

论 著

3D HRMRI-VWI技术在急性脑梗死患者病情程度与预后评估中的应用价值*

郭小会^{1,*} 张 洁¹ 刘立斌²

1.北京市大兴区人民医院放射科

(北京 102600)

2.北京市大兴区人民医院神经内科

(北京 102600)

【摘要】目的 探讨三维高分辨率磁共振血管壁成像(3D HRMRI-VWI)技术在急性脑梗死(ACI)患者病情程度诊断中的作用,并分析其在预后评估中的应用价值。方法 选取我院2019年7月至2022年7月ACI患者116例,根据神经功能缺损(NIHSS)评分分为轻度组(37例)、中度组(48例)、重度组(31例),比较3组3D HRMRI-VWI技术定量参数,分析各参数与病情程度的相关性,随访30d,统计预后情况,对比不同预后患者治疗前后3D HRMRI-VWI技术定量参数,评价各参数对预后的评估价值。结果 重度组最狭窄层面管腔面积<中度组<轻度组,狭窄率、斑块体积、斑块负荷、血管重构指数、最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率>中度组>轻度组($P<0.05$);最狭窄层面管腔面积与病情程度呈负相关($r=-0.512$, $P<0.05$),狭窄率、斑块体积、斑块负荷、血管重构指数、最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率与病情程度呈正相关($r=0.624$ 、 0.618 、 0.667 、 0.703 、 0.649 、 0.692 , $P<0.05$);治疗30d后预后良好92例,预后不良24例;与预后良好患者相比,预后不良患者治疗前、治疗30 d后最狭窄层面管腔面积较小,狭窄率、斑块体积、斑块负荷、血管重构指数、最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率较大($P<0.05$);最狭窄层面管腔面积、狭窄率、斑块体积、斑块负荷、血管重构指数、最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率单独评估预后不良的AUC为0.764(95%CI: 0.676-0.838)、0.788(95%CI: 0.703-0.859)、0.753(95%CI: 0.664-0.828)、0.789(95%CI: 0.703-0.859)、0.774(95%CI: 0.687-0.846)、0.826(95%CI: 0.744-0.890)、0.792(95%CI: 0.707-0.862),联合评估预后不良的AUC为0.913(95%CI: 0.847-0.958),大于各参数单独评估。结论 最狭窄层面管腔面积、狭窄率、斑块体积、斑块负荷、血管重构指数、最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率与病情程度密切相关,3D HRMRI-VWI可有效分析患者管腔狭窄情况、血管重构特点及斑块特征等,评估ACI患者病情程度,为临床评估、预防ACI预后不良提供参考。

【关键词】神经功能缺损;急性脑梗死;

三维高分辨率磁共振血管壁成像;相关性

【中图分类号】R739.45; R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】北京市卫生健康发展专项基金(2019-2-929)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.08.06

The Value of 3D HRMRI-VWI Technique in Assessing The Extent of Disease and Prognosis in Patients with Acute Cerebral Infarction*

GUO Xiao-hui^{1,*}, ZHANG Jie¹, LIU Li-bin².

1.Radiology Department of Daxing District People's Hospital, Beijing 102600, China

2.Neurology, Daxing District People's Hospital, Beijing 102600, China

ABSTRACT

Objective To investigate the role of three-dimensional high-resolution magnetic resonance vascular wall imaging (3D HRMRI-VWI) technology in the diagnosis of the extent of disease in patients with acute cerebral infarction (ACI) and to analyze its application value in prognostic assessment. **Methods** One hundred and sixteen patients with ACI From July 2019 to July 2022 in our hospital were selected and divided into mild group (37 patients), moderate group (48 patients) and severe group (31 patients) according to the neurological deficit (NIHSS) score, comparing the quantitative parameters of 3D HRMRI-VWI technique in the three groups, analyzing the correlation between each parameter and the degree of disease, following up for 30d, counting the prognosis, comparing the quantitative parameters of 3D HRMRI-VWI technique before and after treatment in patients with different prognosis, and evaluating the value of each parameter in assessing the prognosis. **Results** The lumen area at the narrowest level in the severe group < moderate group < mild group, stenosis rate, plaque volume, plaque load, vascular remodeling index, plaque intensification rate at the narrowest level, and overall plaque intensification rate > moderate group > mild group ($P<0.05$). The lumen area at the stenosis level was negatively correlated with the extent of disease ($r=-0.512$, $P<0.05$), and the stenosis rate, plaque volume, plaque load, vascular remodeling index, plaque intensification rate at the stenosis level, and overall plaque intensification rate were positively correlated with the extent of disease ($r=0.624$, 0.618 , 0.667 , 0.703 , 0.649 , 0.692 , $P<0.05$). After 30 d of treatment, 92 patients had a good prognosis and 24 patients had a poor prognosis; compared with patients with a good prognosis, patients with a poor prognosis had a smaller lumen area at the most stenotic level before and after 30 d of treatment, and a greater stenosis rate, plaque volume, plaque load, vascular remodeling index, plaque intensification rate at the most stenotic level, and overall plaque intensification rate ($P<0.05$). The AUCs for lumen area at the stenosis level, stenosis rate, plaque volume, plaque load, vascular remodeling index, plaque intensification rate at the stenosis level, and overall plaque intensification rate alone to assess poor prognosis were 0.764 (95% CI: 0.676-0.838), 0.788 (95% CI: 0.703-0.859), 0.753 (95% CI: 0.664-0.828), 0.789 (95% CI: 0.703-0.859), 0.774 (95% CI: 0.687-0.846), 0.826 (95% CI: 0.744-0.890), 0.792 (95% CI: 0.707-0.862), and the AUC for joint assessment of poor prognosis was 0.913 (95% CI: 0.847-0.958), which was greater than each parameter assessed individually. **Conclusion** The lumen area at the stenosis level, stenosis rate, plaque volume, plaque load, vascular remodeling index, plaque intensification rate at the stenosis level, and overall plaque intensification rate are closely related to the degree of disease. 3D HRMRI-VWI can effectively analyze the lumen stenosis, vascular remodeling characteristics and plaque features of patients to assess the degree of disease in ACI patients, and provide reference for clinical assessment and prevention of poor prognosis of ACI.

Keywords: Neurological Deficits; Acute Cerebral Infarction; Three-dimensional High-resolution Magnetic Resonance Vascular wall Imaging; Correlation

急性脑梗死(acute cerebral infarction, ACI)为常见脑血管疾病,现阶段,CT血管成像、磁共振血管成像、血管造影等管腔成像等方法是评估ACI患者血管状况的主要方式;但有数据显示,常规管腔成像易低估动脉粥样硬化的负荷,约有37%斑块无法检出^[1-3]。有研究显示,高分辨率磁共振血管壁成像可评估血管重构及管腔狭窄状况,还可评估斑块成分与负荷^[4]。三维高分辨率磁共振血管壁成像(three dimensional high resolution vessel wall magnetic resonance imaging, 3D HRMRI-VWI)为新型成像技术,软组织分辨率较高,在显示管腔的同时还可观察管壁病变,有利于显示斑块状况^[5-6]。但3D HRMRI-VWI应用于ACI患者病情程度及预后评估的研究较少。本研究尝试探讨3D HRMRI-VWI技术在ACI患者中的应用价值,分析该技术定量参数与病情程度的相关性,旨在为临床评估ACI病情程度及预后提供可靠的影像学方式。现报告如下。

1 资料与方法

1.1 选例基线资料 选取我院2019年7月至2022年7月ACI患者116例,根据神经功能缺损(NIHSS)评分分为轻度组(37例)、中度组(48例)、重度组(31例),3组基线资料均衡可比($P>0.05$),本研究经我院伦理委员会审批通过。

纳入标准:符合《中国急性缺血性脑卒中诊治指南2018》^[7]相关标准;首次发病;发病7d内行首次行3D HRMRI-VWI检查;经血管造影、磁共振血管成像等检查确诊;患者及近亲属均了解本研究并签订知情同意书。排除标准:由血管炎、动脉夹层或心源性血栓脱落因素等所致非动脉粥样硬化性病变;发病后已接受溶栓治疗;凝血功能障碍;颅内出血;存在重要脏器病变;既往支架植入术史、动脉扩张术史;存在3D HRMRI-VWI检查禁忌证;精神异常。

【第一作者】郭小会,男,中级主管技师,主要研究方向:影像技术。E-mail: sephea70@21cn.com

【通讯作者】郭小会

1.2 方法

1.2.1 3D HRMRI-VWI技术 采用3.0 T MRI检查平台(美国GE公司750)行MRI检查;定位头颅,行三维时间飞跃法磁共振血管成像(3D TOF-MRA)序列、 T_2 加权成像(T_2WI)、弥散加权成像(DWI)序列、 T_1 加权成像(T_1WI)和 T_1WI 增强扫描。扫描参数设置:(1)DWI序列,矩阵:320×256,TE:74.3ms,视野:240mm×240mm,TR:5300ms,层厚:1.5mm,体素:1.5mm×1.5mm×1.5mm,层数:50,扫描时间:5min 17s。(2)3D TOF-MRA序列,回波时间(TE):3.43ms,重复时间(TR):21ms,矩阵:331×384,层数:144,视野:182mm×200mm,层厚:0.7mm,扫描时间:4min 58s。(3) T_1WI 采用可变翻转角快速自旋回波序列,各向同性分辨率:0.5mm,矩阵:416×268,TE:17ms,TR:800ms,视野:256mm×160mm,体素:0.5mm×0.5mm×0.5mm,回波链长度:60,层数:240,扫描时间:6min 45s。采用高压注射器,以流速2ml/s静脉注射0.2mmol/kg钆钆喷酸葡胺造影,行 T_1WI 增强扫描。(4) T_2WI 序列,TR:1500ms,各向同性分辨率:0.5mm,视野:256mm×160mm,TE:150ms,层数:240,矩阵:416×268,体素:0.5mm×0.5mm×0.5mm,回波链长度:100,扫描时间:6min 27s。

1.2.2 图像后处理 由两名有10年及以上血管壁成像阅片经验的影像医学科医师,评估测量3D HRMRI-VWI图像的定量特征。

1.3 观察指标 (1)比较3组3D HRMRI-VWI技术定量参数,包括最狭窄层面管腔面积、狭窄率、斑块体积、斑块负荷、血管重构指数、最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率。(2)分析3D HRMRI-VWI技术定量参数与病情程度的相关性。(3)统计ACI患者预后情况。(4)比较不同预后患者治疗前后3D HRMRI-VWI技术定量参数。(5)分析3D HRMRI-VWI技术定量参数对预后的评估价值。

1.4 统计学分析 采用SPSS 23.0对数据进行分析,计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,t检验,多组间比较以单因素方差进行分析,两两比较以LSD-t检验,计数资料n(%)表示, χ^2 检验,以Spearman相关性分析3D HRMRI-VWI技术定量参数与病情程度的相关性,采用受试者工作特征(ROC)曲线分析3D HRMRI-VWI技术定量参数对预后的评估价值。检验水准 $\alpha=0.05$, $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 3组3D HRMRI-VWI技术定量参数 单因素方差分析,3组最狭窄层面管腔面积、狭窄率、斑块体积、斑块负荷、血管重构指数、最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率差异有统计学意义($P<0.05$);两两比较:重度组最狭窄层面管腔面积<中度组<轻度组,狭窄率、斑块体积、斑块负荷、血管重构指数、最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率>中度组>轻度组($P<0.05$),见表2。不同病情程度ACI患者的典型3D HRMRI-VWI影像学表现见图1A-图1C。

表1 基线资料

组别	例数	性别(男/女)	年龄(岁)	合并症[n(%)]				吸烟史[n(%)]
				高脂血症	高血压	心脏病	糖尿病	
轻度组	37	17/20	59.79±6.34	17(45.95)	25(67.57)	8(21.62)	18(48.65)	12(32.43)
中度组	48	28/20	62.03±6.57	22(45.83)	31(64.58)	11(22.92)	20(41.67)	26(54.17)
重度组	31	15/16	61.82±6.62	16(58.06)	20(77.42)	9(29.03)	15(48.39)	14(45.16)
χ^2/t		1.473	1.393	1.349	1.500	0.573	0.535	3.993
P		0.479	0.253	0.509	0.473	0.751	0.766	0.136

表2 3组3D HRMRI-VWI技术定量参数比较

参数	轻度组(n=37)	中度组(n=48)	重度组(n=31)	F	P
最狭窄层面管腔面积(mm ²)	5.68±1.31	4.57±0.78	3.81±0.63	33.614	<0.001
狭窄率(%)	13.75±2.40	15.64±3.11	19.88±4.29	30.569	<0.001
斑块体积(mm ³)	30.52±5.56	36.19±7.28	48.67±10.07	48.861	<0.001
斑块负荷(%)	57.13±4.28	64.87±6.46	71.54±8.22	43.046	<0.001
血管重构指数	86.42±8.64	95.25±10.51	109.63±15.72	33.890	<0.001
最狭窄层面斑块强化率(%)	34.82±8.09	43.90±11.34	62.21±15.98	45.665	<0.001
斑块整体强化率(%)	40.07±9.30	54.92±12.47	70.53±17.04	46.292	<0.001



图1A-图1C 不同病情程度ACI患者的3D HRMRI-VWI影像学表现。图1A: 轻度组患者3D HRMRI-VWI图像,狭窄率10%;图1B 中度组患者3D HRMRI-VWI图像,狭窄率14%;图1C 重度组患者3D HRMRI-VWI图像,狭窄率22%。

2.2 3D HRMRI-VWI技术定量参数与病情程度的相关性
Spearman相关性分析，最狭窄层面管腔面积与病情程度呈负相关，狭窄率、斑块体积、斑块负荷、血管重构指数、最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率与病情程度呈正相关($P<0.05$)，见表3。

2.3 ACI患者预后情况 116例ACI患者治疗30d后，根据mRs评分评估预后，预后良好92例，预后不良24例，其中预后不良包括中高级残障，需别人帮助，但行走无需协助12例；重度残疾，离开他人帮助不能行走，无法照顾自己9例；严重残疾，卧床不起，大小便失禁，需持续护理和照顾3例，无死亡病例。

2.4 不同预后患者治疗前后3D HRMRI-VWI技术定量参数 组内比较：治疗30d后不同预后患者最狭窄层面管腔面积均大于治疗前，狭窄率、斑块体积、斑块负荷、血管重构指数、最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率均小于治疗前($P<0.05$)；组间

比较：预后不良患者治疗前、治疗30d后最狭窄层面管腔面积小于预后良好患者，狭窄率、斑块体积、斑块负荷、血管重构指数、最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率大于预后良好患者($P<0.05$)，见表4。不同预后患者治疗前后3D HRMRI-VWI典型影像学表现见图2A-图2B。

2.5 3D HRMRI-VWI技术定量参数对预后的评估价值 以预后不良患者作为阳性样本，预后良好患者作为阴性样本，根据治疗30 d后3D HRMRI-VWI技术定量参数绘制ROC曲线，结果显示，最狭窄层面管腔面积、狭窄率、斑块体积、斑块负荷、血管重构指数、最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率单独评估预后不良的AUC为0.764、0.788、0.753、0.789、0.774、0.826、0.792，联合评估预后不良的AUC为0.913，大于各参数单独评估，见表5、图3A-图3B。

表3 3D HRMRI-VWI技术定量参数与病情程度的相关性

参数	病情程度	
	r	P
最狭窄层面管腔面积	-0.512	<0.001
狭窄率	0.624	<0.001
斑块体积	0.618	<0.001
斑块负荷	0.667	<0.001
血管重构指数	0.703	<0.001
最狭窄层面斑块强化率	0.649	<0.001
斑块整体强化率	0.692	<0.001

表4 不同预后患者治疗前后3D HRMRI-VWI技术定量参数比较

参数	预后不良患者(n=24)	预后良好患者(n=92)	t	P
治疗前				
最狭窄层面管腔面积(mm ²)	4.80±0.93	4.70±1.03	0.432	0.667
狭窄率(%)	16.83±4.15	16.00±3.58	0.978	0.330
斑块体积(mm ³)	39.06±10.03	37.37±8.61	0.827	0.410
斑块负荷(%)	65.29±8.07	63.89±6.49	0.893	0.374
血管重构指数	98.17±15.34	95.79±10.98	0.866	0.388
最狭窄层面斑块强化率(%)	48.28±15.48	45.28±11.06	1.083	0.281
斑块整体强化率(%)	57.25±16.59	53.61±10.27	1.344	0.182
治疗30d后				
最狭窄层面管腔面积(mm ²)	5.79±1.13 ^a	7.46±1.82 ^a	4.277	<0.001
狭窄率(%)	8.36±2.71 ^a	5.12±1.53 ^a	7.723	<0.001
斑块体积(mm ³)	18.42±6.10 ^a	9.47±3.15 ^a	9.941	<0.001
斑块负荷(%)	41.13±10.27 ^a	26.98±8.39 ^a	7.014	<0.001
血管重构指数	56.87±12.20 ^a	42.30±10.41 ^a	5.889	<0.001
最狭窄层面斑块强化率(%)	18.40±6.03 ^a	9.85±3.22 ^a	9.441	<0.001
斑块整体强化率(%)	21.66±6.94 ^a	12.41±4.10 ^a	8.390	<0.001

注：与同组治疗前比较，^a $P<0.05$ 。

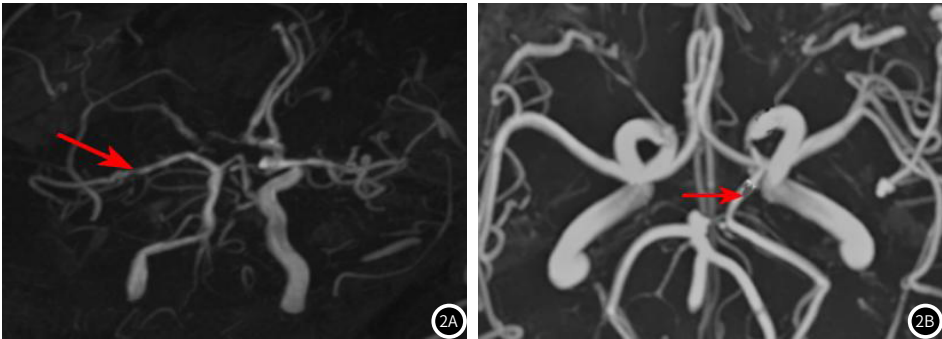


图2A 预后良好患者治疗前后3D HRMRI-VWI典型影像学表现，狭窄率8%；
图2B 预后不良患者治疗前后3D HRMRI-VWI典型影像学表现，狭窄率17%。

表5 3D HRMRI-VWI技术定量参数对预后的评估价值

参数	AUC	95%CI	约登指数	敏感度(%)	特异度(%)	P
最狭窄层面管腔面积	0.764	0.676-0.838	0.562	83.33	72.83	<0.001
狭窄率	0.788	0.703-0.859	0.453	83.33	61.96	<0.001
斑块体积	0.753	0.664-0.828	0.504	66.67	83.70	<0.001
斑块负荷	0.789	0.703-0.859	0.444	54.17	90.22	<0.001
血管重构指数	0.774	0.687-0.846	0.580	91.67	66.30	<0.001
最狭窄层面斑块强化率	0.826	0.744-0.890	0.589	70.83	88.04	<0.001
斑块整体强化率	0.792	0.707-0.862	0.533	75.00	78.26	<0.001
联合	0.913	0.847-0.958	0.687	70.83	97.83	<0.001

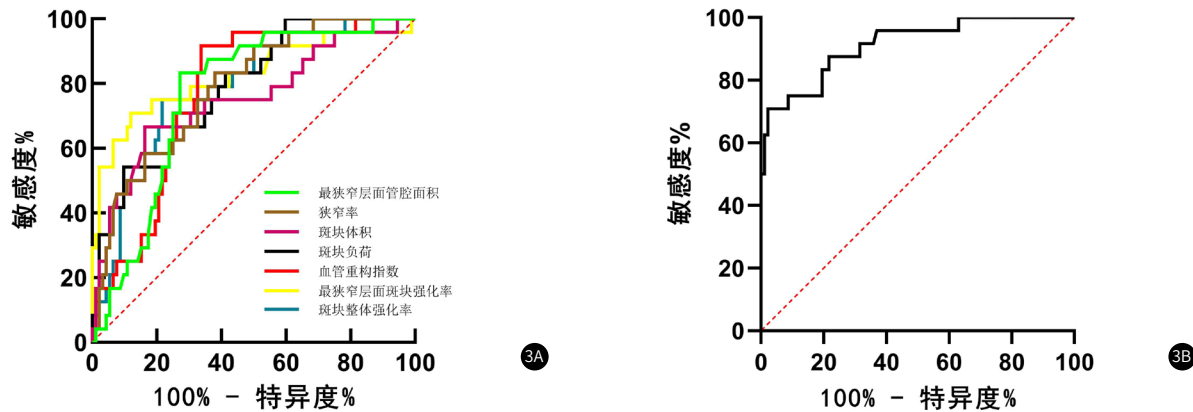


图3A-图3B 3D HRMRI-VWI技术定量参数对预后的评估价值

3 讨论

目前对于ACI患者动脉粥样硬化的评估主要基于管腔狭窄程度, 3D HRMRI-VWI可作为磁共振血管成像、CT血管造影的补充技术, 实现颅内动脉一站式成像, 降低部分容积效应, 明确颅内斑块总体负荷, 通过多平面重建, 更清晰观察动脉粥样硬化管壁特征^[8-9]。动脉血管重构的冠状动脉、颅内动脉狭窄的一种代偿形式, 是动脉壁慢性、长期结构变化, 在动脉斑块形成的过程中发挥重要作用^[10-11]。3D HRMRI-VWI可直观显示血管重构状态, 同时可定量测量狭窄处血管面积与参考层面血管面积, 计算重构指数^[12-13]。本研究分析不同预后患者血管重构指数显示, 预后不良患者治疗前、治疗30 d后血管重构指数大于预后良好患者($P<0.05$); 分析与血管重构的机制有关, 血管重构受平滑肌细胞过度增殖、外周血流动力学刺激、炎症反应损伤、细胞周围基质成分改变等多种因素影响, 可引发早期冠状动脉重塑^[14-15]。本研究3D HRMRI-VWI技术定量参数中, 重度组最狭窄层面管腔面积<中度组<轻度组, 狭窄率>中度组>轻度组, 且最狭窄层面管腔面积与病情程度呈负相关($r=-0.512$), 狭窄率与病情程度呈正相关($r=0.624$)($P<0.05$); 随着ACI患者病情进展, 动脉的代偿性扩张减弱, 管腔变窄, 管壁负荷增加, 随后的修复过程及炎症反应可进一步加重管腔狭窄^[16]。

斑块体积是斑块所累及层面的面积总和, 斑块负荷是最狭窄层面斑块面积的百分比^[17]。有研究表明, 斑块负荷是复发性缺血性脑卒中的危险因素^[18]。本研究重度组斑块体积、斑块负荷>中度组>轻度组($P<0.05$), 进一步说明斑块体积、斑块负荷可作为ACI患者病情程度评估的参考指标。既往斑块强化相关研究中, 田霞^[19]等报道显示, 缺血性脑卒中复发患者最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率高于病情稳定患者; Zhang等^[20]学者研究表明, 中重度斑块强化的缺血性脑卒中患者复发率高于轻度强化, 验证了斑块强化程度与脑血管事件发生有关。本研究最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率与病情程度呈正相关($r=0.649$ 、 0.692 , $P<0.05$), 可见斑块强化程度与ACI患者病情联系密切。ACI患者病情进展过程中内皮渗透率升高、新生血管增加是斑块强化的重要影响因素, 钆喷酸葡胺通过内皮滞留于斑块, 引发斑块不同程度强化^[21]。斑块强化可反映新生血管形成、炎症反应增强, 而炎症可促使内皮细胞功能障碍、斑块进展与破裂, 故斑块强化可标志斑块不稳, 与ACI患者病情程度有关^[22]。

本研究联合多项3D HRMRI-VWI技术定量参数, 进一步绘制ROC曲线显示, 最狭窄层面管腔面积、狭窄率、斑块体积、斑块负荷、血管重构指数、最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率联合评估预后不良的AUC为0.913(95%CI: 0.847-0.958), 大于各参数单独评估, 可为改善ACI患者预后提供参考。

综上所述, 3D hr-VW-MRI可有效分析不同病情程度ACI患者最狭窄层面管腔面积、狭窄率、斑块体积、斑块负荷、血管重构指数、最狭窄层面斑块强化率、斑块整体强化率, 评估ACI患者病情程度, 对临床评估、预防ACI预后不良具有积极意义。

参考文献

- [1] 赵富强, 郑红伟, 彭晓博, 等. 磁共振血管成像对急性脑梗死血管病变的评估价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(6): 15-17.
- [2] 田志勇, 孟凯龙, 王丽红, 等. 急性脑梗死CT血管造影侧支循环分级与CT灌注成像量化指标的关系[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2021, 19(14): 2451-2454.
- [3] 秦敏, 侯丹玮. CT血管成像评估急性脑梗死患者颈动脉狭窄、侧支循环的价值[J]. 实用临床医药杂志, 2020, 24(11): 14-16, 20.
- [4] Han M, Choi JW, Jung WS, et al. Isolated posterior inferior cerebellar artery dissection with ischaemic stroke: evaluating the radiological features and diagnostic feasibility of high-resolution vessel wall imaging[J]. Clin Radiol, 2022, 77(8): 584-591.
- [5] 张明宇, 陈红燕, 马丁. 高分辨率磁共振血管壁成像评估椎-基底动脉硬化血管壁对急性脑梗死患者预后的评估价值[J]. 卒中与神经疾病, 2020, 27(3): 323-326.
- [6] Lin GH, Song JX, Fu NX, et al. Quantitative and Qualitative Analysis of Atherosclerotic Stenosis in the Middle Cerebral Artery Using High-Resolution Magnetic Resonance Imaging[J]. Can Assoc Radiol J, 2021, 72(4): 783-788.
- [7] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南2018[J]. 中华神经科杂志, 2018, 51(9): 666-682.
- [8] 薛萍妮, 陈枝挺, 孙斌, 等. 高分辨率磁共振检测急性脑梗死早期神经功能恶化患者颅内动脉粥样硬化血管特征[J]. 福建医科大学学报, 2021, 55(6): 471-475.
- [9] Zhu X, Qiu H, Hui FK, et al. Practical value of three-dimensional high resolution magnetic resonance Vessel Wall imaging in identifying suspicious intracranial vertebrobasilar dissecting aneurysms[J]. BMC Neurol, 2020, 20(1): 199.
- [10] Liu S, Tang R, Xie W, et al. Plaque characteristics and hemodynamics contribute to neurological impairment in patients with ischemic stroke and transient ischemic attack[J]. Eur Radiol, 2021, 31(4): 2062-2072.
- [11] 杨丽, 王效春. 高分辨率磁共振血管壁成像在缺血性脑卒中的应用进展[J]. 磁共振成像, 2022, 13(5): 136-139.
- [12] 朱友义, 高律萍, 曹成瑛, 等. MRI-DWI、HR-MRI评估急性脑梗死患者相关高危斑块特征研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2021, 32(10): 700-703.
- [13] 顾军, 王觅, 张丹凤, 等. 大脑中动脉粥样硬化性狭窄患者高分辨率磁共振成像血管壁特征与缺血性卒中风险[J]. 国际脑血管病杂志, 2021, 29(6): 401-406.
- [14] Mohammed-Brahim N, Clavel G, Charbonneau F, et al. Three Tesla 3D High-Resolution Vessel Wall MRI of the Orbit may Differentiate Arteritic From Nonarteritic Anterior Ischemic Optic Neuropathy[J]. Invest Radiol, 2019, 54(11): 712-718.
- [15] 蒋婷, 夏春潮, 崔福涛, 等. 大脑中动脉斑块特征对急性脑梗死患者预后的预测价值[J]. 实用医院临床杂志, 2021, 18(3): 122-124.
- [16] 高亚军, 张欢, 师强, 等. 急性脑梗死患者颈动脉狭窄程度与颈动脉易损斑块MRI特征关系研究[J]. 陕西医学杂志, 2022, 51(9): 1094-1097.
- [17] Ni T, Fu Y, Zhou W, et al. Carotid plaques and neurological impairment in patients with acute cerebral infarction[J]. PLoS One, 2020, 15(1): 226961.
- [18] Che F, Mi D, Wang A, et al. Extracranial carotid plaque hemorrhage predicts ipsilateral stroke recurrence in patients with carotid atherosclerosis—a study based on high-resolution vessel wall imaging MRI[J]. BMC Neurol, 2022, 22(1): 237.
- [19] 田霞, 张雪凤, 彭雯佳, 等. 三维高分辨率磁共振血管壁成像在评估非狭窄性颅内动脉粥样硬化所致缺血性脑卒中复发中的价值[J]. 海军军医大学学报, 2022, 43(5): 511-518.
- [20] Zhang X, Chen L, Li S, et al. Enhancement Characteristics of Middle Cerebral Arterial Atherosclerotic Plaques Over Time and Their Correlation With Stroke Recurrence[J]. J Magn Reson Imaging, 2021, 53(3): 953-962.
- [21] 林国辉, 宋建勋, 黄旭, 等. 大脑中动脉粥样硬化性狭窄患者血管壁特征与缺血性卒中及其机制的相关性: 高分辨率MRI研究[J]. 国际脑血管病杂志, 2020, 28(8): 593-599.
- [22] Yang D, Liu J, Yao W, et al. The MRI enhancement ratio and plaque steepness may be more accurate for predicting recurrent ischemic cerebrovascular events in patients with intracranial atherosclerosis[J]. Eur Radiol, 2022, 32(10): 7004-7013.

(收稿日期: 2022-10-31)

(校对编辑: 孙晓晴)