

论 著

磁共振高分辨血管壁成像用于脑卒中相关血管床斑块的定量分析*

郑艳龙¹ 赵启利¹ 刘 博¹
张 曦¹ 苑春红^{2,*}1.廊坊市人民医院放射诊断科
(河北 廊坊 065000)

2.廊坊市人民医院产科(河北 廊坊 065000)

【摘要】目的 探究磁共振高分辨血管壁成像(HR-VWI)在脑卒中相关血管床斑块定量分析中的应用及与梗死灶体积、软脑膜侧支循环(LMC)关系。方法 回顾性分析2018年1月至2020年12月50例缺血性脑卒中患者临床资料,以50例短暂性脑缺血(TIA)患者为对照,患者均接受磁共振三维HR-VWI成像检查。对比2组MCA斑块定量指标,包括病变层面(MLN)和参考层面(RL)管腔面积(LA)、血管外壁面积(OWA)、病变层面管壁面积(WAMLN)、血管狭窄程度、斑块负荷、重构指数。分析大脑中动脉(MCA)狭窄率、斑块负荷、重构指数与梗死灶体积、易损斑块相关性。比较软脑膜侧支循环(LMC)不良组与良好组MCA斑块定量指标,绘制ROC曲线探究斑块定量指标预测LMC不良价值。结果 脑卒中组LAMLN明显小于TIA组($P<0.05$),OWAMLN、WAMLN、斑块负荷、重构指数均明显大于TIA组($P<0.05$)。脑卒中患者MCA狭窄率与梗死灶体积呈正相关($P<0.05$),斑块负荷与梗死灶体积、易损斑块均呈正相关($P<0.05$),重构指数与易损斑块呈正相关($P<0.05$)。LMC不良组狭窄率、斑块负荷、重构指数明显高于LMC良好组($P<0.05$)。MCA狭窄率、斑块负荷、重构指数及三者联合预测LMC不良的ROC曲线下面积分别为0.755、0.862、0.676、0.919($P<0.05$)。结论 脑卒中MCA狭窄斑块进行HR-VWI定量分析有助于患者病情、斑块易损性及软脑膜侧支循环状态评估。

【关键词】缺血性脑卒中;磁共振;高分辨血管壁成像;狭窄率;斑块负荷;定量分析

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】磁共振颅颈一体化高分辨血管壁成像对脑卒中相关血管床斑块负荷定量研究(182777176)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.01.009

Magnetic Resonance High Resolution Vessel Wall Imaging in the Quantitative Analysis of Stroke-Related Vascular Bed Plaques*

ZHENG Yan-long¹, ZHAO Qi-li¹, LIU Bo¹, ZHANG Xi¹, YUAN Chun-hong^{2,*}.

1.Department of Diagnostic Radiology, The People's Hospital of Langfang City, Langfang 065000, Hebei Province, China

2.Department of Obstetrics, The People's Hospital of Langfang City, Langfang 065000, Hebei Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the application of magnetic resonance high resolution vessel wall imaging (HR-VWI) in the quantitative analysis of stroke-related vascular bed plaques and its relationship with infarct volume and leptomeningeal collateral circulation (LMC). **Methods** The clinical data of 50 patients with ischemic stroke from January 2018 to December 2020 were retrospectively analyzed, and 50 patients with transient ischemic attack (TIA) were used as controls. All patients underwent magnetic resonance three-dimensional HR-VWI imaging examination. The quantitative indicators of middle cerebral artery (MCA) plaques were compared between the two groups, including lumen area (LA) of maximal lumen narrowing (MLN) and referential lumen (RL), outer wall area (OWA), wall area of MLN (WAMLN), vascular stenosis degree, plaque burden and remodeling index. The correlation between MCA stenosis rate, plaque burden, remodeling index and infarct volume and vulnerable plaque was analyzed. The quantitative indicators of MCA plaques were compared between poor leptomeningeal collateral circulation (LMC) group and good LMC group, and ROC curves were drawn to explore the value of quantitative indicators of plaque in predicting the poor LMC. **Results** LAMLN in stroke group was significantly lower than that in TIA group ($P<0.05$), and the OWAMLN, WAMLN, plaque burden and remodeling index were significantly higher than those in TIA group ($P<0.05$). MCA stenosis rate in patients with stroke was positively correlated with infarct volume ($P<0.05$), and plaque load was positively correlated with infarct volume and vulnerable plaques ($P<0.05$), and remodeling index was positively correlated with vulnerable plaques ($P<0.05$). Stenosis rate, plaque burden and remodeling index in poor LMC group were significantly higher than those in good LMC group ($P<0.05$). The areas under ROC curves of MCA stenosis rate, plaque load, remodeling index and the combination of the three in predicting poor LMC were 0.755, 0.862, 0.676 and 0.919 respectively ($P<0.05$). **Conclusion** HR-VWI quantitative analysis of MCA stenosis plaque in stroke is helpful to evaluate the disease condition, plaque vulnerability and status of leptomeningeal collateral circulation.

Keywords: Ischemic Stroke; Magnetic Resonance; High Resolution Vessel Wall Imaging; Stenosis Rate; Plaque Burden; Quantitative Analysis

缺血性脑卒中约占全部脑卒中70%~80%,其发病与颅内动脉粥样硬化及粥样硬化斑块不稳定密切相关,其中大脑中动脉(middle cerebral artery,MCA)是颅内血管斑块最易累及部位^[1]。既往常通过评估MCA狭窄程度来判断缺血性脑卒中病情以及指导临床治疗,但越来越多研究认为^[2],相比血管狭窄程度,缺血性脑卒中的发生与硬化斑块稳定性关联更为密切,故评估MCA狭窄部位斑块特征越来越受临床重视。高分辨血管壁成像(high resolution vessel wall imaging,HR-VWI)作为一种新兴磁共振成像技术,能直观观测颅内动脉管壁结构、提供斑块信息,并能定量测量管腔狭窄程度、斑块负荷等参数,近年来在缺血性脑卒中病情及预后评估中应用越来越多,对疾病诊疗展现出良好应用价值^[3]。

研究认为^[4],侧支循环与缺血性脑卒中病情进展及预后关联密切,其中软脑膜侧支循环(leptomeningeal collateral,LMC)作为颅内二级侧支循环,可为狭窄或闭塞动脉远端供血,是缺血性脑卒中患者预后评估的重要内容之一。数字减影血管造影虽是目前LMC评估的金标准,但因具有创性、辐射性等原因,难以广泛开展^[5]。而已有研究认为^[6],LMC状态与MCA粥样硬化斑块特征存在关联。基于以上背景,本研究将磁共振HR-VWI用于缺血性脑卒中检查中,旨在探究HR-VWI下MCA斑块定量指标对患者病情及预后评估的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2018年1月至2020年12月收治的50例缺血性脑卒中患者临床资料。

纳入标准:因头痛、意识障碍、偏瘫等症状入院;经CTA、TOF-MRA或DSA检查证实M1-2段狭窄程度>30%;动脉粥样硬化高危因素(如高血压、糖尿病、高脂血症、吸烟(连续超过6个月每天吸烟≥1支且发病前未戒烟)、饮酒(连续1年每月饮酒≥2次)、

【第一作者】郑艳龙,男,主治医师,主要研究方向:头颈血管磁共振高分辨斑块分析。E-mail: 869719337@qq.com

【通讯作者】苑春红,女,主治医师,主要研究方向:产科合并症。E-mail: honghongokok@163.com

年龄≥60岁等)≥2种;无MRI检查禁忌;签署知情同意;影像资料完整。排除标准:因脑动脉夹层、心房颤动、动脉炎所致脑梗死;因心脏起搏器植入、血管支架植入或严重内科疾病等无法行MRI检查;患者耐受不佳;患侧MCA完全闭塞。50例患者中,男34例,女16例;年龄46~74岁,平均(58.50±8.40)岁;梗死灶体积2.4~15.7cm³,平均(6.48±2.82)cm³;合并高血压23例,高脂血症19例,糖尿病13例,吸烟29例,饮酒24例。另选取同期50例诊断为短暂性脑缺血(Transient ischemic attack,TIA)患者进行对照,TIA组男31例,女19例;年龄43~75岁,平均(57.20±7.50)岁;合并高血压19例,高脂血症15例,糖尿病10例,吸烟24例,饮酒20例。2组性别、年龄、合并高危因素比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。本研究符合赫尔辛基宣言。

1.2 方法 检查设备及序列:所有缺血性卒中及TIA患者均于发病2周内行磁共振三维HR-VWI成像检查。采用德国西门子Skyra3.0T超导磁共振扫描仪,32通道头颈联合线圈扫描范围主动脉弓至颅顶;在正中矢状位平行图像上进行VWI(平扫与增强扫),扫描在前后联合线上获得横断面图像,扫描需要从颅顶至自主动脉弓上缘,需要包括颅内血管以及颈部。T₂WI需要对VWI责任血管进行定位,在垂直于责任血管位置进行血管横断面扫描。VWI、DSC-PWI、STAGE:重复时间、层厚、回波时间、矩阵大小、视野、翻转角、带宽、采集时间分别为900ms、0.55mm、14ms、384×300、210×78、120°、465Hz/Px、463s;②T₂WI序列:重复时间、层厚、回波时间、矩阵大小、视野、翻转角、带宽、采集时间分别为4000ms、2.0mm、62ms、7698×768、150×100、150°、181Hz/Px、250s。

1.2.1 扫描序列包括DWI序列(主要用于梗死部位观察及梗死灶体积测量)、3D TOF-MRA序列(主要用于病变血管位置、狭窄程度及软脑膜侧支循环评估)、3D IR-SPACE序列(主要用于斑块性质及斑块负荷评估)。参数设置:1)DWI:TR/TE 3900ms/77ms,扫描层厚5mm,层数30,矩阵110×110,FOV 240×240,翻转角90°,扫描时间62s;2)3D TOF-MRA序列:TR/TE 21ms/3.45ms,扫描层厚0.6mm,层数150,矩阵320×223,FOV 240×240,翻转角20°,扫描时间4min;3)3D T₁-SPACE序列:静脉注射马根维显患者进行肘前静脉穿刺后注入20mL钆喷酸葡胺对比剂,采用高压注射器将0.2mmol/kg浓度对比剂以2.5~3.0mL/s,注入完成后采用10mL生理盐水对管道进行冲洗,随后进行扫描。(0.1mmol/kg)后延迟4~5min再行T₁-SPACE序列扫描,TR/TE 900ms/14ms,扫描层厚0.53mm,层数224,矩阵384×336,FOV 230×230,扫描时间463s。

1.2.2 图像处理 扫描数据传入血管壁分析软件(VA)后处理工作站,图像放大2~3倍,于HR-VWI平扫图像上获得管腔狭窄最严重层面定义为病变层面(maximal lumen narrowing,MLN)、病变层面邻近近心端或远心端血管壁光滑、无管壁增厚层面定义为参考层面(referential lumen,RL)。分别由2名具有丰富脑血管斑块磁共振成像分析经验的影像科医师,手动勾画血管管腔及血管壁轮廓,独立、双盲下完成患者图像分析及数据测量。由工作站软件得出病变层面和参考层面管腔面积(lumen area,LA)、血管外壁面积(out wall area,OWA),病变层面管壁面积(wall area,WAMLN)=OWA-MLN,狭窄程度=[1-LAMLN/LAREF]×100%,斑块负荷即管壁标准化指数(normalized wall index,NWI)=WAMLN/OWA,重构指数=OWA/OWARL,其值在0.95~1.05间视为无明显重构,≤0.95为负性重构,≥1.05为正性重构^[7]。

1.3 观察指标

(1)比较脑卒中组与TIA组MCA斑块定量指标比较,包括LAMLN、OWA-MLN、WAMLN、狭窄率、NWI、重构指数等。(2)探究脑卒中患者MCA狭窄率、NWI、重构指数与梗死灶体积、易损斑块相关性,其中易损斑块MRI下定义标准为斑块存在破裂、出血,或斑块最大层面脂质核心面积≥40%^[8]。(3)根据软脑膜侧支循环评分将脑卒中患者分为LMC不良组与LMC良好组,评分标准如下^[9]:TOF-MRA横断面提示病灶侧支小血管缺失计0分,病灶侧支小血管数量较对侧减少≥50%计1分,病灶侧支小血管数量较对侧减少<50%计2分,病灶侧支小血管数量与对侧大致相等计3分,病灶侧支小血管数量高于对侧即4分,其中0~2分为LMC不良,3~4分为LMC良好,比较LMC不良组与LMC良好组斑块定量指标。(4)通过ROC曲线评价HR-MRI下MCA斑块定量指标对LMC不良的预测价值。

1.4 统计学分析 应用SPSS 21.0软件,斑块量化指标以($\bar{x} \pm s$)列出,行独立样本t检验;MCA狭窄率、斑块负荷、重构指数与梗死灶体积相关性采用Pearson相关分析法,与易损斑块相关性采用Spearman相关分析法;绘制ROC曲线评价斑块定量指标预测LMC不良价值, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 脑卒中组与TIA组MCA斑块定量指标比较 脑卒中组MCA中LAMLN明显小于TIA组($P<0.05$),而OWA-MLN、WAMLN、斑块负荷、重构指数均明显大于TIA组($P<0.05$)。

2.2 脑卒中患者MCA狭窄率、斑块负荷、重构指数与梗死灶体积、易损斑块相关性 相关性分析显示,脑卒中患者MCA狭窄率与梗死灶体积呈正相关($P<0.05$),斑块负荷与梗死灶体积、易损斑块均呈正相关($P<0.05$),重构指数与易损斑块呈正相关($P<0.05$)。

2.3 LMC不良组与LMC良好组MCA斑块定量指标比较 LMC不良组狭窄率、斑块负荷、重构指数均明显高于LMC良好组($P<0.05$)。

2.4 HR-MRI下MCA斑块定量指标预测LMC不良的ROC曲线 以LMC不良为状态变量,以MCA狭窄率、斑块负荷、重构指数为检验变量绘制ROC曲线,结果显示,MCA狭窄率、斑块负荷、重构指数预测LMC不良的ROC曲线下面积分别为0.755、0.862、0.676($P<0.05$),且三者联合预测为0.919($P<0.05$)。

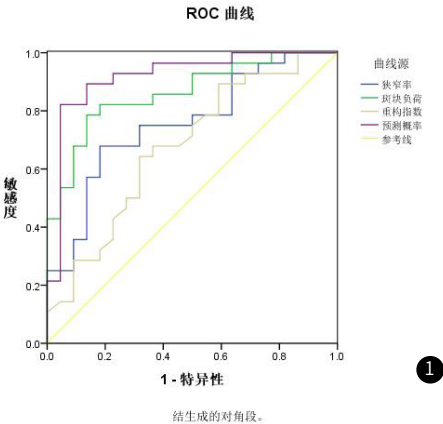


图1 HR-MRI下MCA斑块定量指标预测LMC不良的ROC曲线

表1 脑卒中组与TIA组MCA斑块定量指标比较

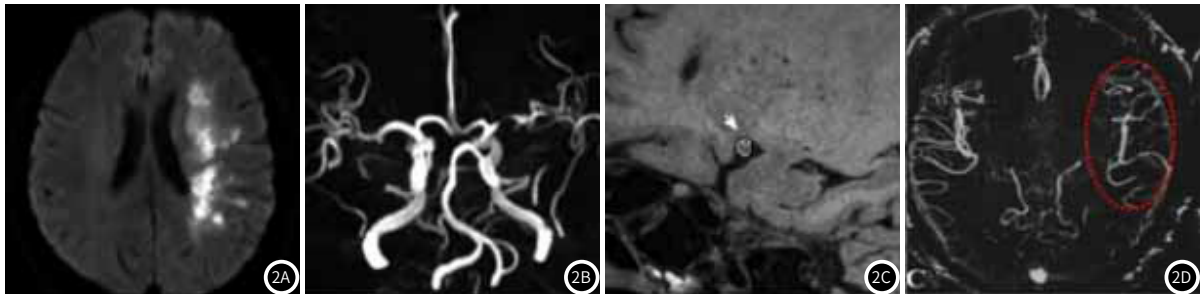
组别	n	LARL(mm ²)	LAMLN(mm ²)	OWA-MLN(mm ²)	WAMLN(mm ²)	狭窄率(%)	斑块负荷(%)	重构指数
脑卒中组	50	2.95±0.82	0.72±0.34	7.45±1.99	6.73±1.83	67.48±11.52	45.10±9.08	1.29±0.45
TIA组	50	2.87±0.73	1.01±0.42	6.44±2.21	5.33±1.96	64.28±9.56	34.62±7.35	1.02±0.31
t		0.522	3.795	2.401	2.876	1.512	6.244	3.494
P		0.623	<0.01	0.018	<0.01	0.134	<0.01	<0.01

表2 脑卒中患者MCA狭窄率、斑块负荷、重构指数与梗死灶体积、易损斑块相关性(r)

	梗死灶体积		易损斑块	
	r	P	r	P
狭窄率	0.375	0.026	0.216	0.163
斑块负荷	0.794	<0.01	0.526	0.018
重构指数	0.262	0.184	0.397	0.034

表3 LMC不良组与LMC良好组MCA斑块定量指标比较

组别	n	狭窄率(%)	斑块负荷(%)	重构指数
LMC不良组	28	70.15±10.75	48.95±8.24	1.45±0.42
LMC良好组	22	64.04±9.82	41.48±7.11	1.08±0.35
t		2.071	3.376	3.322
P		0.044	<0.01	<0.01

**图2** 患者磁共振高分辨血管壁成像。患者女, 62岁, 因突发右侧肢体无力、言语不利入院, 图2A: DWI提示半卵圆中心(左侧)片状高信号, 图2B: MRA提示MAC(左侧)MI段重度狭窄, 图2C: 斑块呈偏心性, 测量血管面积9.54mm², 管腔面积1.01mm², 图2D: 提示左侧MCA远端分支数量较对侧减少>50%, LMC评分为1分。**表4 HR-MRI下MCA斑块定量指标预测LMC不良的ROC曲线下面积**

指标	AUC	标准误	P	95%CI	
				下限	上限
狭窄率	0.755	0.069	0.002	0.620	0.890
斑块负荷	0.862	0.051	0.000	0.761	0.963
重构指数	0.676	0.077	0.034	0.525	0.828
三项联合	0.919	0.043	0.000	0.830	1.000

3 讨论

磁共振扫描因其无创性、无辐射性及良好组织分辨率, 在血管相关疾病诊疗中具有广泛应用, 近些年来随着磁共振扫描设备、技术发展, 关于HR-VWI在颅内动脉成像中应用研究越来越多^[10]。本研究采用的3D-SPACE序列是通过3D涡轮自旋回波序列技术进行的三维HR-VWI成像, 相比传统HR-MRI技术, 其具有黑血性能及更高的采样效率, 对血管壁结构、斑块形态特征可好显示, 同时能对颅内血管进行多层面、多方向重建, 有助于提高斑块特征定量测量准确性^[11]。

本研究对比了脑卒中与TIA患者HR-VWI下狭窄MCA相关定量指标, 结果显示脑卒中组LAMLN明显小于TIA组, 而OWAMLN、WAMLN明显大于TIA组。既往研究也认为^[12], 急性脑梗死MCA粥样硬化者相比无急性脑梗死患者管壁面积及斑块面积增大, 而管腔面积更小, 这与本研究结果一致。血管狭窄与缺血性脑血管疾病发生密切相关, 但本研究显示, 脑卒中组与TIA组血管狭窄率比较差异无统计学意义, 提示血管狭窄可能并非脑卒中发病的决定性因素。斑块负荷是最窄处管壁面积与血管外壁面积比值, 与斑块内脂质坏死、钙化、出血等关联密切, 其值越大, 表明斑块稳定性越差, 是脑卒中的高危因素^[13]。本文显示, 脑卒中组较TIA组斑块负荷明显增加。动脉粥样硬化形成过程中会发生血管壁重构现象, 包括血管向外扩张的正性重构及血管向内收缩的负性重构, 正性重构减轻了血管狭窄程度, 但其具有更大斑块面积及斑块血管面积, 斑块生物活性也越高, 意味着斑块更容易发生破裂, 稳定性更差^[14]。本文显示, 脑卒中组重构指数要明显大于TIA组, 这与脑卒中患者狭窄MCA多偏正性重构有关, 提示通过重构指数也能一定程度上预测斑块稳定性及脑卒中发生。本研究经相关性分析发现, 脑卒中患者MCA狭窄率与梗死灶体积呈正相关, 斑块负荷与梗死灶体积、易损斑块均呈正相关, 重构指数与易损斑块呈正相关, 提示检测MCA狭窄程度、斑块负荷及重构指

数可用于脑卒中发生及病情评估, 与白晶晶等^[15]报道类似。

LMC作为颅内二级侧支循环, 在调节狭窄或闭塞动脉远端血流中占重要地位, 对维持脑卒中后颅内灌注状态有重要意义, 被认为可作为脑卒中患者最终梗死体积、脑卒中复发等结局的独立预测因子^[16]。尤其是严重MCA狭窄患者, 因MCA不参与Willis环构成, 其狭窄或闭塞时, 无法通过Willis环、眼动脉代偿, LMC成为主要侧支循环途径^[17]。本研究对比了不同LMC状态下斑块定量指标, 发现LMC不良组狭窄率、斑块负荷、重构指数均明显高于LMC良好组, 提示MCA狭窄率、斑块负荷、重构指数或可以影响LMC状态, 可能因为一方面MCA狭窄率越高者, 血管状态本身更差, 因管壁炎症反应、巨噬细胞浸润等原因, 代偿血管容易出现血管内皮损伤等情况, 继而影响侧支循环; 而斑块负荷越大、重构指数越高与斑块易损、斑块破裂相关, 对侧支循环有负面影响, 与Shi等^[18]研究一致。此外, 本研究显示, MCA狭窄率、斑块负荷、重构指数及三者联合预测LMC不良的ROC曲线下面积分为0.755、0.862、0.676、0.919, 提示通过HR-VWI下相关血管床斑块进行定量评估, 有助于预测患者LMC状态。

综上所述, 应用HR-VWI对脑卒中MCA狭窄斑块进行定量分析有助于患者病情、斑块易损性及软脑膜侧支循环状态评估, 可为临床诊疗提供参考。本研究不足之处在于, 样本量相对较少; 而研究中管腔、管壁勾勒均为手动完成, 软脑膜侧支血管评估是基于TOF-MRA, 均可能有一定误差; 此外, 影响软脑膜侧支循环因素众多, 后期可加大样本、纳入更多因素分析, 可能有利于建立软脑膜侧支循环状态预测模型。利益冲突: 无。

参考文献

- [1] 王潇玉, 徐成. 缺血性脑卒中责任血管在MR管壁成像上的研究进展[J]. 磁共振成像, 2020, 96(6): 69-71.
- [2] 孙勇, 李辉明, 王立强, 等. CTA下颈动脉斑块负荷与前循环缺血性脑卒中远期复发事件的相关性研究[J]. 心脑血管病防治, 2016, 16(3): 184-186.

[3] 尹伟,王馨蕊,陈录广,等.CE-MRA与磁共振管壁成像联合应用对颅内动脉瘤的诊断价值[J].中国CT和MRI杂志,2017,154(4):21-23.

[4] 周卉芳.CT平扫,CT灌注成像及CT血管成像对缺血性卒中脑侧支循环的诊断价值分析[J].中国CT和MRI杂志,2018,16(7):72-75.

[5] 任国勇,薛盼,吴雪梅,等.CT血管造影和数字减影血管造影对软脑膜侧支循环评估对比[J].中华老年心脑血管病杂志,2020,22(2):133-137.

[6] 张建强,曲丹丹,张艳丽,等.TCD动态监测软脑膜侧支循环状态评估急性缺血性卒中患者预后的可行性分析[J].中风与神经疾病,2019,36(1):45-49.

[7] 梁汉祥,李新春.高分辨磁共振成像检测轻度大脑中动脉粥样斑块情况对梗死类型的评估价值[J].中西医结合心脑血管病杂志,2020,18(21):3672-3675.

[8] 杨倩,张杨,黎海涛.轻中度血管狭窄重构模式与斑块易损性的高分辨磁共振研究[J].第三军医大学学报,2017,39(18):1836-1840.

[9] Yuan H W, Ji R J, Wang A L, et al. A grading scale for pial collaterals in middle cerebral artery total occlusion based on time-of-flight MR angiography source images[J]. Magn Reson Med Sci, 2019, 18(1): 62-69.

[10] 崔雪花,叶玉芳,单春辉,等.MR高分辨率管壁成像与超声评价颈动脉斑块负荷的对比研究[J].中华放射学杂志,2019,53(8):720-723.

[11] 王嫣,白岩,王志学,等.三维高分辨磁共振成像在评估大脑中动脉斑块特征与缺血性脑卒中和短暂性脑缺血发作关系中的研究[J].磁共振成像,2019,10(3):19-23.

[12] Zhang D F, Chen Y C, Chen H, et al. A high-resolution MRI study of relationship between remodeling patterns and ischemic stroke in patients with atherosclerotic middle cerebral artery stenosis[J]. Front Aging Neurosci, 2017, 9(5): 140-147.

[13] 陈伟红,靳玮,张淑倩,等.后循环缺血性卒中颅内动脉粥样硬化的高分辨率磁共振成像特征分析[J].中国脑血管病杂志,2019,16(9):461-465.

[14] 王新丽,王欣宇,陈振,等.颅内动脉粥样硬化斑块易损性的三维高分辨磁共振研究[J].中国医学影像学杂志,2019,27(1):20-24.

[15] 白晶晶,钱丽霞.高分辨MRI测定大脑中动脉斑块负荷与急性脑梗死灶体积关系的研究[J].中国现代医药杂志,2016,18(2):10-12.

[16] 武青,王健,王玉洁,等.大脑中动脉狭窄患者软脑膜动脉侧支循环与脑梗死的相关性研究[J].中华老年心脑血管病杂志,2018,20(4):392-395.

[17] 鲁艺花,李今实,崔东淑.大脑中动脉狭窄程度及侧支代偿与神经功能缺损的关系[J].中国继续医学教育,2017,9(5):91-93.

[18] Shi M C, Wang S C, Zhou H W, et al. Compensatory remodeling in symptomatic middle cerebral artery atherosclerotic stenosis: a high-resolution MRI and microemboli monitoring study[J]. Neurol Res, 2012, 34(2): 153-8.

(收稿日期: 2021-04-14)

(校对编辑: 阮 靖)



(上接第 11 页)

[8] Park M J, Kim H S, Jahng G H, 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, 2009, 30(7): 1402-1408.

[9] Lee J, Hoxha E, Song H R, et al. A novel NF1A-NF1B feed-forward loop contributes to glioblastoma cell survival[J]. Neuro Oncol, 2017, 19: 524-534.

[10] Gaudino S, Marziali G, Pezzullo G, et al. Role of susceptibility-weighted imaging and intratumoral susceptibility signals in grading and differentiating pediatric brain tumors at 1.5 T: a preliminary study[J]. Neuroradiology, 2020, 62(6): 705-713.

[11] 陈新坚,程传虎,肖俊强,等.磁共振敏感成像在弥漫性轴索损伤中的临床应用研究[J].中国CT和MRI杂志,2016,14(8):96-98.

[12] Hsu C C, Watkins T W, Kwan G N, et al. Susceptibility-weighted imaging of gliomas: update on current imaging status and future directions[J]. J Neuroimaging, 2016, 26: 383-390.

[13] Li X, Zhu Y, Kang H, et al. Glioma grading by microvascular permeability parameters derived from dynamic contrast-enhanced MRI and Intratumoral susceptibility signal on susceptibility weighted imaging[J]. Cancer Imaging, 2015, 15(1): 4.

[14] Su C Q, Lu S S, Han QY, et al. Integrating conventional MRI, texture analysis of dynamic contrast-enhanced MRI, and susceptibility weighted imaging for glioma grading[J]. Acta radiologica (Stockholm, Sweden: 1987), 2019, 60(6): 777-787.

[15] Xu JX, XU H, ZHANG W, et al. Contribution of susceptibility- and diffusion-weighted magnetic resonance imaging for grading gliomas[J]. Exp Ther Med, 2018, 15(6): 5113-5118.

[16] Kondziolka D, Bernstein M, Resch L, et al. Significance of hemorrhage into brain tumors: Clinicopathological study[J]. Neurosurg, 1987, 67(6): 852-857.

[17] Pang HP, Dang X F, Ren Y, et al. 3D-ASL perfusion correlates with VEGF expression and overall survival in glioma patients: comparison of quantitative perfusion and pathology on accurate spatial location-matched basis[J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 50(1): 209-220.

[18] 邓达标,毛家骥,汪文胜,等.基于3D动脉自旋标记成像的纹理分析法在脑胶质瘤分级中的初步研究[J].磁共振成像,2019,10(5):321-326.

[19] 潘铭智,李扬.3D PC-ASL技术对急性缺血性脑卒中的诊断价值及临床应用[J].医学影像学杂志,2019,29(6):1040-1042.

[20] Wang X, Chen X Z, Shi L, et al. Glioma grading and IDH1 mutational status: assessment by intravoxel incoherent motion MRI[J]. Clin Radiol, 2019, 74(8): 651.e7-651.e14.

[21] Zou T, Yu H, Jiang C, et al. Differentiating the histologic grades of gliomas preoperatively using amide proton transfer-weighted (APTW) and intravoxel incoherent motion MRI[J]. NMR Biomed, 2018, 31(1): e3850.

[22] Togao O, Hiwatashi A, Yamashita K, et al. Differentiation of high-grade and low-grade diffuse gliomas by intravoxel incoherent motion MR imaging[J]. Neuro Oncol, 2016, 18(1): 132-141.

[23] Hu J, Zhao Y, Li M, et al. Machine learning-based radiomics analysis in predicting the meningioma grade using multiparametric MRI[J]. Eur J Radiol, 2020, 131: 109251.

(收稿日期: 2021-10-14)

(校对编辑: 阮 靖)