);环周水肿区:Cho、NAA峰减低(n=17)。	环壁:3.87±0.35(n=17,3例未做PWI);环周水肿区:0.67±0.26(n=16,3例未做PWI,1例未检测该区)。	转移瘤(n=16),其他诊断(n=4)
脑脓肿	7	3	4	15~52	发热(n=6),头痛(n=7),偏侧肢体乏力(n=2),癫痫发作(n=1),颈抗(n=4)。	环壁:低信号(n=5);等信号(n=2);环内:明显高信号(n=7)。	环壁:Cho、NAA峰显著降低或缺失(n=6);环内:Cho、NAA峰缺失(n=6);环周水肿区:Cho、NAA峰减低(n=6)。(1例未做MRS)。	环壁:2.23;环周水肿区:0.77(n=1,6例未做PWI)。	脑脓肿(n=7)
脱髓鞘病变	5	2	3	21~37	偏侧肢体乏力(n=4),偏侧肢体麻木(n=3),头晕、呕吐(n=2),言语障碍(n=2)。	环壁:高信号(n=5);环内:低信号(n=5)。	环壁:Cho峰升高(n=5),NAA峰减低(n=5);环内:Cho峰升高(n=5)、NAA峰存在(n=5);环周水肿区:Cho、NAA峰减低(n=2,3例未检测该区)。	环内:1.56±0.35(n=5);环周水肿区:0.74±0.12(n=5)。	脱髓鞘病变(n=5)
淋巴瘤	3	2	1	39~57	偏侧肢体乏力、麻木(n=2),口齿不清(n=1)。	环壁:稍高信号(n=3);环内:低信号(n=3)。	环壁:Cho峰升高(n=3),NAA峰缺失(n=1),NAA峰极低(n=2),Cr峰缺失或非正常低(n=2);环内:Cho、NAA峰缺失(n=3);环周水肿区:Cho、NAA峰减低(n=3)。	环壁:1.34±0.25(n=3);环周水肿区:0.73±0.05(n=3)。	淋巴瘤(n=2),其他诊断(n=1)

续表 1

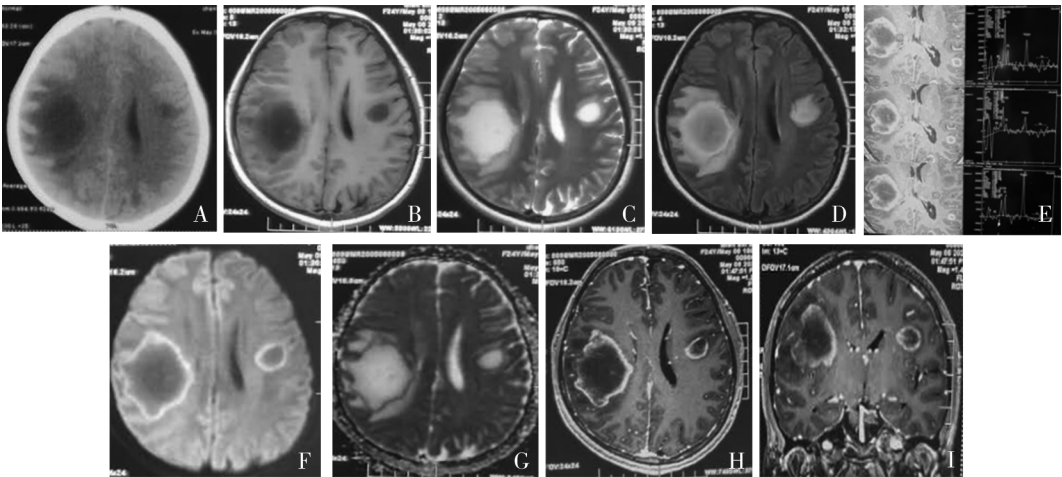
临床 诊断	例数	性别		年龄/ 岁	临床症状	多模态磁共振			影像学 诊断
		男	女			DWI	MRS	rCBV	
脑囊虫病	2	2		17~29	头痛	环壁:等信号($n=2$);环内:低信号($n=2$)	环壁:典型节段改变,Cho峰改变不明显($n=2$),NAA峰稍降低($n=1$);环内:Cho、NAA峰缺失($n=2$);环周无明显水肿。	未做	脑囊虫病($n=2$)
结核瘤	1		1	33	低热、头痛、颈抗	环壁:低信号;环内:高信号。	环壁:Cho、NAA峰非常低;环内:Cho、NAA峰非常低;环周水肿区:Cho、NAA峰稍减低	环壁:1.58;环周水肿区:0.57	脑脓肿
Whipple病	1	1		28	低热、头痛、腹泻、关节痛	环壁:等信号;环内:高信号。	环壁、环内:Cho、NAA峰下降。	未做	炎性假瘤
PACNS	1		1	36	低热、头痛,偏侧肢体乏力	环壁:等信号;环内:低信号	环壁、环内:Cho、NAA峰下降。	环壁:2.37;环周水肿区:0.84	炎性假瘤
放射性损伤	1	1		58	头痛,呕吐,视物模糊,有放疗史	环壁:等信号;环内:等信号	环壁、环内:Cho、NAA峰下降,Lip、Lac峰升高。	环壁:1.37;环内:1.41;环周水肿区:0.91	放射性损伤

2.3 典型病例

病例1,患者24岁,女性,因“双下肢麻木乏力半月”入院。既往史:有自身免疫性溶血性贫血、血小板减少、结缔组织病,激素+免疫抑制剂治疗8年余。查体:慢病病容、言语不清、吞咽困难,左侧偏身感觉减退、左侧肢体肌力3级,腱反射亢进;右侧肢体肌力4级,双侧病理征阳性。血常规:血小板 $48\times10^9/L$,轻度贫血;腰椎穿刺:压力180 mmH₂O,脑脊液常规、细胞学正常,蛋白560 mg/L,糖、氯化物正常;头部CT为多发低密度病灶(图3A)。头部磁共振(图3B~3I):双侧脑实质内长T1、长T2信号,FLAIR高信号,病灶环形强化,开环样。环壁Cho峰明显升高,DWI高信号,ADC图为低信号,提示肿瘤及脱髓鞘病变可能,但环内Cho峰明显升高,并有NAA峰存在,高度提示脱髓鞘假瘤,不符合肿瘤坏死囊变及脓肿的病理特点(Cho峰、NAA峰缺失)。该病例影像学诊断:脱髓鞘假瘤。未行脑

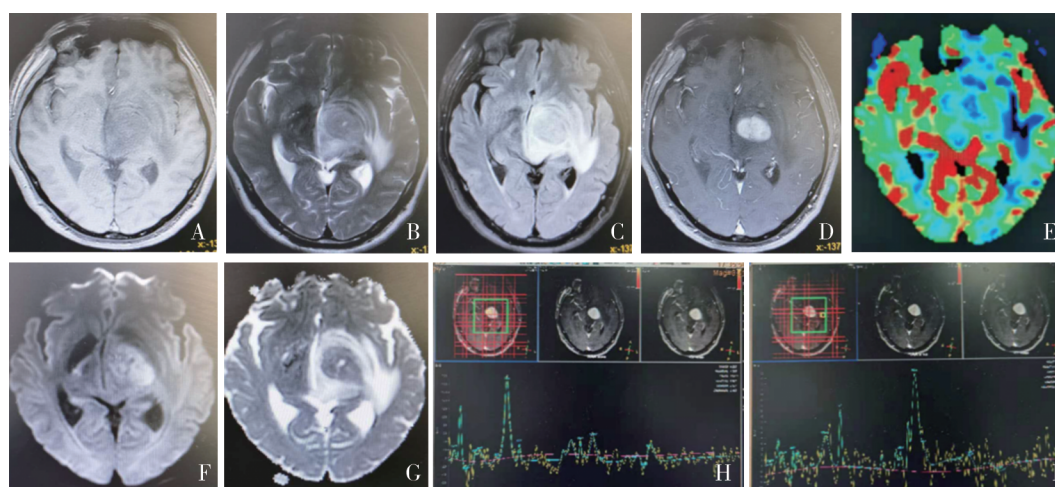
组织活检,予激素+环磷酰胺治疗,3个月后恢复正常,颅内病灶消失,临床确诊为脱髓鞘假瘤。

病例2,患者55岁,男性,因“右侧肢体乏力、口齿不清7 d”于2019年12月3日入院。既往有头部外伤病史。体查:神志清楚,反应稍迟钝,口齿欠清,右侧肢体肌力5-级,病理征阳性。头部磁共振(图4):左基底节区占位性病变,周围水肿带。病变中心强化区(相当于环壁)Cho峰明显升高,DWI高信号,提示肿瘤或脱髓鞘病变可能,但病变中心强化区NAA峰及Cr峰完全缺失,提示神经元及胶质细胞成分缺如,不支持脱髓鞘病变及胶质瘤。PWI(中心强化区rCBV减少,rCBF减少,MTT缩短)提示该肿瘤血供不丰富,可排除转移瘤(rCBV明显增加),高度符合淋巴瘤新生血管少的典型特点。影像学诊断:原发性中枢神经系统淋巴瘤,行脑活检手术,结合病理检查确诊为:原发性中枢神经系统淋巴瘤。



A:CT; B:T1WI; C:T2WI; D:FLAIR 成像; E:MRS; F:DWI; G:ADC 图; H:T1 增强; I:T1 增强矢状位。

图3 脱髓鞘假瘤的多模态MR图像



A: T1WI; B: T2WI; C: FLAIR; D: 增强; E: PWI; F: DWI; G: ADC图; H~I: MRS。

图4 原发性中枢神经系统淋巴瘤的多模态MR图像

3 讨论

3.1 多模态磁共振技术的应用

3.1.1 磁共振波谱分析(MRS) 脑内病变的代谢改变往往早于形态学的改变。MRS可通过检测病变区多种代谢物包括N-乙酰天门冬氨酸(NAA)、胆碱(Cho)、肌酸(Cr)、乳酸(Lac)、脂质(Lip)的变化^[3,6],间接反映病变的病理生理过程^[7-10]。

NAA峰:正常脑组织的第一大峰,仅存在于成熟神经元内,是神经元密度和活力的标志。所有导致神经元损伤和丢失的病变(如脓肿、肿瘤、多发性硬化及脱髓鞘疾病等)都可以导致NAA峰降低和NAA/Cr比值降低。不含神经元的病变(如脑膜瘤、转移瘤、淋巴瘤、脑脓肿的纤维结缔组织环等),NAA峰缺失或非常低^[7]。

Cho峰:反映胞膜代谢的变化。胞膜合成或降解增加(胞膜更新加快)时Cho峰升高,主要见于婴儿、急性脱髓鞘、肿瘤、线粒体脑病等。在几乎所有的原发性和继发性脑肿瘤(包括脑膜瘤、淋巴瘤、转移瘤、胶质瘤等)中,由于细胞密度高、细胞增殖快、胞膜更新加速,Cho峰均升高(除颅咽管瘤)。Cho/Cr和Cho/NAA的比值随着肿瘤恶性程度的增高而增加^[11-15]。在急性脱髓鞘疾病中Cho峰的水平升高,反映了磷脂降解产物的堆积。Cho峰降低见于感染、脓肿、结核和肝性脑病等^[6]。

Cr峰:正常脑组织中第二大峰,存在于神经元和胶质细胞中,是脑组织能量代谢的提示物。Cr在低能量代谢的情况下增加,而在高能量代谢的情况下降低。脑肿瘤高代谢导致Cr降低。在一些不含神经元和胶质细胞的病变中(如脑膜瘤、转移瘤、淋巴瘤等),Cr峰缺失或非常低^[7,16]。

Lac峰:是无氧糖酵解的产物。正常情况下,细胞代谢以有氧代谢为主,检测不到Lac峰,或Lac峰非常低。在脑缺氧、缺血、梗死、脑出血、脓肿、癫痫、肿瘤、线粒体

脑肌病等情况下会出现Lac峰。脑肿瘤病变中,Lac峰越高提示肿瘤的恶性程度越高。Lac峰也出现于无代谢的囊变区和坏死组织(脓肿)内。

Lip峰:是坏死病灶内脂质的堆积,反映了组织的坏死程度^[8,17]。在肿瘤病灶(高级别胶质瘤、淋巴瘤、转移瘤)中升高;在肿瘤坏死区、放射性坏死区和感染性病变(如脑脓肿)中也升高^[16,18]。

3.1.2 弥散加权成像(DWI) DWI是通过施加梯度脉冲观察细胞内外水分子跨细胞膜移动(即水分子扩散运动引起的信号变化)的成像技术^[6,19-20]。DWI高信号提示细胞内水分子真性弥散受限(对应的ADC值降低)或假性弥散受限(T2透射效应和T2廓清效应等,对应ADC值不降低)。导致细胞内水分子弥散受限的病理生理机制主要包括三大类:①细胞毒性水肿,如梗死、脱髓鞘、缺血缺氧性脑病、创伤、中毒代谢性疾病、癫痫发作,甚至是早期的变性、CJD、神经元核内包涵体病等;②细胞密集度与核浆比的增加,主要见于肿瘤性病变^[8,21-22];③液体的黏稠度增高,主要见于出血性病变、脑脓肿、凝固性坏死等^[2,21]。

3.1.3 灌注加权成像(PWI) PWI基于灌注对比剂追踪技术,能反映组织血液灌注的情况,间接反映组织的微血管分布情况^[2,23-24]。PWI检测指标包括:相对脑血容量(rCBV)、相对脑血流量(rCBF)、相对平均通过时间(rMTT)、相对达峰时间(rTTP)等。PWI在缺血性脑卒中的应用价值巨大。除此之外,PWI有助于:①鉴别肿瘤性病变与非肿瘤性病变,可有效测量肿瘤区、瘤旁区、瘤周水肿区的血流动力学信息,评判脑肿瘤的新生血管程度、分级和恶性程度^[2,5,25-27]。②鉴别转移瘤与胶质瘤:两者病灶区rCBV表现相近^[28-29],但胶质瘤瘤周浸润水肿区rCBV明显高于转移瘤瘤周血管源性水肿区^[2,30-32]。③鉴别颅内肿瘤复发和放射性坏死。④有助于淋巴瘤与其他

恶性肿瘤的鉴别诊断:淋巴瘤新生血管少,rCBV 较低。

3.2 脑内环形强化病变的常见病因

导致脑内出现环形强化灶的病变复杂多样,包括肿瘤性病变、感染性病变、脱髓鞘病变、血管性病变、自身免疫性相关病变等^[16,21,33-34]。本组 67 例患者中,胶质瘤 26 例(38.8%),转移瘤 20 例(29.8%),脑脓肿 8 例(包括 1 例结核瘤,11.9%),脱髓鞘病变 5 例(7.4%),淋巴瘤 3 例(4.5%),其他病变 5 例(8.9%,脑囊虫病 2 例,结核瘤 1 例,Whipple 病 1 例,PACNS 1 例,放射性损伤 1 例)(见表 2)。肿瘤性病变是导致脑内环形强化病灶最常见病因,包括脑转移瘤和胶质瘤^[7,35],约占脑内所有环形强化病变的 70%。淋巴瘤以实性均匀强化常见,但笔者也发现 3 例表现为环形强化病灶的淋巴瘤患者,其他少见的肿瘤包括听神经瘤、三叉神经瘤等^[36]。脑脓肿是脑内环形强化病变的第二位原因,包括细菌、结核、真菌、梅毒、脑弓形虫病、HIV 感染、Whipple 菌感染等。脱髓鞘假瘤样病变是脑内环形强化病变的第 3 位原因,约占 7.4%。其他病因包括:自身免疫相关病变、脑囊虫病、放射性损伤、脑梗死、血管炎等^[1,37-38]。

表 2 脑内环形强化病变的病因

病变性质	百分比
高级别胶质瘤	38.8%
脑转移瘤	29.8%
脑脓肿(细菌、结核、真菌等)	11.9%
脱髓鞘假瘤	7.4%
淋巴瘤	4.5%
其他:自身免疫相关病变、脑梗死、亚急性/慢性血肿、放射性损伤、血管炎(神经白塞病、PACNS)、脑囊虫病、脑血吸虫病、脑弓形虫病、HIV 感染、神经梅毒、Whipple 病等。	7.6%

3.3 脑内环形强化病变的病理生理变化及多模态磁共振影像学特点

本组 67 例病例中,胶质瘤、转移瘤、淋巴瘤、脑脓肿及脱髓鞘假瘤等疾病(91.0%,61 例/67 例)是导致脑内环形强化病变的主要病因,是鉴别诊断的重点与难点。这些不同性质的脑内环形强化病灶的环内容物、环壁和环周水肿带的病理生理特点不同,这是影像学鉴别诊断的重要依据。通过程序性分析多模态磁共振序列揭示的典型病理生理特点(见表 3),可提高脑内环形强化病变影像学诊断的准确率。

环内容物:胶质瘤、转移瘤、淋巴瘤等环内容物为组

织坏死液化囊变,以清亮的浆液为主,黏滞度低,无存活的肿瘤细胞和神经细胞,Cho 峰、NAA 峰缺失,Lac、Lip 峰升高。水分子弥散不受限,DWI 呈低信号,ADC 值增高^[8,15,39]。但有部分恶性程度高的肿瘤可并发出血,形成环内血肿。脑脓肿的环内容物为坏死液化的脓液,混杂细菌和炎症细胞,黏滞度高,水分子弥散受限,DWI 为高信号,ADC 值低,并出现 Lip、Lac 峰;脓腔内无存活的神元神经胶质细胞,Cho 峰、NAA 峰、Cr 峰缺失^[3,8,21]。脱髓鞘假瘤的环内病变为亚急性期或慢性期脱髓鞘病变,DWI 低信号,ADC 值高;环内有大量存活的神元和胶质细胞,非坏死囊变或液化,Cho 峰显著增高,NAA 峰降低(NAA 峰、Cr 峰不会缺失),出现 Lac 峰、Lip 峰,Glx 增高。

环壁:脑内肿瘤(如胶质瘤、转移瘤、淋巴瘤等)的环壁为增生的肿瘤细胞,细胞密度高,核浆比高,DWI 为高信号、ADC 值降低;胞膜代谢增强,Cho 峰明显升高。胶质瘤环壁有神经元存在,NAA 减低;不同于胶质瘤,转移瘤和淋巴瘤瘤体不含神经元及神经胶质细胞,NAA 峰、Cr 峰缺失或非常低^[16]。胶质瘤和转移瘤新生血管丰富,明显强化,rCBV>3.5^[7,16,37]。淋巴瘤浸润损害血脑屏障,同样强化明显,但新生血管少,rCBV 降低^[3,7,16,34]。脑脓肿的环壁为致密的纤维化肉芽组织,DWI 为低信号,ADC 值高;环壁纤维化肉芽组织不含神经元及神经胶质细胞,Cho 峰、NAA 峰缺失或非常低。环壁纤维化肉芽组织无新生血管,但血脑屏障损害,强化明显,rCBV 低^[2]。脱髓鞘假瘤的环壁为急性脱髓鞘病变,磷脂降解产物的堆积,Cho 峰高;水分子弥散受限,DWI 呈轻-中度高信号,ADC 值低;环壁仍有大量存活的神元及神经胶质细胞,NAA 峰低(NAA 峰、Cr 峰不会缺失);环壁无新生血管,rCBV 低。但血脑屏障被破坏,强化明显。

环周水肿区:绝大多数脑内环形强化灶的环周病变为血管源性水肿,如转移瘤、淋巴瘤、脑脓肿、脱髓鞘假瘤等导致血管通透性增高及水通道蛋白的参与导致血管源性水肿^[40-41],Cho 峰不高,NAA 峰减低,rCBV<0.5^[3,7]。但胶质瘤的瘤周水肿区有大量肿瘤细胞沿着白质束浸润^[42-43],为浸润性水肿,新生血管丰富,神经元减少,Cho 峰明显升高,NAA 减低,rCBV>1.2^[3,7,30-32]。

通过多模态磁共振技术(DWI、ADC、MRS、PWI)组合检查,综合解析脑内环形强化病变环壁、环内及环周水肿区的不同病理生理特点,结合程序性鉴别诊断分析,可提高脑内环形强化病变鉴别诊断的准确率(见表 4)。

表3 脑内环形强化病变的多模态磁共振影像特点

项目	高级别胶质瘤	转移瘤	淋巴瘤	脑脓肿	脱髓鞘假瘤
形态学特点	强化的环壁通常不完整, 有不连处, 形态不规则, 花环状, 壁厚薄不均, 无张力, 有侵袭性表现, 周围有杵状水肿带 ^[16] 。	环形强化灶多为类圆形, 环壁完整, 厚薄不均, 或有结节。中心坏死较少时, 壁较厚; 中心坏死明显时, 壁薄, 可有张力 ^[37] 。	多为累及中线结构(如胼胝体)的结节样病灶, 可呈蝶翼征, 瘤周占位效应可轻可重。肿瘤偶尔囊变后可见“环形强化”, 环壁厚。	环壁完整, 内外光滑, 厚薄比较均匀, 有张力, 可有卫星灶。	典型者呈开放性环状强化。
环壁	为增殖的肿瘤细胞, 细胞密度高, 核浆比高, DWI 为高信号、ADC 值降低; 胞膜代谢增强, 神经元减少, Cho 峰明显升高、NAA 减低; 新生血管丰富, rCBV>3.5 ^[7, 16, 37, 44, 45] 。	为增殖的肿瘤细胞, 细胞密度高, 核浆比高, DWI 为高信号, ADC 值降低; 胞膜代谢增强, Cho 峰明显升高; 瘤体不含神经元及神经胶质细胞, NAA 峰、Cr 峰缺失或非常低 ^[16] 。肿瘤新生血管丰富, rCBV 明显升高 ^[2, 37] 。	为增殖的肿瘤细胞, 细胞密度高, 核浆比高, DWI 为高信号, ADC 值降低; 胞膜代谢旺盛, Cho 峰明显升高; 淋巴瘤瘤体不含神经元及神经胶质细胞, NAA 峰、Cr 峰缺失或非常低; 新生血管少, rCBV 降低 ^[3, 16] 。	为纤维化肉芽组织, DWI 为低信号, ADC 值高; 纤维化肉芽组织不含神经元及神经胶质细胞, Cho 峰、NAA 峰缺失或非常低; 无新生血管, rCBV 低 ^[2] 。	为急性期脱髓鞘病变, 水分子弥散受限, DWI 呈轻-中度高信号, ADC 值低; 磷脂降解产物的堆积, 神经元受损, Cho 峰高, NAA 峰低; 无新生血管, rCBV 低 ^[46] 。
环内内容物	肿瘤组织坏死囊变, 浆液为主, 水分子弥散不受限, DWI 呈低信号, ADC 值增高; 无存活的肿瘤细胞和神经细胞, Cho 峰、NAA 峰缺失, Lac、Lip 峰升高 ^[8, 15, 39] 。	肿瘤组织坏死囊变, 浆液为主, 水分子弥散不受限, DWI 呈低信号, ADC 值增高; 无存活的肿瘤细胞和神经细胞, Cho 峰、NAA 峰缺失, Lac、Lip 峰升高 ^[8] 。	肿瘤组织坏死囊变, 浆液为主, 水分子弥散不受限, DWI 呈低信号, ADC 值增高; 无存活的肿瘤细胞和神经细胞, Cho 峰、NAA 峰缺失, Lac、Lip 峰升高 ^[8] 。	为炎症细胞、细菌、坏死组织形成黏稠脓性液体, 黏滞度高。水分子弥散受限, DWI 为高信号, ADC 值低, 并出现 Lip、Lac 峰; 腔内无存活的神经元和神经胶质细胞, Cho 峰、NAA 峰、Cr 峰缺失 ^[3, 8, 21] 。	为亚急性或慢性期脱髓鞘病变, 依然有存活的神元及神经胶质细胞, DWI 低信号, ADC 值高, Cho 峰显著增高, NAA 峰降低(NAA 峰、Cr 峰不会缺失), 出现 Lac 峰、Lip 峰, Glx 增高 ^[47] 。
环周水肿区	为肿瘤细胞浸润性水肿, 肿瘤细胞增殖, 新生血管增多, 神经元减少, Cho 峰明显升高, NAA 减低, rCBV>1.2 ^[3, 7, 30-32] 。	血管源性水肿, Cho 峰不高, NAA 峰减低、rCBV<0.5 ^[3, 7] 。	血管源性水肿, Cho 峰不高, NAA 峰减低、rCBV 减低。	血管源性水肿, Cho 峰不高、NAA 峰减低; rCBV<0.5。	血管源性水肿, Cho 峰不高, NAA 峰减低、rCBV 低。

表4 磁共振技术在脑内环形强化病变中的应用及诊断价值

病例数	研究方法	研究内容及结果	应用价值	研究者
67例脑内环形强化病例	磁共振 DWI、ADC、MRS、PWI 扫描。	HGG 26例, SBM 20例, BA 7例, 脱髓鞘病变 5例, 淋巴瘤 3例, 脑囊虫病 2例, 结核瘤 1例, Whipple 病 1例, PACNS 1例, 放射性损伤 1例。	通过多模态磁共振技术(DWI、ADC、MRS、PWI)组合检查, 综合解析脑内环形强化病变环壁、环内及环周水肿区的不同病理生理特点, 结合程序性鉴别诊断分析, 可显著提高鉴别诊断的准确率。	本文作者
65例脑内环形强化病例	¹ H-MRS 扫描。	30例 HGG、23例 SBM 和 12例 BA。病灶中心的 Cho 值 HGG>转移瘤>脑脓肿; Cho/Cr 值 HGG>脑脓肿 ($P<0.05$); NAA/Cho 值脑脓肿>转移瘤>HGG; 周围水肿区的 Cho/Cr 比值 HGG 高于单发脑转移瘤组。	¹ H-MRS 通过分析病灶中心的 NAA/Cho 和周围水肿区的 Cho/Cr 比值对高级别胶质瘤、单发脑转移瘤和脑脓肿的鉴别诊断具有重要意义。	季洋, 等 ^[7]
25例脑内环形强化病例	MRI 平扫、增强和 PWI 扫描病灶中心和周围水肿区。	HGG 8例, SBM 10例, BA 7例。HGG 及脑转移瘤病变区的 rCBV 与脑脓肿比较, 差异均有统计学意义; HGG 与脑转移瘤及脑脓肿周围水肿区 rCBV 比较, 差异有统计学意义。	PWI 通过分析病变区及周围水肿区的 rCBV 对脑内环形强化病变的鉴别有一定的价值	李响, 等 ^[2]
43例脑内环形强化病例	常规 MRI、DWI、ADC 值和 ¹ H-MRS。	12例 BA, 31例脑内囊性肿瘤(BCT)。9例(9/12)BA 患者 DWI 呈不同程度的高信号, ADC 图呈低信号。28例(28/31)BCT 患者 DWI 上呈低信号, ADC 图呈高信号。12例 BA 内部出现特征性 AA 峰, 脓肿壁 Cho 和 NAA 低于对侧。31例 BCT 内均无 AA 峰, 肿瘤壁 Cho、Cho/Cr 及 Cho/NAA 均较对侧正常组织明显升高, Cr 及 NAA 明显减低。	通过分析病变内部及环壁的 ¹ H-MRS 及 DWI 信号特征可对脑脓肿和脑内囊性肿瘤的鉴别诊断提供更多有价值的信息。	阮志兵, 等 ^[8]

续表4

病例数	研究方法	研究内容及结果	应用价值	研究者
50例脑内环形强化病例	MRI平扫、增强和DWI扫描病变区	HGG 15例,SBM 20例,BA 15例。 ①HGG病变范围广泛,13例(86.6%)侵犯胼胝体;形态不规则,多房征,多发壁结节;12例(80.0%)DWI病变边缘模糊呈“晕”征,壁内呈低信号。②转移瘤形态规则、病变范围局限呈类圆形,壁边界清晰,瘤病灶小,位于皮髓交界处,16例(80.0%)DWI瘤壁呈等信号,壁内呈低信号。③脑脓肿形态规则,脓肿壁完整,出现“子母环征”“环壁切迹征”、壁内液-液平面,脓肿包膜在T2WI呈低信号“暗带”,14例(93.3%)DWI壁及壁内呈高信号。	通过MRI平扫+增强扫描分析病变的形态特征及DWI信号强度对高级别胶质瘤、转移瘤、脑脓肿等的鉴别诊断提供重要价值。	龙小武,等 ^[21]
21例艾滋病合并颅内环形强化病变病例	常规MRI及DWI、ADC、SWI-ILSS	艾滋病相关中枢神经淋巴瘤(AR-PCNSL)13例、感染性病变8例。病变累及胼胝体时更提示AR-PCNSL的诊断。AR-PCNSL壁DWI/对侧正常脑组织呈高信号,ADC/对侧呈低信号;而感染组病变中心DWI/对侧呈高信号,ADC/对侧值减低。SWI-ILSS序列,AR-PCNSL多为ILSS 2、3级,感染组ILSS 0、1级,两组间差异有统计学意义。	常规MRI对AR-PCNSL与环形强化感染性病变诊断价值有限,DWI、ADC及SWI-ILSS序列能提供更多诊断及鉴别诊断信息。	李晶晶,等 ^[48]
86例脑内环形强化病例	常规MRI平扫及3D-ASL扫描	48例HGG,38例SBM。ROC曲线分析显示,当近瘤周区rCBF阈值为0.895时,鉴别高级别胶质瘤与脑单发转移瘤的敏感度和特异度分别为70.8%与84.2%。	肿瘤实性区rCBF对区分环形强化的HGG与SBM无价值,而近瘤周区的rCBF值有助于鉴别两种肿瘤。	丁芳芳,等 ^[35]
50例脑内环形强化病变病例	低场MRI	星形细胞瘤30例,SBM 15例,BA 5例。花环样强化者23例,其中星形细胞瘤18例,脑转移瘤4例,BA 1例;环形结节状强化15例,其中脑转移瘤8例,星形细胞瘤7例;均匀薄壁环形强化12例,其中BA 4例,脑转移瘤3例,星形细胞瘤5例。	通过低场MRI分析脑内环形强化病变的形态特点提供鉴别诊断依据。	吴蔚,等 ^[49]
19例呈环形强化的高级别胶质瘤病例	DWI	19例HGG。环形强化的HGG,DWI高信号范围一般都与强化大致一致或超过其范围;DWI呈环形高信号时,其环的形态多不规则、呈无张力、多为闭环等特点,如病变伴出血时其DWI信号上述环形特点不明显。	通过分析DWI的信号特点对颅内HGG的诊断有非常重要的提示价值。	杨宇,等 ^[50]
40例环形强化病变病例	MRI常规序列、DWI、PWI、MRS及SWI	18例HGG、14例BA及8例SBM。DWI:HGG及SBM瘤壁弥散受限,BA内部弥散受限明显;PWI:灌注强度HGG>SBM>BA,rCBV不同程度升高,内部坏死区均呈低灌注,HGG周围水肿rCBV高于BA、SBM;MRS显示HGG水肿区Cho/Cr高于BA、SBM;SWI:17例HGG瘤壁旁见弥漫分布极低信号,5例SBM周围见小范围点状极低信号。	通过综合分析HGG、BA及SBM等颅内环形强化病变的DWI、PWI、MRS及SWI等影像学特点有助于临床定性诊断。	王悦,等 ^[51]
43例环状强化病例	MRI平扫、增强	15例为脑结核瘤,28例为脑囊虫脑实质型。脑结核瘤累及范围较局限(73%),形态多不规则(60%),周围组织水肿,脑室挤压发生率为53%;脑囊虫累及范围较弥漫(89%),形态多为类圆形(93%),周围组织水肿较少(25%),无脑室受压。脑结核瘤与脑囊虫均表现为环形强化;脑结核瘤环壁较厚,环壁多毛糙,47%病例有脑膜强化;脑囊虫环壁较薄,环壁光滑。	MRI平扫及增强分析脑结核瘤和脑囊虫脑实质型的形态学特点具有较好的临床应用价值。	史建玲,等 ^[38]
124例环形强化病灶病例	MRI平扫+增强、DWI	86例HGG,38例SBM。两组MRI显示病灶环形强化的囊壁厚度、壁结节、囊壁分层征、囊壁不连续征、囊内分隔-栈桥征占比比较,差异有统计学意义;两组的轻、中度瘤周水肿占比比较,差异有统计学意义。	通过分析环形强化病灶的形态特征(伴有壁不规则增厚、分层征、不连续征、囊内分隔-栈桥征)提供鉴别诊断依据。	王国杰,等 ^[52]
66例颅内环形强化病例	MRI平扫、增强	听神经瘤8例、三叉神经瘤2例、25例HGG、13例SBM、细菌性BA 9例,结核性BA 1例、慢性血肿6例,脑囊虫病2例。	MRI平扫+增强分析病变部位、形态、水肿程度、占位效应等为临床诊断提供重要依据。	易志军,等 ^[36]
34例颅内环形强化病例	CT及MRI平扫	BA 9例、胶质母细胞瘤17例、SBM 12例。颅内环形强化病变部位、病变数目、囊壁形态、MRS及DWI各有特点。	通过CT及MRI平扫分析根据颅内环形强化病变部位、数目、囊壁形态、瘤周水肿、MRS及DWI的特点可以提高脑脓肿、胶质母细胞瘤、转移瘤诊断率。	何敬,等 ^[53]

注:高级别胶质瘤(high-grade glioma, HGG),脑脓肿(brain abscess, BA),单发脑转移瘤(solitary brain metastases, SBM)。

总之,脑内环形强化病变是神经影像学常见的异常表现,其病变性质复杂多样。高级别胶质瘤、脑转移瘤、脑脓肿、脱髓鞘假瘤、中枢神经系统淋巴瘤是脑内环形强化病变常见的病因,也是鉴别诊断的重点与难点。基于MRI T1、T2、FLAIR及增强序列所显示的病变的范围、环形强化的形态、环周的水肿程度等影像学参数的鉴别诊断非常困难。目前飞速发展的多模态磁共振技术在清楚显示脑内环形强化病变的形态学特征的基础上,还可以进一步揭示病变及其周围脑组织的病理生理特点。基于多模态磁共振技术的影像学特点,结合程序性鉴别诊断分析,能显著提高脑内环形强化病变鉴别诊断的准确率。多模态磁共振技术在脑内环形强化病变中的诊断价值值得广大临床医师更多地去探索与总结。

参 考 文 献

- [1] 邓河山,江源辉,何跃权,等.磁共振多模态技术成像在脑胶质瘤中术前诊断应用及术后放化疗疗效评估的价值研究[J].影像研究与医学应用,2021,5(15):50-51.
- [2] 李响,牛蕾,田小军,等.磁共振灌注成像对脑内环形强化病变的鉴别诊断价值[J].青岛大学医学院学报,2013,49(2):117-120.
- [3] 王恩力.磁共振多模态影像在脑胶质瘤诊断及其分级中的应用分析[J].现代诊断与治疗,2015,26(10):2238-2239.
- [4] 陈全,彭永,甘棋心,等.多发性硬化的影像学研究进展[J].国际神经病学神经外科学杂志,2023,50(3):91-96.
- [5] 梅邹,毕俊英.三种MRI灌注技术术前评估脑胶质瘤分级的价值对比[J].磁共振成像,2022,13(2):83-86,95.
- [6] 李振凯,杜红娣,王莺,等.多模态磁共振成像技术在胶质瘤术后复发及放射性损伤诊断中的应用研究[J].现代医用影像学,2019,28(12):2582-2585.
- [7] 季洋,高超,王丹.1HMRS在鉴别脑内单发环形强化病变中的应用[J].癌症进展,2016,14(10):1002-1006.
- [8] 阮志兵,范光明,沈金丹,等.磁共振扩散加权成像与氢质子波谱联合应用对脑内环形强化病变的鉴别诊断[J].放射学实践,2012,27(12):1298-1303.
- [9] YAO R, CHENG AL, LIU ML, et al. The diagnostic value of apparent diffusion coefficient and proton magnetic resonance spectroscopy in the grading of pediatric gliomas[J]. J Comput Assist Tomogr, 2021, 45(2): 269-276.
- [10] 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.
- [11] SHAKIR TM, FENGLI L, CHENGUANG G, et al. 1H-MR spectroscopy in grading of cerebral glioma: a new view point, MRS image quality assessment[J]. Acta Radiol Open, 2022, 11(2): 20584601221077068.
- [12] 刘海,万涛,许华,等.弥散张量成像及氢质子磁共振波谱影像表现对颅脑高级别胶质瘤周浸润的预测[J].分子影像学杂志,2021,44(5):849-852.
- [13] LIN Q, TANG LL, LIN ZQ. Application value of 3.0-T multivoxel 1H-MR spectroscopy in the peritumoral tissue of brain astrocytic tumors[J]. Neurol India, 2020, 68(2): 389-393.
- [14] TOLIA M, VERGANELAKIS D, TSOUKALAS N, et al. Prognostic value of MRS metabolites in postoperative irradiated high grade gliomas[J]. Biomed Res Int, 2015, 2015: 341042.
- [15] 王伟,沈龙山,程雯,等.多模态磁共振成像在脑胶质瘤分级诊断及预后评估中的研究进展[J].分子影像学杂志,2022,45(5):795-799.
- [16] 季洋,于蒙蒙,王丹.脑内单发环形强化病变的1H磁共振波谱成像研究进展[J].现代生物医学进展,2017,17(3):593-597.
- [17] WANG AM, LEUNG GKK, KIANG KMY, et al. Separation and quantification of lactate and lipid at 1.3 ppm by diffusion-weighted magnetic resonance spectroscopy[J]. Magn Reson Med, 2017, 77(2): 480-489.
- [18] REDDY K, WESTERLY D, CHEN CH. MRI patterns of T1 enhancing radiation necrosis versus tumour recurrence in high-grade gliomas[J]. J Med Imaging Radiat Oncol, 2013, 57(3): 349-355.
- [19] FÖRSTER A, BREHMER S, SEIZ-ROSENHAGEN M, et al. Heterogeneity of glioblastoma with gliomatosis cerebri growth pattern on diffusion and perfusion MRI[J]. J Neurooncol, 2019, 142(1): 103-109.
- [20] ZHANG L, MIN ZQ, TANG M, et al. The utility of diffusion MRI with quantitative ADC measurements for differentiating high-grade from low-grade cerebral gliomas: evidence from a meta-analysis[J]. J Neurol Sci, 2017, 373: 9-15.
- [21] 龙小武,庄伟雄,黄文飞,等.磁共振在脑内环形强化病变鉴别诊断的价值[J].内蒙古医学杂志,2017,49(1):26-28,封2.
- [22] 陈少贤,王杰春,陈浩,等.多模态磁共振成像技术在颅内肿瘤诊断中的临床应用价值[J].大医生,2022,7(17):13-16.
- [23] 陈世林,王丽英,王莉,等.3D-ASL与DSC-PWI在脑肿瘤灌注成像中的一致性分析[J].南方医科大学学报,2021,41(8):1283-1286.
- [24] SHOAB Y, NAYIL K, MAKHDOOMI R, et al. Role of diffusion and perfusion magnetic resonance imaging in predicting the histopathological grade of gliomas - a prospective study[J]. Asian J Neurosurg, 2019, 14(1): 47-51.
- [25] MA H, WANG ZZ, XU K, et al. Three-dimensional arterial spin labeling imaging and dynamic susceptibility contrast perfusion-weighted imaging value in diagnosing glioma grade prior to surgery[J]. Exp Ther Med, 2017, 13(6): 2691-2698.
- [26] QUAN GM, ZHANG KX, LIU YW, et al. Role of dynamic susceptibility contrast perfusion MRI in glioma progression evaluation[J]. J Oncol, 2021, 2021: 1696387.
- [27] SOLIMAN RK, GAMAL SA, ESSA AHA, et al. Preoperative grading of glioma using dynamic susceptibility contrast MRI: relative cerebral blood volume analysis of intra-tumoural and peri-tumoural tissue[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2018, 167: 86-92.
- [28] ASKANER K, RYDELIUS A, ENGELHOLM S, et al. Differentiation between glioblastomas and brain metastases and

- regarding their primary site of malignancy using dynamic susceptibility contrast MRI at 3T[J]. *J Neuroradiol*, 2019, 46(6): 367-372.
- [29] LEE MD, BAIRD GL, BELL LC, et al. Utility of percentage signal recovery and baseline signal in DSC-MRI optimized for relative CBV measurement for differentiating glioblastoma, lymphoma, metastasis, and meningioma[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2019, 40(9): 1445-1450.
- [30] APARICI-ROBLES F, DAVIDHI A, CAROT-SIERRA JM, et al. Glioblastoma versus solitary brain metastasis: MRI differentiation using the edema perfusion gradient[J]. *J Neuroimaging*, 2022, 32(1): 127-133.
- [31] SHE DJ, XING Z, CAO DR. Differentiation of glioblastoma and solitary brain metastasis by gradient of relative cerebral blood volume in the peritumoral brain zone derived from dynamic susceptibility contrast perfusion magnetic resonance imaging[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2019, 43(1): 13-17.
- [32] FORDHAM AJ, HACHERL CC, PATEL N, et al. Differentiating glioblastomas from solitary brain metastases: an update on the current literature of advanced imaging modalities[J]. *Cancers (Basel)*, 2021, 13(12): 2960.
- [33] GARG RK, PALIWAL V, PANDEY S, et al. The etiological spectrum of multiple ring-enhancing lesions of the brain: a systematic review of published cases and case series[J]. *Neuro Sci*, 2024, 45(2): 515-523.
- [34] 董安珂, 张勇, 程敬亮, 等. 后颅窝原发性中枢神经系统淋巴瘤的磁共振多模态诊断[J]. *临床放射学杂志*, 2016, 35(9): 1303-1307.
- [35] 丁芳芳, 全冠民, 袁涛, 等. 三维动脉自旋标记诊断环形强化的高级别胶质瘤与脑单发转移瘤[J]. *中国医学影像学杂志*, 2014, 22(12): 899-903.
- [36] 易志军, 冯朝燕, 郑海军, 等. 颅内环形强化病变的MRI诊断[J]. *实用临床医学*, 2014, 15(2): 91-92, 96.
- [37] 郭裕樊, 李忠明, 翁强, 等. 3.0T磁共振多模态成像对脑胶质母细胞瘤和单发脑转移瘤的鉴别诊断价值[J]. *临床放射学杂志*, 2021, 40(9): 1660-1665.
- [38] 史建玲, 银武, 德央, 等. 磁共振成像对高原地区颅内非肿瘤性环形强化病变的鉴别诊断价值[J]. *西藏医药*, 2018, 39(2): 3-6.
- [39] EYÜBOĞLU İ, İMÇAKIR, ASLAN S, et al. Diagnostic efficacy of apparent diffusion coefficient measurements in differentiation of malignant intra-axial brain tumors[J]. *Turk J Med Sci*, 2021, 51(1): 256-267.
- [40] KOMORI T. [The 2021 WHO classification of tumors, 5th edition, central nervous system tumors: a short review][J]. *Brain Nerve*, 2022, 74(6): 803-809.
- [41] PARK MJ, KIM HS, JAHNG GH, et al. Semiquantitative assessment of intratumoral susceptibility signals using non-contrast-enhanced high-field high-resolution susceptibility-weighted imaging in patients with gliomas: comparison with MR perfusion imaging[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2009, 30(7): 1402-1408.
- [42] LEE EJ, TERBRUGGE K, MIKULIS D, et al. Diagnostic value of peritumoral minimum apparent diffusion coefficient for differentiation of glioblastoma multiforme from solitary metastatic lesions[J]. *Am J Roentgenol*, 2011, 196(1): 71-76.
- [43] DICKINSON PJ, STURGES BK, HIGGINS RJ, et al. Vascular endothelial growth factor mRNA expression and peritumoral edema in canine primary central nervous system tumors[J]. *Vet Pathol*, 2008, 45(2): 131-139.
- [44] 闫莉, 白岩. 磁共振多模态影像在脑胶质瘤诊断分级中的应用价值研究[J]. *实用医学影像杂志*, 2022, 23(2): 121-124.
- [45] 丁威, 李臻琰. 磁共振成像预测颅内肿瘤质地的研究进展[J]. *国际神经病学神经外科学杂志*, 2020, 47(2): 200-203.
- [46] 张岩峰, 刘晓敏, 时传迎, 等. 颅内多发脱髓鞘假瘤的磁共振诊断[J]. *医学影像学杂志*, 2023, 33(6): 1116-1118.
- [47] 阮永奇, 刘静. MRI对中枢神经系统脱髓鞘假瘤患者的诊断效果及对病灶、病态变化的检出情况[J]. *临床医学研究与实践*, 2023, 8(2): 82-84.
- [48] 李晶晶, 薛明, 陈辉, 等. SWI-ILSS及DWI在鉴别艾滋病相关中枢神经系统淋巴瘤与环形强化感染性病变的对比研究[J]. *临床放射学杂志*, 2021, 40(12): 2238-2242.
- [49] 吴蔚, 杨志英, 杨清. 幕上脑内环形强化病变的低场MRI诊断[J]. *西部医学*, 2012, 24(9): 1787-1789.
- [50] 杨宇, 周智慧, 李平, 等. MRI环形强化的高级别胶质瘤的DWI信号探讨[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2015, 26(1): 5-8.
- [51] 王悦, 周军, 刘学, 等. 多模态MRI技术对颅内单发环形强化病变的诊断价值[J]. *中国现代药物应用*, 2021, 15(6): 7-10.
- [52] 王国杰, 刘莹, 韩艳华, 等. 颅内环形强化的单发高级别脑胶质瘤与单发脑转移瘤的MRI鉴别诊断[J]. *医疗装备*, 2022, 35(11): 77-80.
- [53] 何敬, 马丽丹, 蔡喜梅, 等. 常见颅内环形强化病灶的影像诊断及鉴别诊断[J]. *影像研究与医学应用*, 2017, 1(13): 91-92.

责任编辑:王荣兵