·影像组学 ·

颅内磁共振血管壁成像质量对影像组学模型鉴别症状性斑块的 影响

赵海燕,彭雯佳,陈玉坤,王烁,王皓冉,张雪凤,陈录广,陆建平

【摘要】 目的:探讨颅内动脉 MR 血管壁成像(MR-VWI)的图像质量对基于影像组学特征构建症 状性斑块预测模型的影响。方法:回顾性搜集因颅内动脉粥样硬化行 MR-VWI 检查且因图像质量不佳 而即刻重复扫描的病例作为本研究的第一部分。MR-VWI序列包括全脑 3D SPACE T, WI 平扫和增 强,目标血管(单侧大脑中动脉或基底动脉)的 2D TSE T2WI。 拟分析 100 个常用的影像组学特征,包 括形状特征 9个,一阶梯度特征 18个,纹理特征 73个。通过比较重复扫描的斑块影像组学特征,筛选 出易受图像质量影响的不稳定特征。回顾性搜集因颅内动脉粥样硬化狭窄行 MR-VWI 检查的病例作 为本研究的第二部分。首先,基于全部病例的斑块影像组学特征构建症状性斑块的预测模型(模型 A); 其次,剔除所有不稳定特征后构建预测模型(模型 B):最后,剔除图像质量不佳者,构建预测模型(模型 C)。重复扫描影像组学特征的比较,采用 Wilcoxon 符号秩和检验。预测模型的诊断效能采用受试者 工作特征曲线(ROC 曲线)进行分析,诊断效能高低主要通过曲线下面积(AUC)体现,以 DeLong 检验 比较不同模型效能的差异。结果:第一部分纳入 24 例患者,发现 3D SPACE T, WI 序列的形状特征和 一阶梯度特征均无不稳定特征,纹理特征中的不稳定特征仅占 1/73。3D SPACE T, WI 增强序列的形 状特征、一阶梯度特征以及纹理特征中的不稳定特征占比分别是 3/9、2/18 和 17/73。2D TSE T。WI 序列的形状特征、一阶梯度特征以及纹理特征中的不稳定特征占比分别是 2/9、2/18 和 19/73。第二部 分,102 例患者的 120 个斑块纳入分析,其中症状性斑块 51 个,无症状斑块 69 个。模型 A 的 AUC 为 0.708±0.022;与第一部的不稳定特征比对,模型A筛选出的8个影像组学特征中有3个不稳定特征。 模型 B 的 AUC 为 0.740±0.007。模型 C 预测颅内症状性斑块的预测效能最好,AUC 为 0.758±0.013; 与第一部分的不稳定特征比对,模型C的8个影像组学特征均为稳定特征。结论:基于 MR-VWI 影像 组学构建颅内症状性斑块的预测模型时,图像质量的优劣对斑块影像组学特征的有一定影响,图像质量 越好则预测效能越高。

【关键词】 磁共振成像; 斑块,动脉粥样硬化; 影像组学

【中图分类号】R445.2;R543.5;R446.8 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2023)10-1261-08

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.10.006 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The influence of the image quality of intracranial magnetic resonance vessel wall imaging on the identification of symptomatic plaques by radiomics model ZHAO Hai-yan, PENG Wen-jia, CHEN Yu-kun, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 200433, China

[Abstract] Objective: To investigate the effect of MR vessel wall imaging (MR-VWI) image quality on the construction of a symptomatic plaque prediction model based on radiomics signature. Methods: In the first part, patients who underwent MR-VWI examination for intracranial atherosclerosis were immediately re-scanned due to poor image quality and were retrospectively collected.MR-VWI sequences include whole-brain 3D SPACE T₁ WI plain and enhanced scans, and 2D TSE T₂ WI of the target vessel (unilateral middle cerebral artery or basilar artery). One hundred common radiomics features were analyzed, including 9 shape features, 18 first-order gradient features, and 73 texture fea-

作者单位:200433 上海,海军军医大学第一附属医院放射诊断科(赵海燕、彭雯佳、陈玉坤、张雪凤、陈录广、陆建平);200032 上海,复旦大学上海医学院基础医学院数字医学研究中心、上海市医学图像处理与计算机辅助手术重点实验室(王烁、王皓冉) 作者简介:赵海燕(1991-),女,江苏连云港人,在读硕士,主要从事脑血管疾病影像学研究工作。

通讯作者:陆建平, E-mail: cjr.lujianping@vip.163.com

基金项目:上海市科委医学创新研究专项项目(22Y11911200);上海市自然科学基金(22ZR1478100)

tures.By comparing the plaque radiomics features of repeated scanning, the unstable features that were easily affected by image quality were screened out. In the second part, the cases of intracranial atherosclerotic stenosis who underwent MR-VWI examination were retrospectively collected. Firstly, a predictive model of symptomatic plaques was constructed based on the radiomics features of all cases in Part II (Model A). Secondly, a prediction model (Model B) is constructed after removing all the unstable features. Finally, the cases with poor image quality were eliminated and a prediction model (Model C) was constructed. The Wilcoxon signed rank sum test was used to compare the radiomics features of repeated scan images. The diagnostic efficiency of the predictive model of symptomatic plaques based on radiomics features was analyzed using the receiver operating characteristic curve (ROC curve), and the diagnostic efficiency was mainly reflected by the area under ROC curve (AUC). The DeLong test was used to compare the efficacy of different models.**Results**: In the first part, a total of 24 cases were collected for immediate repeat scanning due to poor image quality. The results showed that shape features and first-order gradient features of the 3D SPACE T₁WI sequence were all stable, and the unstable features of texture features only account for 1/73. The unstable features of shape features, first-order gradient features, and texture features of 3D SPACE T₁WI enhanced sequences accounted for 3/9.2/18, and 17/73, respectively. The unstable features of shape features, first-order gradient features, and texture features of 2D TSE T₂WI sequences accounted for 2/9,2/18, and 19/73, respectively. In the second part, 120 plaques from 102 patients were included in the analysis, including 51 symptomatic plaques and 69 asymptomatic plaques. The AUC of model A is $0.708\pm0.022.$ Compared with the unstable features in the first part, there are 3 unstable features in the 8 radiomics features selected by model A. The AUC of Model B is 0.740 ± 0.007 . Model C showed the best performance in predicting intracranial culprit plaques (AUC=0.758±0.013).Compared with the unstable features in the first part, all 8 radiomics features of model C are stable. Conclusion: When the prediction model of intracranial symptomatic plaques is constructed based on MR-VWI radiomics, the image quality has a certain influence on the plaque radiomics signature, and the better the image quality, the higher the prediction efficiency.

[Key words] Magnetic resonance imaging; Plaque, atherosclerotic; Radiomics

颅内动脉粥样硬化性疾病是缺血性脑卒中的主要 病因之一^[1],对该疾病的影像学评估至关重要。传统 的血管成像方法虽然能够评估管腔狭窄程度,但无法 直观地评价血管壁,因此这些技术很容易忽略细微的 动脉粥样硬化斑块等病变。高分辨磁共振血管壁成像 (magnetic resonance vessel wall imaging, MR-VWI) 已逐渐被用于评估颅内动脉粥样硬化斑块特征,如形 态、成分及其易损性,对于脑血管病的危险分层和指导 治疗具有重要的参考价值^[2,3]。目前,基于 MR-VWI 图像数据的影像组学方法在对颅内动脉责任斑块和脑 卒中复发预测方面也有较大潜力[4]。然而,在临床实 践中,由于不适当的扫描设置或患者运动,MR-VWI 图像质量并不总是很好。本研究拟通过因图像质量不 佳而重复扫描的数据筛选出对图像质量比较敏感的影 像组学特征,并根据不同图像质量数据构建症状性斑 块预测模型,探讨 MR-VWI 的图像质量对影像组学分 析的影响。

材料与方法

1.一般资料

本研究的第一部分,回顾性搜集 2019 年 1 月至 2022 年 11 月在海军军医大学第一附属医院放射诊断 科行颅内动脉 MR-VWI 检查的病例,纳入标准:①因 技师扫描当时发现某个管壁成像序列的图像质量不佳 而当即重复扫描该序列的病例;②颅内动脉粥样硬化 狭窄者。排除标准:①非动脉粥样硬化性颅内动脉狭 窄;②检查前曾行颅内动脉开放性或介入手术治疗者。

本研究的第二部分,回顾性搜集 2020 年 8 月至 2021 年 7 月在海军军医大学第一附属医院放射诊断 科行颅内动脉 MR-VWI 检查的病例。纳入标准:①颅 内动脉粥样硬化狭窄者;②MR-VWI 发现一个或多个 动脉粥样硬化斑块,至少一个斑块位于大脑中动脉的 M1 段或 M2 段近端、或椎动脉颅内段或基底动脉且 斑块负荷>40%;③年龄≥18 岁。排除标准:①非动 脉粥样硬化性颅内动脉狭窄;②未见颅内动脉异常;③ 检查前曾行颅内动脉开放性或介入手术治疗者;④ MR 检查序列不全者,包括缺少同期的脑组织 DWI 序 列。据患者临床表现和脑组织 DWI 结果,把纳入的患 者分为有症状和无症状两类^[5],有症状的含义是 DWI 显示新发脑梗死且梗死灶对应责任斑块的供血区或脑 缺血病程≪12 周患者,无症状患者为 DWI 无新发梗 死,并且无脑缺血相关症状或病程>12 周。

2.仪器与方法

采用德国西门子 Skyra 3.0T MR 及 20 通道头颈 联合线圈进行扫描。三维(three dimensional, 3D)MR 管壁成像序列采用失状面空间和化学位移编码激发 (spatial and chemical-shift encoded excitation, SPACE)的 T₁WI 序列(以下简称 3D SPACE T₁WI), 参数:TR 900 ms, TE 5.6 ms, 视野 180 mm×180 mm, 矩阵 360×360,层厚 0.6 mm,层间距 0 mm,层数 208, 回波链长度 60,空间分辨率 0.5 mm×0.5 mm,扫描时 间7分41秒。3D SPACE T₁WI 的增强扫描前通过 肘静脉注入钆对比剂(Gadovist,1.5 mmol/kg)。二维 (two dimensional, 2D) MR 管壁成像采用黑血 T₂WI 快速自旋回波(turbo spin echo, TSE)序列(以下简称 2D TSE T₂WI),扫描方向垂直于单侧大脑中动脉的 水平段或基底动脉,参数:TR 2890 ms, TE 46 ms, 视 野 100 mm×100 mm,矩阵 256×320,层厚 2 mm,层 间距 0.5 mm, 层数 15, 回波链长度 20, 激励次数 6, 空 间分辨率 0.39 mm×0.31 mm,扫描时间 3 分 40 秒。 扫描顺序依次是 3D SPACE T₁WI 平扫、3D SPACE T₁WI 增强以及 2D TSE T₂WI 序列。

3.图像质量评价

据 MR-VWI 序列对斑块所在血管壁显示的清晰 程度,对图像质量进行评分(图 1):1分,无法分辨血管 壁;2分,血管壁可见,边缘明显模糊;3分,血管壁可 见,局部边缘轻中度模糊;4分,血管壁可见,边缘清晰 锐利,可能局部管壁结构轻微模糊。同一个斑块在不 同管壁成像序列的评分,取其中得分最低者作为该斑 块的最终得分。图像质量的评定由两位高年资放射科 医生(分别从事血管疾病影像研究 12 年和 10 年)独立 进行评分,若存在分歧由两位医生协商决定。

4.影像组学分析

斑块勾画与分类:利用开源软件 ITK-SNAP(version 3.8.0,www.itksnap.org)对 3 个 MR 序列分别勾 画目标血管的管腔和管壁轮廓,两个轮廓之间的区域 包含管壁和斑块、作为感兴趣区(region of interest, ROI)。对于有症状患者,选择症状侧的责任动脉最狭 窄一层进行勾画,归类为症状性斑块;若有症状患者的 非责任动脉也存在狭窄,亦选择该非责任动脉最狭窄 一层勾画,归类为无症状斑块。对于无症状患者,在颅 内动脉的最狭窄一层勾画,归类为无症状斑块。由一 位放射科医生勾画,另一位高年资放射科医生对勾画 的 ROI 进行审核和修正。

筛选不稳定特征:使用 PyRadiomics 开源库(version 3.0.1, https://github.com/AIM-Harvard/pyradiomics)在 MR-VWI 的 3D SPACE T₁WI 平扫和增 强序列以及 2D TSE T₂WI 序列中提取的斑块 ROI 进 行影像组学特征分析。在第一部分中通过比较同一例 患者同一次 MR-VWI 检查中同一个序列前后两次重 复扫描的斑块影像组学特征的原始值,若其差异有显 著性表示该特征不稳定,即该影像组学特征易受图像 质量的影响。本研究中拟纳入 100 个较常用的影像组 学特征用于后续特征提取,其中形状特征 9 个,一阶梯 度特征 18 个,纹理特征 73 个。

构建预测模型:首先,在第二部分中通过纳入的所 有数据(无论图像质量优劣)基于影像组学特征构建症 状性斑块的预测模型(模型 A)。然后,基于与模型 A 相同的图像数据,提前将所有不稳定特征剔除,再基于 所有稳定特征进一步构建症状性斑块的预测模型(模 型 B)。最后,在第二部分纳入的病例中剔除图像质量 较低者(1 分和 2 分),再次构建症状性斑块的预测模 型(模型 C)。

预测模型构建过程中的特征选择将采用 LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator)



图1 颅内 MR-VWI 图像质量评分图例。3D SPACE T₁WI 平扫对右侧大脑中动脉 M1 段血管壁的显示(黄色方框内),评分依次为 1~4 分。a) 1 分; b) 2 分; c) 3 分; d) 4 分。

回归算法,公式如下:

$$win_{w} \frac{1}{2m} \parallel Xw - y \parallel_{\frac{2}{2}}^{2} + \alpha \parallel w \parallel_{1}$$

$$(1)$$

其中 α 为正则化项系数, x 和 y 分别为输入特征 和金标准标签, m 为样本总量。该算法通过 L1 正则 化使得某些特征的权重为 0,从而达到特征稀疏化,实 现特征选择。本研究使用训练数据估计每个特征对应 的 LASSO 权重系数,权重系数的绝对值越高代表特 征重要性越高。本研究根据 LASSO 权重系数的绝对 值从高到低排序,优先选择 LASSO 系数绝对值高的 特征。

在数据集划分方面,本研究将使用 5 折交叉验证 的方法进行模型训练,即以 7:3 的比例将勾画的斑块 数据随机划分为训练集与测试集。本研究使用 SMOTE算法对训练集中的阳性样本进行插值,产生 额外的阳性样本以缓解类不平衡问题。另外,将随机 森林(random forest,RF)方法作为机器学习的分类算 法。

5.统计学分析

统计分析与作图采用 MedCalc 15.2.2(MedCalc Software Ltd.,Ostend, Belgium)和 Matplotlib (version 3.7.1, https://github.com/matplotlib/matplot-lib)进行。重复扫描影像组学特征的比较,据数据是 否服从正态分布,采用 Wilcoxon 符号秩和检验。基于 影像组学特征的症状性斑块的预测模型的诊断效能采 用受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve,ROC 曲线)进行分析,诊断效能高低主要通 过曲线下面积(area under ROC curve,AUC)体现,其 他表示诊断性能的指标包括准确度、灵敏度、特异度以 及 F1 分数。采用 Delong 检验比较 AUC 之间的差 异。P < 0.05 为差异具有统计学意义。

结 果

1.一般资料

第一部分,一共搜集到 24 例因图像质量不佳而即 刻重复扫描的病例,其中 3D SPACE T₁WI 的平扫和 增强序列重复扫描各 7 例,2D TSE T₂WI 序列重复扫 描有 10 例。第二部分,有 102 例患者的 120 个斑块纳 入本部分研究,其中无症状患者 51 例,有症状患者 51 例。无症状斑块 69 个,包含 51 例无症状患者的 51 个 无症状斑块和 18 例多发狭窄的有症状患者的 18 个无 症状斑块。症状性斑块 51 个,包含 33 例单发狭窄的 有症状患者的 33 个症状性斑块和 18 例多发狭窄的有 症状患者的 18 个症状性斑块。

2.图像质量评价

第一部分,7例 3D SPACE T₁WI 平扫序列中第

一次扫描 1 分至 4 分的数量依次是 1 个、2 个、2 个以 及 2 个;第二次扫描 1 分至 4 分的数量依次是 0 个、3 个、2 个以及 2 个。7 例 3D SPACE T₁WI 增强序列 中,第一次扫描 1 分至 4 分的数量依次是 4 个、2 个、1 个以及 0 个;第二次扫描 1 分至 4 分的数量依次是 3 个、2 个、0 个以及 2 个。10 例 2D TSE T₂WI 序列中, 第一次扫描 1 分至 4 分的数量依次是 1 个、3 个、3 个 以及 3 个;第二次扫描 1 分至 4 分的数量依次是 0 个、 0 个、6 个以及 4 个。

第二部分,69个无症状斑块中1分至4分的数量 依次是1个、2个、25个以及41个。51个症状性斑块 中1分至4分的数量依次是1个、3个、16个以及31 个。

3.筛选出的不稳定影像组学特征

比较同一个序列重复扫描的斑块影像组学特征, 发现 3D SPACE T₁WI 序列的形状特征和一阶梯度特 征均无明显差异(P > 0.05);纹理特征中有 1 个差异 有显著性(P = 0.027),不稳定特征占比为 1/73。3D SPACE T₁WI 增强序列的形状特征中有 3 个差异有 显著性(P < 0.05),不稳定特征占 3/9;一阶梯度特征 中有 2 个差异有显著性(P < 0.05),不稳定特征占 3/9;一阶梯度特征 17/73。2D TSE T₂WI 序列的形状特征中有 2 个差异 有显著性(P < 0.05),不稳定特征占 2/9;一阶梯度特 征中有 2 个差异有显著性(P < 0.05),不稳定特征占 2/18;纹理特征中 19 个差异有显著性(P < 0.05),不稳定特征占 2/18;纹理特征中 19 个差异有显著性(P < 0.05),不 稳定特征占 19/73(表 1)。

4.症状性斑块的预测模型

模型 A 的训练集有 84 个斑块,包含 37 个症状性 斑块和 47 个无症状斑块;测试集有 36 个斑块,包含 14 个症状性斑块和 22 个无症状斑块。测试集的 AUC 为 0.708 ± 0.022 (图 2,表 2)。模型 A 筛选出的 对症状性斑块有诊断价值的影像组学特征有 8 个,与 第一部分筛选出的易受图像质量影像的不稳定特征比 对,其中有 3 个特征是不稳定特征,分别是 3D SPACE T₁WI 增强序列的形状特征中的 T1C_original_ shape2D_MaximumDiameter、2D TSE T₂WI 序列的 纹理特征中的 T2_original_glcm_DifferenceAverage 以及 T2_original_ngtdm_Contrast。

模型 B 同样基于第二部分纳入的全部图像,即训 练集和测试集均与模型 A 相同,但剔除了所有不稳定 特征,得到测试集的 AUC 为 0.740±0.007(图 2,表 2),模型 B 和模型 A 的 AUC 差异无统计学意义(P= 0.480),筛选出的对症状性斑块有诊断价值的影像组 学特征有 7 个。

在第二部分纳入的图像中剔除图像质量较差。

表1 通过比较重复扫描的斑块影像组学特征筛选的不稳定特征

MR 序 列/ 特征类型	不稳定 特征比例	不稳定特征名称	Wilcoxon 检 验的统计量	P 值
T1				
形状	0% (0/9)	NA	NA	NA
一阶	0% (0/18)	NA	NA	NA
纹理	1.37% (1/73)	original glcm JointEnergy	4	0.027
T1C				
形状	33.33% (3/9)	original shape2D PixelSurface	5	0.020
		original shape2D MeshSurface	5	0.020
		original shape2D MaximumDiameter	7	0.037
一阶	11.11% (2/18)	original firstorder Entropy	0	0.002
		original firstorder Uniformity	3	0.010
纹理	23.29% (17/73)	original glszm ZoneEntropy	0	0.002
		original glrlm RunEntropy	0	0.002
		original glcm DifferenceEntropy	0	0.002
		original gldm DependenceNonUniformity	0	0.002
		original glrlm GravLevelNonUniformityNormalized	1	0.004
		original glcm SumEntropy	1	0.004
		original glszm GravLevelNonUniformityNormalized	1	0.004
		original gldm DependenceEntropy	2	0.006
		original glcm IointEntropy	2	0.006
		original glcm_JointEnergy	2	0.006
		original glszm SizeZoneNonUniformity	3	0.010
		original glcm MaximumProbability	3	0.010
		original glcm ClusterShade	4	0.014
		original glrlm RunLengthNonUniformity	4	0.014
		original glcm DifferenceVariance	6	0.027
		original notdm Complexity	6	0.027
		original glcm Contrast	8	0.049
Т2		• <u>8</u> •••		
形状	22,22% (2/9)	original shape2D Sphericity	3	0.010
-		original shape2D PerimeterSurfaceRatio	4	0.014
一阶	11.11% (2/18)	original firstorder Range	7	0.037
		original firstorder Variance	7	0.037
纹理	26.03% (19/73)	original glcm DifferenceVariance	3	0.010
		original glcm DifferenceAverage	5	0.020
		original glcm Contrast	5	0.020
		original gldm SmallDependenceHighGravLevelEmphasis	6	0.027
		original glrlm GravLevelVariance	7	0.037
		original glszm GravLevelVariance	7	0.037
		original glcm ClusterProminence	7	0.037
		original glcm SumSquares	7	0.037
		original glszm SmallAreaHighGravLevelEmphasis	7	0.037
		original gldm GravLevelVariance	7	0.037
		original ngtdm Complexity	7	0.037
		original glcm ClusterTendency	7	0.037
		original ngtdm Contrast	7	0.037
		original glcm Autocorrelation	8	0.049
		original glrlm HighGrayLevelRunEmphasis	8	0.049
		original glrlm LongRunHighGravLevelEmphasis	8	0.049
		original glrlm ShortRunHighGravLevelEmphasis	8	0.049
		original glszm HighGrayLevelZoneEmphasis	8	0.049
		original_gldm_HighGrayLevelEmphasis	8	0.049

注:T1 代表 3D SPACE T₁WI 管壁成像序列,T1C 代表 3D SPACE T₁WI 增强管壁成像序列,T2 代表 2D TSE T₂WI 管壁成像序列,NA 代表该 项无信息。

表 2 不同预测模型分类结果

模型名称 (特征数)	AUC	准确度	灵敏度	特异度	F1 分数
模型 A(8)	0.708 ± 0.022	0.713 ± 0.013	0.476 ± 0.067	0.864 ± 0.064	0.561 ± 0.022
模型 B(7)	0.740 ± 0.007	0.769 ± 0.026	0.810 ± 0.034	0.742 ± 0.021	0.731 ± 0.030
模型 C(8)	0.758 ± 0.013	0.755 ± 0.037	0.667 ± 0.131	0.810 ± 0.140	0.674 ± 0.010



图 2 根据 3 种方法构建基于影像组学特征的症状性 斑块的预测模型 ROC 图。模型 A 是基于全部病例数 据建立的预测模型;模型 B 也是基于全部病例数据, 但是剔除了所有不稳定影像组学特征;模型 C 是剔除 了低质量图像后建立的预测模型。

分的 2 个,2 分的 5 个)的 7 个斑块,构建模型 C,其训练集有 79 个斑块,包含 34 个症状性斑 块和 45 个无症状斑块;测试集有 34 个斑块,包 含 13 个症状性斑块和 21 个无症状斑块。测试 集的 AUC 为 0.758 ± 0.013 (图 2,表 2),模型 C 预测颅内症状性斑块的 AUC 高于模型 A(P=0.002)和模型 B(P=0.005)。模型 C 筛选出的 对症状性斑块有诊断价值的影像组学特征有 8 个,与第一部分筛选出的不稳定特征比对,这 些特征均为稳定特征。模型 A、模型 B 和模型 C 所提取的影像组学特征名称及其重要性排序 分别见图 3~5。

讨 论

基于高场强(3.0 T 及以上)MRI 的高分辨 MR-VWI 可以检测颅内狭窄性和非狭窄性血 管壁病变,过去十余年越来越多地用于颅内动 脉粥样硬化疾病的研究,并逐步应用于临床诊 断,现已成为最先进的无创性显示活体颅内斑 块的检测手段^[6-10]。通过 MR-VWI 技术可以 鉴别颅内动脉狭窄的病因,识别斑块形态学特 征,量化斑块负荷和重构模式,判别斑块位置 及其与分支或穿支开口的关系等,对脑卒中进 行病因检测和危险程度分层,对指导血管内治 疗或药物治疗随访等方面具有重要的参考价 值^[11-13]。然而,由于颅内动脉管径及其斑块相 对微小,受限于目前的成像分辨率和技术方 法,对斑块成分和形态的解释比较主观(难以获得病理 印证),斑块的量化分析也需要经验丰富的医生才能确 保测量的准确性,使得对颅内斑块的易损性评估具有 挑战性,迫切需要一种客观可重复的定量方法来评估 症状性颅内斑块的特征。

影像组学运用自动化数据特征提取算法,从医学 影像中提取并量化海里特征数据,进一步对其进行技 术分析,从而对临床决策做出指导,被广泛地应用于肿 瘤诊断、分期和疗效预测领域^[14]。近年来,影像组学 也逐步应用于动脉粥样硬化疾病的研究。Shi等^[15]基 于 2D MR-VWI的斑块结构影像组学分析能够准确区 分急性症状性和无症状的基底动脉斑块;随后该团队 基于 2D 管壁成像技术对颅内大脑中动脉和基底动脉 的粥样斑块进行研究^[5],发现斑块的直方图分析中信 号强度的离散度可以有效地预测颅内责任斑块。何建 风等^[16]对颅内前、后循环动脉粥样硬化斑块的研究发 现两组的危险因素、常规 MR 管壁特征及影像组学特



图 3 模型 A 提取的 8 个影像组学特征及其重要性排序,与 第一部分筛选出的不稳定特征对比发现其中有 3 个不稳定特 征(红字)。图 4 模型 B 提取的 7 个影像组学特征及其重要 性排序。 图 5 模型 C 提取的 8 个影像组学特征及其重要 性排序。T1:3D SPACE T₁WI 管壁成像序列(蓝柱),T1C: 3D SPACE T₁WI 增强管壁成像序列(橙柱),T2:2D TSE T₂WI 管壁成像序列(绿柱)。

征存在显著差异,且影像组学的特征差异较常规影像 特征更多见。Tang等^[17]通过对 3D 磁共振管壁成像 的斑块影像组学研究,发现影像组学特征有助于预测 症状性颅内动脉粥样硬化狭窄患者的卒中复发。最 近,李红霞等^[18]基于 3D MR-VWI 的颅内斑块影像组 学模型可有效预测混合型缺血性卒中机制,研究提示 混合型卒中机制患者的颅内斑块具有更高的强化比 率。张归玲等^[19]研究发现影像组学模型在识别大脑 中动脉责任斑块的效能高于临床影像学特征,尤其是 增强后 3D MR-VWI 影像组学模型较平扫模型在识别 责任斑块方面的效果更好。与传统视觉影像特征相 比,影像组学对挖掘颅内粥样斑块的深度信息具有重 要价值,这为研究脑血管病发病机制及治疗策略提供 了新的方法与思路^[4]。

影像组学的处理流程可以概括为搜集医学影像数 据、根据特定任务在图像中勾画 ROI、在 ROI 内提取 大量特征并降维、构建预测模型并进行分类预测。不 难假设,如果提供给影像组学分析的医学图像质量不 佳,那么构建的预测模型恐怕是不准确的。临床实践 中由于成像设备硬件的参数、成像序列的设计以及被 扫描者的依从性等多种因素,皆对图像质量造成影响。 对颅内动脉 MR-VWI 图像质量的严格控制,是放射医 生和临床医生对脑血管疾病做出正确诊断和治疗决策 的有力保障[7];特别是在影像组学和人工智能时代,良 好的图像质量也是开展精准影像研究的前提。本研究 通过对比两次图像质量不同的管壁图像数据,筛选出 了斑块影像组学的不稳定特征:从不稳定特征的分布 上看与 3D T₁WI 平扫管壁序列相比, 3D T₁WI 增强 和 2D T₂WI 序列的影像组学不稳定特征占比更多,可 能是后两个序列的影像组学特征更易受到图像质量的 影响,也可能是扫描顺序靠后和注射对比剂后更易出 现运动伪影等导致图像质量下降所致。在预测颅内症 状性斑块方面,本研究进一步证实了图像质量对影像 组学预测模型的影响:如果不考虑图像质量的因素,预 测模型的诊断效能最低:如果剔除了不稳定特征构建 预测模型,则诊断效能有所提高;如果一开始就基于较 高图像质量数据(排除较低图像质量数据)构建预测模 型,则其诊断效能可进一步提高。另外,基于较高图像 质量的预测模型提取的影像组学特征都是稳定的,且 根据重要性系数排名前三位的特征均来自 3D 管壁成 像序列。这可能提示与 2D T₂WI 管壁成像相比,在确 保图像质量的前提下,高分辨 3D T₁WI 的平扫和增强 管壁序列更能够满足颅内斑块影像组学分析的需求: 巧合的是,这也与 MR-VWI 的序列发展趋势相契合, 即覆盖较大范围(全颅及头颈联合扫描)的 3D 黑血管 壁成像逐渐代替小范围(针对大脑中动脉水平段或基

底动脉扫描)的2D管壁成像序列。

本研究有 3 个方面的局限性:①本研究是单中心 回顾性研究,样本量相对较小,所有患者均在同一台 MR 仪扫描,因此所得到的不稳定的影像组学特征可 能不具有普适性。②对于较高图像质量(3 分)和最高 图像质量(4 分)分别在预测颅内症状性斑块的差异方 面,本研究没有进一步构建预测模型。主要原因是相 关亚组的样本量很小,推测得到的结果不可靠。③本 研究重点关注于图像质量对影像组学分析的影响,没 有对患者的临床和传统影像学指标纳入分析。已有研 究^[13,15-17]证明结合临床信息、影像表现和影像组学特 征共同构建的预测模型的效能最佳。

综上所述,良好的图像质量是 MR-VWI 准确诊断 和量化分析的基石,本研究证明颅内斑块影像组学分 析需要严格控制图像质量的要求是合理的。未来随着 磁共振软硬件系统和管壁成像序列的发展,加之人工 智能技术对图像质量的优化,相信颅内动脉粥样硬化 疾病的精准诊断和影像组学分析能力将会进一步提 升。

参考文献:

- [1] Hou Z, Jing J, Yan L, et al. New diffusion abnormalities following endovascular treatment for intracranial atherosclerosis[J]. Radiology, 2023, 307(4): e221499.
- [2] Song JW, Pavlou A, Burke MP, et al. Imaging endpoints of intracranial atherosclerosis using vessel wall MR imaging: a systematic review[J].Neuroradiology,2021,63(6):847-856.
- [3] Huang J.Jiao S.Chen Y. et al. Efficacy of medical treatment and balloon angioplasty for severe intracranial atherosclerosis: a highresolution MR vessel wall imaging[J]. Eur Radiol, 2023, 33(4): 2478-2488.
- [4] 彭林,查云飞.动脉粥样硬化影像组学研究进展[J].中华放射学杂志,2020,54(3):252-255.
- [5] Shi Z, Li J, Zhao M, et al. Quantitative histogram analysis on intracranial atherosclerotic plaques: a high-resolution magnetic resonance imaging study[J].Stroke,2020,51(7):2161-2169.
- [6] Lindenholz A, van der Kolk AG, Zwanenburg JJM, et al. The use and pitfalls of intracranial vessel wall imaging: how we do it[J]. Radiology.2018.286(1):12-28.
- [7] 中华医学会放射学分会 MR 学组.颅内 MR 血管壁成像技术与应 用中国专家共识[J].中华放射学杂志,2019,53(12):1045-1059.
- [8] 中国医师协会神经介入专业委员会.颅内动脉粥样硬化性狭窄影 像学评价专家共识[J].中国脑血管病杂志,2021,18(8):575-584.
- [9] 史张,刘崎,滕忠照,等.动脉粥样硬化成像技术的应用进展[J].放 射学实践,2022,37(5):638-643.
- [10] 刘丁琦,赵登玲,陈晓晖,等.基于 VW-MRI 的颅内动脉粥样硬化 斑块与胚胎型大脑后动脉的相关性研究[J].放射学实践,2022, 37(11):1347-1352.
- [11] Lindenholz A, van der Kolk AG, van der Schaaf IC, et al. Intracranial atherosclerosis assessed with 7T MRI: evaluation of patients with ischemic stroke or transient Ischemic attack[J].Ra-

diology,2020,295(1):162-170.

- [12] Wang H.Shen L.Zhao C.et al. The incomplete circle of Willis is associated with vulnerable intracranial plaque features and acute ischemic stroke[J].J Cardiovasc Magn Reson, 2023, 25(1):23.
- [13] Huang J.Jiao S.Chen Y.et al.Efficacy of medical treatment and balloon angioplasty for severe intracranial atherosclerosis: a highresolution MR vessel wall imaging[J].Eur Radiol, 2023, 33(4): 2478-2488.
- [14] Hou M, Zhou L, Sun J. Deep-learning-based 3D super-resolution MRI radiomics model: superior predictive performance in preoperative T-staging of rectal cancer[J]. Eur Radiol, 2023, 33(1): 1-10.
- [15] Shi Z, Zhu C, Degnan AJ, et al. Identification of high-risk plaque features in intracranial atherosclerosis: initial experience using a

radiomic approach[J].Eur Radiol,2018,28(9):3912-3921.

- [16] 何建风,刘磊,吕晋浩,等.颅内前后循环动脉粥样硬化斑块的影像组学特征:多中心前瞻性研究[J].协和医学杂志,2019,10(1): 53-58.
- [17] Tang M, Gao J, Ma N, et al. Radiomics nomogram for predicting stroke recurrence in symptomatic intracranial atherosclerotic stenosis[J]. Front Neurosci, 2022, 16:851353.
- [18] 李红霞,刘嘉,程晓青,等.基于高分辨 MRI 颅内动脉斑块影像组 学预测混合型缺血性卒中机制[J].磁共振成像,2023,14(3):6-11.27.
- [19] 张归玲,方纪成,王振熊,等.三维高分辨率 MR 血管壁成像鉴别 症状性大脑中动脉粥样硬化责任斑块的影像组学研究[J].中华 放射学杂志,2023,57(1):27-33.

(收稿日期:2023-06-12 修回日期:2023-09-21)

《放射学实践》连续3年入选 《科技期刊世界影响力指数(WJCI)报告》



近日,《科技期刊世界影响力指数(WJCI)报告(2022)》(简称《WJCI报告》)正式发布,《放射学实践》 杂志再度入选。这是自 2020 年《WJCI报告》首次发布以来,《放射学实践》连续第三年入选,既是对《放 射学实践》办刊质量、学术水平和价值的充分肯定,也为期刊的宣传和发展提供了更广阔的舞台。

《WJCI报告》是由中国科学技术信息研究所、《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、清华 大学图书馆、万方数据有限公司、中国高校科技期刊研究会、中国科学技术期刊编辑学会联合研制的世 界科技期刊评价报告,于 2020年首次发布。《WJCI报告》旨在建立新的期刊评价系统,从全球6万余 种活跃科技期刊中精选1.5万种具有地区代表性、学科代表性的重要学术期刊,通过研制发布"科技期 刊世界影响力WJCI指数",对其在全球科技创新活动中起到的出版传播效果和服务作用进行科学评 价。与其他评价系统相比,WJCI指数更加客观反映了以中国为代表的新兴科技大国期刊、非英语期 刊、新兴前沿学科期刊对全球科技创新的真实贡献,对推动世界科技期刊公平评价、同质等效使用具有 重要参考作用。

经严格遴选,《WJCI报告》2022版收录全球科技期刊15022种,其中中国科技期刊1634种,中文期刊1262种。