基于多模态超声的决策树诊断模型 对颈动脉斑块易损性的诊断价值

李 宁 张树华 唐 姗 解婷婷 刘 阳 阚艳敏 刘爱东

摘要目的构建基于多模态超声的缺血性脑卒中决策树诊断模型,为临床对颈动脉易损斑块的早期识别提供新的诊断 思路。方法回顾性选取2020年1月~2022年2月于华北理工大学附属医院住院的颈动脉斑块患者113例,其中症状组60 例、非症状组53例,所有患者均行常规超声(conventional ultrasound, CUS)、超声造影(contrast – enhanced ultrasound, CEUS)及剪 切波弹性(shear wave elasticity, SWE)检查,并记录超声特征。比较两组患者超声特征的差异;分别构建基于 CUS、CEUS、SWE 及 多模态超声的缺血性脑卒中决策树诊断模型,采用10折交叉验证法对诊断模型进行测试,并应用准确性、敏感度、特异性、阳性 预测值及阴性预测值对其诊断效能进行评价。结果 两组间斑块回声、是否有极低回声区、是否有钙化、斑块中部及远心段增强 级别、斑块近心段,中部及远心段杨氏模量值比较,差异均有统计学意义(P均<0.05);分别构建基于 CUS、CEUS、SWE 及多模态 超声的缺血性脑卒中诊断模型,10折交叉验证法显示误判率分别为34.5%、44.2%、26.5%和12.2%;对模型的诊断效能进行评价,其中基于多模态超声所建的缺血性脑卒中决策树诊断模型诊断准确性明显高于其他模型,为92.0%,其敏感度、特异性、阳性 预测值和阴性预测值分别为90.7%、94.3%、15.91和0.09。结论 应用多模态超声可以更准确地评估颈动脉斑块的易损性;通 过构建基于多模态超声的缺血性脑卒中的决策树诊断模型,可以有效提高易损斑块的检出率,斑块中部的超声特征更能体现其 稳定性。

关键词	颈动	脉斑块	易损性	决策树	多模态声	翌声 缺血性	脑卒中			
中图分类	き号	R445.1		文献标识码	冯 A	DOI	10.11969/j.issn	. 1673-548X.	2023.0	07.026

The Diagnostic Value of Decision Tree Diagnostic Model Based on Multimodal Ultrasound for the Vulnerability of Carotid Artery Plaques. LI Ning, ZHANG Shuhua, TANG Shan, et al. Department of Ultrasound, Affiliated Hospital of North China University of Technology, Hebei 063000, China

Abstract Objective To construct the decision tree diagnosis model of ischemic stroke based on multimodal ultrasound technology, and to provide a new diagnostic idea for the early identification of vulnerable carotid plaque. Methods A total of 113 patients with carotid plaque hospitalized in Affiliated Hospital of North China University of Technology from January 2020 to February 2022 were retrospectively selected, and they were divided into symptom group (n = 60) and non - symptom group (n = 53). All the patients underwent conventional ultrasound (CUS), contrast - enhanced ultrasound (CEUS) and shear wave elasticity (SWE), and the ultrasonic parameters were recorded. The differences of ultrasonic characteristics between the two groups were compared. Decision tree diagnosis mode for ischemic stroke based on CUS, CEUS, SWE and multimodal ultrasound were constructed respectively. The diagnostic model was tested by 10 – fold cross validation method, and the accuracy, sensitivity, specificity, positive predictive value and negative predictive value were used to evaluate its diagnostic efficacy. Results There were significant differences in plaque echo, very low echo area, calcification, enhancement level of central and distal segments of plaque, Young's modulus of proximal, central and distal segments of plaque between the two groups (P < 0.05). CUS, CEUS, SWE and multimodal ultrasound were used to construct the diagnostic models of ischemic stroke, and 10 - fold cross validation method showed that the misjudgment rates were 34.5%, 44.2%, 26.5% and 12.2%, respectively. The diagnostic efficiency of the model was evaluated, the diagnostic accuracy of the the multimodal ultrasound based decision tree diagnostic model for ischemic stroke was significantly higher than that of other diagnostic models, and its value was 92.0%. The sensitivity, specificity, positive predictive value and negative predictive value were 90.7%, 94.3%, 15.91 and 0.09, respectively. Conclusion The application of multimodal ultrasound can more accurately evaluate the vulnerability of carotid plaque. By constructing the decision tree diagnosis model of

通信作者: 阚艳敏, 电子信箱: 920983050@ qq. com

基金项目:2020年河北省唐山市科学技术研究与发展计划项目(20150207C)

作者单位:063000 唐山,华北理工大学附属医院超声科(李宁、张树华、唐姗、解婷婷、刘阳、阚艳敏);300000 天津市天津医院病理科(刘爱东)

・论 著

ischemic stroke based on multimodal ultrasound, the detection rate of vulnerable plaque can be effectively improved, and the ultrasonic characteristics in the middle of the plaque can better reflect its stability.

Key words Carotid plaque; Vulnerability; Decision tree; Multimodal ultrasound; Ischemic stroke

脑卒中是我国居民死亡的首要病因,而动脉粥样 硬化易损斑块的破裂则是导致脑卒中的主要原因之 一,因此,尽早识别斑块的易损性至关重要^[1,2]。超 声是颈动脉斑块的主要检查方法,其中常规超声 (conventional ultrasound, CUS)、超声造影(contrast – enhanced ultrasound, CUS)及剪切波弹性(shear wave elasticity, SWE)技术等可以从斑块负荷、斑块 硬度和成分、斑块内新生血管等多角度全面评估斑块 的易损性^[3]。本研究旨在通过构建基于多模态超声 的缺血性脑卒中决策树诊断模型,并对其诊断效能进 行评价,为临床对颈动脉易损斑块的早期识别提供新 的诊断思路。

对象与方法

1.研究对象:回顾性选取 2020 年 1 月~2022 年 2 月于华北理工大学附属医院住院的颈动脉斑块患 者 113 例,其中男性 80 例,女性 33 例,患者年龄 43~ 78 岁,平均年龄为 61.62 ± 8.60 岁,分为症状组(n = 60)与非症状组(n = 53)。纳入标准:①症状组患者 为近 6 个月内有斑块同侧缺血性脑卒中症状(一侧面 部或肢体无力或麻木,语言障碍等),并经 CT 或 MRI 检查证实为单侧前循环供血区缺血性梗死灶发作 者^[4,5];②CUS 检查斑块厚度≥2.5mm 者;③斑块平 行于颈动脉长轴生长且能配合完成 CEUS 检查及 SWE 检查者^[6-8]。排除标准:①因斑块内钙化、患者 配合差等原因,超声图像显示效果不佳者;②对鸡蛋、 牛奶等过敏无法行 CEUS 者;③患者本人或家属拒绝 参加此研究者。

2. 临床资料的收集:记录患者的年龄、性别、体重 指数(body mass index, BMI)、是否吸烟及饮酒,是否 患有高血压、糖尿病、高脂血症、冠心病,是否有脑血 管疾病家族史。

3. 超声数据的收集:应用日本佳能 Aplio i800 超 声仪,探头 i18LX5,频率(5~18) MHz。造影剂使用 意大利 Bracco 公司生产的声诺维(Sono Vue)。

CUS 检查:受检者取平卧位,探头自颈总动脉起 始处向上横切及纵切连续扫查颈动脉全程,选择最厚 的可疑责任斑块用于观察和分析,于斑块清晰显示时 冻结图像,在斑块长轴切面分为近心段、中部、远心段 (图1)。记录斑块位置(以斑块大部分所处位置为斑 块定位,包括颈总动脉、颈总动脉分叉、颈内动脉)、 长度、厚度、回声(均质低回声、均质等回声、不均质 回声)、钙化(有、无)、极低回声区(有、无)、溃疡(有、 无)等。易损斑块的 CUS 特征为溃疡型斑块、斑块内 部具有低回声或低至无回声特征^[9]。



图1 斑块长轴切面分段示意图

CEUS检查:经肘静脉团注 1.6ml 声诺维,继以 5.0ml 0.9%氯化钠溶液快速冲注,实时观察并连续 存储图像,陆续补充造影剂 0.8ml 保证浓度。对目标 斑块进行缓慢匀速的横、纵切面扫查,分别记录斑块 近心段、中部、远心段的增强特点。增强级别判读标 准:①0级:斑块内无增强;②1级:斑块内见点状增 强;③2级:斑块见多个点状或 1~2条线样增强;④ 3级:斑块内见大面积线状增强,贯穿或大部分贯穿 斑块^[10]。易损斑块的 CEUS 特征为动态移动的高 回声光点从外膜到斑块内,提示斑块内存在新生血 管^[9]。

SWE 检查:于短轴斑块最厚处切换至长轴并启 动剪切波模式,嘱患者屏气,保持图像清晰且探头不 施压,待图像稳定后冻结图像,在斑块长轴方向分段 测量杨氏模量值(近心段、中部、远心段)。同一切面 测量 3 次,取平均值。斑块杨氏模量值越小,质地越 软,易损性越高^[7]。

所有操作均由一名高年资医生独立完成,同时临 床资料的收集由另一名医生独立完成。本研究通过 华北理工大学附属医院医学伦理学委员会批准(伦 理学审批号:2020155)。

4. 统计学方法:应用 SPSS 26.0 统计学软件对数 据进行统计分析。计量资料以均数 ± 标准差(\bar{x} ± s) 表示,组间比较采用独立样本 t 检验或近似 t 检验;计 数资料以例数(百分比)[n(%)]表示,组间比较采 用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。采用决策树 χ^2 自 动交互检测算法建立预测缺血性脑卒中模型,并对 其诊断效能进行评价,以 P < 0.05为差异有统计学 意义。 结 果

基线资料比较:两组患者在年龄、体重指数
 (body mass index, BMI)、性别,是否吸烟、饮酒,糖尿病、高血压、高脂血症、冠心病及家族史方面比较,差异均无统计学意义(P均>0.05),详见表1。

表1 两组患者的基线资料比较 $[n(\%), x \pm s]$

项目	症状组(n=60)	非症状组(n=53) t/χ^2	Р
年龄(岁)	62.50 ± 10.01	61.23 ± 7.86	0.745	0.458
$BMI(kg\!/m^2)$	24.51 ± 3.56	25.18 ± 4.07	-0.937	0.351
性别			0.398	0.528
男性	44(73.3)	36(67.9)		
女性	16(36.4)	17(32.1)		
吸烟			3.491	0.061
是	43(71.7)	29(54.7)		
否	17(28.3)	24(45.3)		
饮酒			0.296	0.587
是	21(35.0)	16(30.2)		
否	39(65.0)	37(69.8)		
高血压			3.368	0.066
是	33(55.0)	20(37.7)		
否	27(45.0)	33(62.3)		
糖尿病			1.583	0.208
是	12(20.0)	16(30.2)		
否	48(80.0)	37(69.8)		
高脂血症			2.977	0.084
是	9(15.0)	15(28.3)		
否	51(85.0)	38(71.7)		
冠心病			-	0.212*
是	5(8.3)	1(1.9)		
否	55(91.7)	52(98.1)		
家族史			-	0.331 *
是	7(11.7)	3(5.7)		
否	53(88.3)	50(94.3)		

*采用 Fisher 确切概率法

2. 超声参数比较:(1)CUS 参数比较:两组患者 在斑块回声、是否有极低回声区、是否有钙化方面差 异均有统计学意义(P均<0.05);在斑块的长度、厚 度、位置、是否有溃疡方面比较,差异均无统计学意义 (P均>0.05),详见表 2。(2)CEUS 参数比较:两组 患者在斑块中部及远心段增强级别方面比较,差异均 有统计学意义(P均<0.05);在近心段增强级别方面 比较,差异无统计学意义(P>0.05),详见表 3。(3) SWE 参数比较:两组患者在斑块近心段、中部、远心 段杨氏模量值方面比较,差异均有统计学意义(P 均<0.05),详见表 4。

表 2 两组患者的 CUS 参数比较 $[n(\%), \overline{x} \pm s]$

项目	症状组(n=60)	非症状组(n=53)	t/χ^2	Р
厚度(mm)	2.93 ±1.15	3.02 ± 1.03	-0.462	0.645
长度(mm)	19.25 ± 7.60	17.87 ± 5.13	1.116	0.267
位置			0.354	0.838
颈总动脉	15(25.0)	12(22.6)		
颈总动脉分叉	39(65.0)	37(69.8)		
颈内动脉	6(10.0)	4(7.6)		
回声			10.741	0.005
均质低回声	11(18.3)	1(1.9)		
均质等回声	13(21.7)	7(13.2)		
不均质回声	36(60.0)	45(84.9)		
溃疡			-	0.059 *
有	5(8.3)	0(0)		
无	55(91.7)	53(100.0)		
极低回声			25.139	< 0.001
有	25(41.7)	1(1.9)		
无	35(58.3)	52(98.1)		
钙化				
有	36(60.0)	42(79.2)	4.875	0.041
无	24(40.0)	11(20.8)		

*.采用 Fisher 确切概率法

表 3 两组患者的 CEUS 参数比较[n(%)]

增强级别	症状组(n=60)	非症状组(n=53)	χ^2	Р
近心段			6.717	0.078
0级	3(5.0)	10(18.9)		
1级	13(21.7)	8(15.1)		
2级	35(58.3)	31(58.5)		
3级	9(15.0)	4(7.5)		
中部			23.126	< 0.001
0级	1(1.6)	8(15.1)		
1级	10(16.7)	15(28.3)		
2级	31(51.7)	29(54.7)		
3级	18(30.0)	1(1.9)		
远心段			12.661	0.005
0级	3(5.0)	12(22.6)		
1级	12(20.0)	9(17.0)		
2级	29(48.3)	28(52.8)		
3级	16(26.7)	4(7.6)		

表 4 两组患者的 SWE 参数比较 $(\bar{x} \pm s)$

杨氏模量值	症状组(n=60)	非症状组(n=53)	t^*	Р
近心段	24.57 ± 19.00	46.49 ± 26.57	-4.985	< 0.001
中部	27.35 ± 16.54	48.45 ± 23.58	-5.438	< 0.001
远心段	31.25 ± 18.60	45.88 ± 22.51	-3.734	< 0.001

*. 采用近似 t 检验

3. 缺血性脑卒中决策树诊断模型的构建及诊断 效能评价:(1)决策树诊断模型构建:以超声参数为 自变量,以是否为缺血性脑卒中为因变量,构建基于 CUS、CEUS、SWE 及多模态超声的缺血性脑卒中模 型,其根节点分别为斑块内是否有极低回声区、斑块 中部增强级别、斑块中部杨氏模量值、斑块中部杨氏 模量值;10 折交叉验证法显示其误判率分别为 34.5%、44.2%、26.5%和12.2%,详见图2~图5。

· 132 ·



图 2 基于常规超声决策树模型



图 3 基于超声造影决策树模型



图 4 基于剪切波弹性决策树模型

(2)决策树模型诊断效能评价:对决策树模型的诊断 效能进行评价,结果显示,基于多模态超声所建立模 型的综合诊断效能最好,详见表5。

讨 论

决策树是一种简单且应用广泛的预测方法,该方 法不仅解决了传统回归模型中不能处理非线性和高



图 5 基于多模态超声决策树模型

表 5 基于单一及多模态超声所建决策树 模型的诊断效能评价

而日	准确性	敏感度	特异性	阳性	阴性
坝日	(%)	(%)	(%)	预测值	预测值
CUS	68.1	41.7	98.1	21.95	0.59
CEUS	61.9	30.0	98.1	15.78	0.71
SWE	79.6	76.7	83.0	4.51	0.28
多模态超声	92.0	90.7	94.3	15.91	0.09

度相关数据的难题,还同时考虑了缺失值,避免了部 分传统参数检验的局限性,可以有效提高模型的预测 能力,为临床疾病的诊断及鉴别诊断提供依据^[11,12]。 目前关于应用决策树模型对颈动脉斑块易损性进行 识别的研究较少,本研究拟通过建立基于单一及多模 态超声技术的缺血性脑卒中决策树预测模型,为临床 诊断及管理提供依据。

本研究中症状组斑块的 CUS 特征主要表现为不 均质回声、斑块内含有极低回声区及钙化,与王秀玲 等^[13]和 Hutcheson 等^[14]的研究一致,主要病理基础 为易损斑块内富含脂质成分并存在坏死核心,存在于 纤维帽部分的钙化引起纤维帽的破裂风险增加,诱发 斑块出血。国内外研究表明,应用 CEUS 识别颈动脉 斑块中的新生血管数量并进行分级,可以精准识别易 损斑块[8,15]。本研究中症状组与非症状组斑块超声 造影级别比较,差异有统计学意义,主要原因为随着 颈动脉内中膜的增厚直至斑块的形成,其耗氧量逐 渐增加,生理性新生血管无法维持斑块内的氧供, 诱发病理性新生血管大量生成,并因此加剧了斑块 内炎性细胞因子的循环、脂质核心的扩张及蛋白酶 活化,导致斑块内出血及破裂风险增加。SWE 通过 检测其在组织中的传播速度,并得到杨氏模量值反 映组织的硬度,组织硬度越大,其传播速度就越快。 本研究中症状组斑块杨氏模量值明显小于非症状 组,表明易损斑块组硬度较低,分析其原因为易损 斑块内新生血管、炎性细胞及脂质成分较多,组织 成分相对疏松^[16]。

决策树的原理为基于某种规则建立用于分类的 一种树结构,其中根节点作为树的一级分支,起着至 关重要的作用^[17]。基于此,本研究中斑块内是否有 极低回声区、斑块中部增强级别、斑块中部杨氏模量 值、斑块中部杨氏模量值在易损斑块的鉴别诊断中发 挥着重要作用,其中斑块中部超声特征的频次最高, 可以作为优先观察指标,分析其原因为:斑块内新生 血管主要是在低氧刺激下由外膜的滋养血管芽生而 来,随着时间的延长逐渐向血管内膜下生长,并随着 斑块厚度的增加而增多,且本研究所选取斑块最厚处 均大部分位于斑块中部,因此斑块中部的超声特征可 以客观地反映斑块整体的稳定性^[18]。这与王练 妹^[19]的研究结果"斑块内应力随高度而增大,斑块脱 落概率也相应增大"相符。同时本研究进一步证实 了 SWE 可以有效评估颈动脉斑块易损性,与既往报 道一致^[20]。另外,本研究还对决策树模型的诊断效 能进行评价,结果显示,基于多模态超声所建模型的 综合诊断效能最好,表明基于多模态超声所建模型通 过多种超声技术间的优势互补,对于易损斑块的鉴别 诊断更胜一筹^[21]。

本研究存在以下局限性:①样本量较小,今后将 扩大样本量进行研究;②缺少斑块病理对照,在今后 的工作中将进一步完善。

综上所述,本研究通过构建基于多模态超声的缺 血性脑卒中的决策树诊断模型,可以有效提高易损斑 块的检出率,并为临床管理提供理论依据。

参考文献

- GBD 2019 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990 - 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 [J]. Lancet Neurol, 2021, 20(10): 795 - 820
- 2 陈静,韩越,练丹,等.颈动脉超声指标在脑卒中高危人群筛查 中的应用价值及脑卒中危险因素分析[J].重庆医科大学学报, 2019,44(9):1216-1219
- 3 李怡,何文.颈动脉粥样硬化易损斑块超声标志与脑血管疾病关系的研究进展[J].中国卒中杂志,2021,16(11):1183-1188
- 4 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
- 5 Lyu Q, Tian X, Ding Y, et al. Evaluation of carotid plaque rupture and neovascularization by contrast – enhanced ultrasound imaging: an exploratory study based on histopathology [J]. Transl Stroke Res, 2021, 12(1): 49 - 56
- 6 Annelotte V, Remko K, Jill B, et al. Risk factors for atherosclerotic and medial arterial calcification of the intracranial internal carotid artery[J]. Atherosclerosis, 2018, 276: 44 – 49
- 7 李海欣,何文,张晓蓉,等.缺血性脑卒中患者颈动脉斑块的弹性特征[J].中国医学影像学杂志,2018,26(5):357-359,364
- 8 李海欣, 阚艳敏, 宁彬, 等. 颈动脉斑块超声造影增强特征与其 病理特征及易损性的相关性[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37 (6): 857-861
- 9 国家卫生健康委员会脑卒中防治专家委员会血管超声专业委员会,中国超声医学工程学会浅表器官及外周血管超声专业委员会,中国超声医学工程学会颅脑及颈部血管超声专业委员会.头颈部血管超声若干问题的专家共识(颈动脉部分)[J].中国脑血管病杂志,2020,17(6):346-352

· 134 ·

- 10 Shah F, Balan P, Weinberg M, et al. Contrast enhanced ultrasound imaging of atherosclerotic carotid plaque neovascularization: a new surrogate marker of atherosclerosis? [J]. Vasc Med, 2007, 12(4): 291 – 297
- 11 韦苑, 饶群仙, 冯小燕, 等. COX 回归联合决策树建立宫颈癌预 后的预测模型[J].现代预防医学, 2022, 49(2): 206-212
- 12 闫瑞平,王习亮,姚粉霞,等.决策树模型与Logistic 回归分析模型识别高血压危险因素的效果比较[J].中华疾病控制杂志, 2022,26(2):218-222
- 13 王秀玲,张敏郁,丁桂春,等.三维超声灰阶中位数定量评价颈动脉斑块的易损性[J].中华医学超声杂志:电子版,2017,14 (1):23-28
- Hutcheson JD, Maldonado N, Aikawa E. Small entities with large impact: microcalcifications and atherosclerotic plaque vulnerability [J].
 Curr Opin Lipidol, 2014, 25(5): 327 332
- 15 Coli S, Magnoni M, Sangiorgi G, et al. Contrast enhanced ultrasound imaging of intraplaque neovascularization in carotid arteries: correlation with histologyand plaque echogenicity[J]. J Am Coll Cardiol, 2008, 52(3): 223 - 230
- 16 张峥,李润霞,刘艳清,等.多模态超声检查技术对颈动脉斑块

(上接第129页)

- 5 Pogosbekian EL, Pronin IN, Zakharova NE, et al. Feasibility of generalised diffusion kurtosis imaging approach for brain glioma grading [J]. Neuroradiology, 2021, 63(8): 1241-1251
- 6 Xu Z, Ke C, Liu J, et al. Diagnostic performance between MR amide proton transfer (APT) and diffusion kurtosis imaging (DKI) in glioma grading and IDH mutation status prediction at 3T[J]. Eur J Radiol, 2021, 134: 109466
- 7 Zhang L, Yang LQ, Wen L, et al. Noninvasively evaluating the grading of glioma by multiparametric magnetic resonance imaging [J]. Acad Radiol, 2021, 28(5): e137 - e146
- 8 Chu JP, Song YK, Tian YS, et al. Diffusion kurtosis imaging in evaluating gliomas: different region of interest selection methods on time efficiency, measurement repeatability, and diagnostic ability[J]. Eur Radiol, 2021, 31(2): 729 - 739
- 9 廖太平,张春银. CT/MR 与 PET/MR 融合显像在神经胶质瘤靶 区勾画中的应用进展[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2022, 31(6): 574-578
- 10 Shi W, Qu C, Wang X, et al. Diffusion kurtosis imaging combined with dynamic susceptibility contrast – enhanced MRI in differentiating high – grade glioma recurrence from pseudoprogression [J]. Eur J Radiol, 2021, 144: 109941
- 11 Wang X, Chen XZ, 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
- 12 Wang XC, Tan Y, Zhang H, et al. Diffusion kurtosis imaging reflects GFAP, TopoIIα, and MGMT expression in astrocytomas [J]. Neurol India, 2021, 69(1): 119 - 125

稳定性研究中的应用价值[J]. 医学影像学杂志, 2021, 31(10): 1661-1665

- 17 Jiang JF, Zhu XY, Han GJ, et al. A dynamic trust evaluation and update mechanism based on C4. 5decision tree in underwater wireless sensor networks [J]. IEEE Trans Veh Technol, 2020, 69 (8): 9031-9040
- 18 Muller HFG, Viaccoz A, Kuzmanovic I, et al. Contrast enhanced ultrasound imaging of carotid plaque neo – vascularization: accuracy of visual analysis[J]. Ultrasound Med Biol, 2014, 40(1): 18 – 24
- 19 王练妹.动脉粥样硬化斑块的生物力学分析[D]. 衡阳:南华大学,2020:20-23
- 20 Školoudík D, Kešnerová P, Vomáčka J, et al. Shear wave elastography enables identification of unstable carotid plaque[J]. Ultrasound Med Biol, 2021, 47(7): 1704 – 1710
- 21 孙飞一,潘晓芳,贾晓东,等.多模态超声检查结合临床预测颈动脉粥样硬化患者缺血性脑卒中或短暂性脑缺血复发[J].中国 医学影像技术,2022,38(1):53-58

(收稿日期: 2022-07-23) (修回日期: 2022-09-08)

- 13 Bai Y, Liu T, Chen L, et al. Study of diffusion weighted imaging derived diffusion parameters as biomarkers for the microenvironment in gliomas[J]. Front Oncol, 2021, 11: 672265
- Zhao J, Wang YL, Li XB, et al. Comparative analysis of the diffusion kurtosis imaging and diffusion tensor imaging in grading gliomas, predicting tumour cell proliferation and IDH – 1 gene mutation status [J].
 J Neurooncol, 2019, 141(1): 195 – 203
- 15 Jain KK, Sahoo P, Tyagi R, et al. Prospective glioma grading using single – dose dynamic contrast – enhanced perfusion MRI[J]. Clin Radiol, 2015, 70(10): 1128 – 1135
- 16 谢聪,段云云,王晓波,等. MR 酰胺质子转移成像预测脑干胶 质瘤病理分级的价值[J].中华放射学杂志,2022,56(2): 163-167
- 17 Gao E, Gao A, Kit Kung W, et al. Histogram analysis based on diffusion kurtosis imaging: differentiating glioblastoma multiforme from single brain metastasis and comparing the diagnostic performance of two region of interest placements [J]. Eur J Radiol, 2022, 147: 110104
- 18 江少凡,邓凯吉,胡晓梅,等.弥散峰度成像预测皮质脊髓束周 围高级别胶质瘤患者肌力下降[J].中国医学影像技术,2021, 37(11):1634-1638
- 19 Umezawa E, Ishihara D, Kato R. A Bayesian approach to diffusional kurtosis imaging[J]. Magn Reson Med, 2021, 86(2): 1110-1124
- 20 Qiu J, Deng K, Wang P, et al. Application of diffusion kurtosis imaging to the study of edema in solid and peritumoral areas of glioma [J]. Magn Reson Imaging, 2022, 86: 10 - 16

(收稿日期:2022-07-17)

(修回日期:2022-08-04)