

· 神经内科专栏 ·

超声高精细血流联合弹性成像评估颈动脉斑块稳定性 预测缺血性脑卒中发生的价值

张洪江¹, 贾贤达¹, 牛亚军^{2*}, 赵鹏³, 胡晓敏³

(1.河北北方学院附属第二医院超声科,河北张家口 075100;2.河北北方学院附属第一医院超声科,
河北张家口 075000;3.河北北方学院附属第二医院神经内科,河北张家口 075100)

[摘要] 目的 探讨超声高精细血流成像(fine-flow imaging, FFI)技术联合超声弹性成像技术对于脑卒中患者颈动脉斑块稳定性的诊断价值。方法 以缺血性脑卒中患者 200 例作为观察组,有颈动脉斑块患者 200 例作为对照组。常规灰阶超声观察所有患者颈动脉斑块特征。采用超声 FFI 技术检测颈动脉斑块内新生血管情况,进行血流分级,弹性成像技术测量斑块弹性参数。分析比较 2 组颈动脉斑块特点与缺血性脑卒中相关性。Logistic 回归分析研究相关指标与缺血性脑卒中相关性,为患者早期预防提供诊断依据。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析超声 FFI 联合弹性成像技术预测缺血性脑卒中发生的临床价值。**结果** 观察组和对照组在年龄、糖尿病史、心血管病史、吸烟史、体重指数(body mass index, BMI)、三酰甘油、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、肌酐、不稳定斑块方面的比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。利用超声弹性成像技术测得观察组 B/A 比值、组织弹性评分低于对照组($P < 0.05$)。不稳定斑块组 B/A 值和组织弹性评分低于稳定斑块组($P < 0.05$)。观察组和对照组的斑块内新生血管分级比较差异有统计学意义($P < 0.05$),不稳定斑块组和稳定斑块组的斑块内新生血管分级比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。B/A 值($r = 0.791$, $P < 0.001$)、弹性评分($r = 0.773$, $P < 0.001$)与斑块稳定性呈正相关。斑块内新生血管分级($r = -0.270$, $P < 0.001$)与斑块的稳定性呈负相关。新生血管分级曲线下面积(area under curve, AUC)为 0.674, 敏感度为 51.6%, 特异度为 75.9%; B/A 值 AUC 为 0.822, 敏感度为 77.4%, 特异度为 86.2%。两者联合后 AUC 为 0.864, 敏感度为 80.6%, 特异度为 86.2%。**结论** 超声高精细血流技术联合弹性成像技术通过评估斑块的稳定性可用于早期预测缺血性脑卒中发生风险,为临床医生早期采取干预措施提供诊断依据,减少缺血性脑卒中发生率。

[关键词] 缺血性卒中;高精细血流;颈动脉斑块 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2024.06.006

[中图分类号] R743.3S **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2024)06-0654-07

The value of Fine-Flow imaging combined with ultrasound elastography to assess carotid plaque stability in predicting ischemic stroke

ZHANG Hong-jiang¹, JIA Xian-da¹, NIU Ya-jun^{2*}, ZHAO Peng³, HU Xiao-min³

(1. Department of Ultrasound, the Second Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou
075100, China; 2. Department of Ultrasound, the First Affiliated Hospital of Hebei
North University, Zhangjiakou 075000, China; 3. Department of Neurology,
the Second Affiliated Hospital of Hebei North University,
Zhangjiakou 075100, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the diagnostic value of Fine-Flow imaging (FFI) combined with ultrasound elastography (UE) for carotid plaque stability in stroke patients. **Methods** In total, 200 patients with ischemic stroke were selected as the observation group, and

[收稿日期] 2023-05-14

[基金项目] 河北省医学科学研究课题计划(20231470)

[作者简介] 张洪江(1986-),男,河北衡水人,河北北方学院附

属第二医院主治医师,医学学士,从事心血管超声诊断研究。

* 通信作者。E-mail: nyj19862001@163.com

200 patients with carotid artery plaques were selected as the control group. Routine grayscale ultrasound was used to observe the characteristics of carotid artery plaques in all patients. FFI technology was used to detect neovascularization in carotid artery plaques, followed by grading of blood flow, and measurement of plaque elasticity parameters using elastography technology. The correlation between the characteristics of carotid artery plaques and ischemic stroke was analyzed and compared between the two groups. Logistic regression analysis was used to study the correlation between relevant indicators and ischemic stroke, providing diagnostic basis for early prevention of patients. Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to analyze the clinical value of FFI combined with elastography in predicting the occurrence of ischemic stroke.

Results There were significant differences between the observation group and the control group with respect to age, history of diabetes, history of cardiovascular disease, history of smoking, body mass index (BMI), triacylglycerol (TG), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), creatinine (Cre), and unstable plaques ($P < 0.05$). The ratio of region of interest B to region of interest A (B/A ratio) and tissue elasticity score of the observation group measured using ultrasound elastography technology were lower than those of the control group ($P < 0.05$). The B/A ratio and tissue elasticity score in the unstable plaque group were lower than those in the stable plaque group ($P < 0.05$). The difference in grading of intraplaque neovascularization between the observation group and the control group was statistically significant ($P < 0.05$), while the difference in grading of intraplaque neovascularization between the unstable plaque group and the stable plaque group was statistically significant ($P < 0.05$). The B/A ratio ($r = 0.791$, $P < 0.001$) and elasticity score ($r = 0.773$, $P < 0.001$) were positively correlated with plaque stability, while the grading of intraplaque neovascularization ($r = -0.270$, $P < 0.001$) was negatively correlated with the stability of plaques. The area under ROC curve (AUC) of neovascularization grading was 0.674, with a sensitivity of 51.6% and a specificity of 75.9%. The AUC of B/A ratio was 0.822, with a sensitivity of 77.4% and a specificity of 86.2%. The AUC of combination of the two indicators was 0.864, with a sensitivity of 80.6% and a specificity of 86.2%. **Conclusion** By evaluating the stability of plaques, ultrasound FFI technology combined with elastic imaging technology can be used to predict the risk of ischemic stroke in an early stage, and provide diagnostic basis for clinicians to take early intervention measures to reduce the incidence of ischemic stroke.

[Key words] ischemic stroke; Fine-Flow imaging; carotid artery plaque

脑卒中是中国居民第一位死亡原因,缺血性脑卒中占有所有卒中的75%~90%,具有较高的致残率和病死率,严重威胁人们的健康^[1]。颈动脉斑块分为稳定性斑块和不稳定性斑块,其中不稳定性斑块含有脂质成分、坏死的物质和斑块内出血,容易出现脱落、斑块破裂继发血栓形成从而导致脑卒中事件的发生^[2-3]。因此,早期显示颈动脉的不稳定斑块,对防治斑块破裂、出血引发的缺血性脑卒中具有重要的临床意义。本研究通过灰阶超声检测斑块的形态、大小、纤维帽连续性及内部回声,采用超声高精细血流成像(fine-flow imaging, FFI)技术探查斑块内的新生血管走行及分布情况,并利用弹性成像技术对斑块的弹性比值和弹性评分进行评估,以实现

对不稳定斑块的早期识别,从而为缺血性脑卒中的临床防治提供新的思路。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2023年1—12月河北北方学院附属第二医院缺血性脑卒中合并颈动脉硬化斑块患者200例作为观察组,按照《中国急性缺血性脑卒中诊治指南2018》中对脑卒中的诊断标准^[4]均为缺血性脑卒中合并颈动脉硬化斑块,且均已通过磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)和头颅CT检查等明确诊断。另选取同时期河北北方学院附属第二医院收治的有颈动脉斑块但无脑卒中者200例作为对照组。纳入标准:①符合脑卒中的诊

断标准的患者;②患者对本研究知情同意并签署知情同意书。排除标准:①既往有颈动脉内膜剥脱术或支架植入术治疗史;②合并心力衰竭、恶性肿瘤者;③存在严重精神神经症状,沟通障碍;④临床资料不完整者;⑤哺乳期、妊娠期妇女。

1.2 研究指标 收集患者的临床资料,包括年龄、性别、饮酒吸烟史、体重指数(body mass index, BMI)、糖尿病史、高血压病史、心血管病史、总胆固醇(total cholesterol, TG)、三酰甘油、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、尿酸、肌酐。

1.3 超声检查 仪器及设备:日立图腾彩色多普勒超声诊断仪,探头频率5~12 MHz,内置 UE、Fine-Flow 软件。检查方式:患者取仰卧位,在检查部位均匀涂抹耦合剂,采用常规灰阶超声对颈动脉斑块进行扫描检查。患者取仰卧位,头向后仰,充分暴露颈前部分,头偏向检查侧的对侧,先从患者的颈根部开始探测扫描,依次检查颈总动脉、颈内动脉及颈外动脉,待颈动脉显示清晰时,冻结图像之后,观察颈动脉内中膜厚度(intima media thickness, IMT)、管壁内是否有粥样硬化斑块、管径是否存在狭窄或闭塞、颈动脉血管内血流是否充盈及血流频谱形态等;当颈动脉内出现粥样硬化斑块时,需要记录下斑块所在的位置、数量、大小范围、形态特征及回声强度。检查者观察斑块回声,以周围软组织胸锁乳突肌作为对照,判断回声类型,分为均质回声和不均质回声斑块。均质回声可进一步分为均质低回声、均质等回声和均质强回声;不均质回声斑块内有20%以上的回声不一致,应进一步描述以哪种回声为主。稳定斑块:二维灰阶超声显示斑块为扁平形,表面纤维帽完整。不稳定斑块:①二维超声显示斑块表面不光滑,纤维帽不完整,CDFI示斑块处血流充盈不全;②溃疡性斑块:斑块表面纤维帽破裂不连续,形成“火山口”征,“火山口”长度 ≥ 1.0 mm,CDFI示斑块内血流灌注;当同时有稳定斑块和不稳定斑块视为不稳定斑块^[5-6]。切换到弹性成像模式,探头在斑块部位施加一定的压力,使压力标尺显示在适当位置(大约在标尺1/2左右)。选取斑块作为感兴趣区域(region of interest, ROI)。同一屏幕显示灰阶与弹性成像图对比观察。与灰阶超声影像最匹配的弹性成像应符合下列条件:①影像应该尽可能多的包括斑块及同水平动脉血管;②周边软组织色彩均匀;③血管内的血流应表现为均匀地红色。应变率比值的评估:将斑块设定为A区,测量ROI A

值;将与A区等深度的软组织设定为B区,测量ROI B值。重复测量3次,取平均值,见图1。计算ROI A与ROI B的比值(B/A);B/A越大,斑块的硬度越高。弹性成像5级评分法:1分为斑块整体或大部分显示呈绿色;2分为斑块中央呈蓝色,周边显示呈绿色;3分为斑块范围内显示呈绿色和蓝色,所占比例相近;4分为整体显示呈蓝色或内部伴有少些绿色;5分为斑块完全呈蓝色覆盖。评分越高,斑块硬度越高^[7]。比较观察组和对照组弹性评分、B/A值之间差异是否有统计学意义,分析斑块的弹性与斑块稳定性的关系以及对缺血性脑卒中的预测价值。启动Fine-Flow成像模式,对目标斑块进行扫描,横断面自无斑块连续扫描直至斑块小时,结合纵断面连续扫描,观察有无血流信号的斑块肩部(近心端、远心端)、基底部及顶部。斑块内新生血管分级标准:0级为斑块内部未见血流信号;1级为斑块肩部、基底部或顶部可见点状的血流信号;2级为1分~3分,在斑块肩部、基底部或顶部可见点状、短线状的血流信号,见图2;3级为斑块肩部、基底部或顶部可见到丰富的血流信号^[8]。

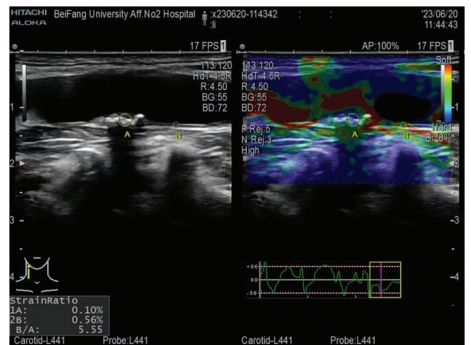


图1 应变率比值(B/A)的测量

Figure 1 Measurement of strain ratio (B/A)

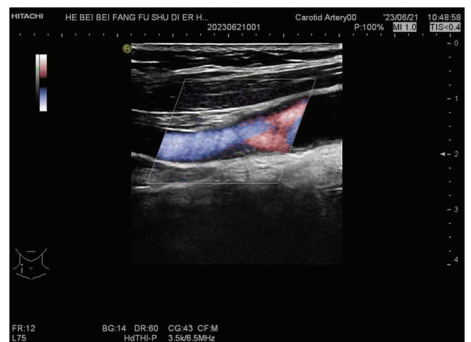


图2 斑块肩部、基底部或顶部可见点状、短线状血流信号
Figure 2 Spot and short-line blood flow signals seen at the shoulder, base or top of the plaque

1.4 统计学方法 应用SPSS 27.0统计软件分析数据。计数资料比较采用 χ^2 检验;计量资料比较采用独立样本t检验;等级资料比较采用秩和检验。

采用 Spearman 相关性分析斑块弹性指标、斑块内新生血管分级与斑块稳定性的关系。Logistic 回归方程分析变量斑块弹性指标、新生血管分级缺血性脑卒中发生的关系；绘制受试者工作特征曲线 (receiver operating characteristic curve, ROC) 曲线, 分析 B/A 值, 斑块内新生血管分级预测缺血性脑卒中的价值。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

表 1 2 组一般资料比较

Table 1 Comparison of general data between the two groups

(n=200)

组别	男性(例数, %)	年龄	高血压	糖尿病	心血管病	吸烟史	饮酒史	BMI($\bar{x} \pm s$)
		($\bar{x} \pm s$, 岁)	(例数, %)	(例数, %)	(例数, %)	(例数, %)	(例数, %)	
观察组	112(56.0)	65.45 \pm 7.56	97(48.5)	79(39.5)	51(25.5)	91(45.5)	85(42.5)	25.13 \pm 2.54
对照组	107(53.5)	52.78 \pm 8.56	79(39.5)	57(28.5)	32(16.0)	65(32.5)	79(39.5)	22.65 \pm 3.12
χ^2/t 值	0.252	15.689	3.287	5.392	5.488	7.104	0.372	8.717
P 值	0.616	<0.001	0.698	0.020	0.019	0.010	0.611	<0.001
组别	三酰甘油	TG	LDL-C	HDL-C	尿酸	肌酐	不稳定斑块	
	($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	($\bar{x} \pm s$, μ mol/L)	($\bar{x} \pm s$, μ mol/L)	(例数, %)	
观察组	4.62 \pm 1.12	1.84 \pm 0.76	3.76 \pm 0.85	1.08 \pm 0.45	318.00 \pm 20.31	84.56 \pm 19.12	89(44.5)	
对照组	4.35 \pm 1.03	1.75 \pm 0.90	2.76 \pm 0.91	1.12 \pm 0.39	314.56 \pm 21.05	64.25 \pm 18.42	55(27.5)	
χ^2/t 值	2.509	1.080	11.357	0.950	1.663	10.819	12.543	
P 值	0.013	0.280	<0.001	0.343	0.097	<0.001	<0.001	

2.2 2 组弹性指标 B/A 比值、组织弹性评分、斑块内新生血管分级比较 利用超声弹性成像技术测得观察组 B/A 比值、组织弹性评分低于对照组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 2。不稳定斑块组 B/A 值和组织弹性评分低于稳定斑块组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 3。观察组和对照组的斑块内新生血管分级比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 不稳定斑块组和稳定斑块组的斑块内新生血管分级比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 4, 5。

表 2 B/A 值、与组织弹性评分在观察组与对照组间的比较
Table 2 Comparison of B/A ratio and tissue elasticity scores between observation group and control group

(n=200, $\bar{x} \pm s$)

组别	B/A 值	弹性评分(分)
观察组	8.12 \pm 3.26	14.25 \pm 4.15
对照组	2.45 \pm 0.79	4.76 \pm 0.58
t 值	23.905	33.333
P 值	<0.001	<0.001

表 3 B/A 值、与组织弹性评分在不稳定斑块与稳定斑块间的比较

Table 3 Comparison of B/A ratio and tissue elasticity scores between unstable and stable plaques

(n=200, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	B/A 值	弹性评分(分)
不稳定斑块组	144	9.07 \pm 3.05	2.24 \pm 0.84
稳定斑块组	256	17.12 \pm 2.56	4.01 \pm 0.67
t 值		28.141	23.099
P 值		<0.001	<0.001

2 结 果

2.1 2 组一般资料比较 观察组和对照组在年龄、糖尿病史、心血管病史、吸烟史、BMI、三酰甘油、LDL-C、肌酐、不稳定斑块方面的比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。见表 1。

表 4 观察组与对照组间斑块内新生血管比较

Table 4 Comparison of intraplaque neovascularization between observation group and control group

(n=200, 例数, %)

组别	0 级	1 级	2 级	3 级
观察组	42(21.0)	67(33.5)	64(32.0)	27(13.5)
对照组	71(35.5)	82(41.0)	33(16.5)	12(6.0)
Z 值	4.777			
P 值	<0.001			

表 5 不稳定斑块与稳定斑块间斑块内新生血管比较

Table 5 Comparison of intraplaque neovascularization between unstable plaques and stable plaques

(例数, %)

组别	例数	0 级	1 级	2 级	3 级
不稳定斑块组	144	26(18.1)	45(31.2)	41(28.5)	32(22.2)
稳定斑块组	256	88(34.3)	108(42.2)	44(17.2)	16(6.4)
Z 值	5.646				
P 值	<0.001				

2.3 B/A 值、斑块弹性评分及新生血管分级与斑块稳定性的相关性研究 Spearman 相关分析显示, B/A 值 ($r = 0.791, P < 0.001$)、弹性评分 ($r = 0.773, P < 0.001$) 与斑块稳定性呈正相关。斑块内新生血管分级 ($r = -0.270, P < 0.001$) 与斑块的稳定性呈负相关。

2.4 合并颈动脉斑块患者发生缺血性脑卒中的影响因素分析 以发生缺血性脑卒中 (是=0, 否=1) 为因变量, 以年龄 (连续变量)、糖尿病史 (有=0, 无=1)、心血管病史 (有=0, 无=1)、吸烟史 (有=0,

无=1)、B/A 值(连续变量)、新生血管分级(0 级=1,1 级=2,2 级=3,3 级=4)自变量,结果显示年龄、吸烟史、BMI、糖尿病病史、心血管病史、B/A 值、斑块内新生血管分级是缺血性脑卒中发生的影响因素($P<0.05$)。见表 6。

2.5 B/A 值、斑块内新生血管分级对于缺血性脑卒

中的预测价值 以新生血管分级作为预测缺血性脑卒中发生的诊断标准,其曲线下面积(area under curve, AUC)为 0.674,以 B/A 值作为预测缺血性脑卒中发生的诊断标准,其 AUC 为 0.822,二者联合时,其 AUC 为 0.864,均高于单一预测指标。见表 7,图 3。

表 6 缺血性脑卒中发生的影响因素分析

Table 6 Analysis of influencing factors of ischemic stroke

因素	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
年龄	1.190	0.319	105.280	<0.05	1.210	1.167~1.255
糖尿病	1.782	0.327	25.465	<0.05	5.424	3.178~9.293
心血管病	1.669	0.351	21.311	<0.05	5.469	2.726~8.559
吸烟史	1.785	0.412	16.273	<0.05	5.840	3.846~9.268
B/A 值	0.452	0.144	10.681	<0.05	0.637	0.584~0.693
新生血管分级	-0.737	0.185	15.858	<0.05	0.479	0.285~0.804

表 7 B/A 值、新生血管分级及二者联合预测缺血性脑卒中的价值

Table 7 Value of B/A ratio, grading of neovascularization detected alone and in combination in predicting ischemic stroke

组别	AUC	敏感度	特异度	P 值	95%CI
B/A 值	0.822	0.774	0.862	<0.001	0.711~0.933
斑块内新生血管	0.674	0.516	0.759	0.021	0.537~0.810
二者联合	0.864	0.806	0.862	<0.001	0.769~0.960

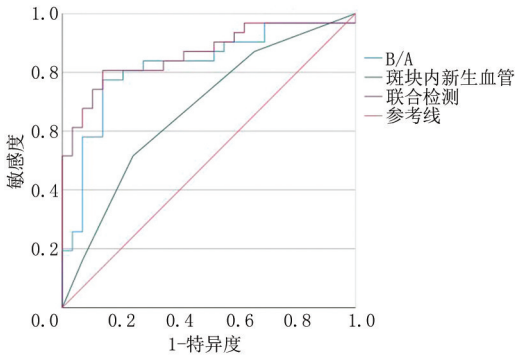


图 3 B/A 值、斑块内新生血管及联合检测时的 ROC 曲线

Figure 3 ROC curve of B/A ratio, intraplaque neovascularization detected alone and in combination

3 讨 论

缺血性脑卒中是指脑供血动脉的严重狭窄或闭塞导致脑供血不足,从而导致脑组织缺血性坏死^[9],患者发病后会有眩晕、复视及虚弱等症状,严重的会出现失语、视物模糊、偏瘫及意识障碍等,预后较差,给患者及家人的身心健康造成伤害^[10]。因此早期预防、早期诊断、早期治疗对于降低缺血性脑卒中的发生率及病死率、改善患者预后具有重要意义^[11-12]。颈动脉及椎动脉是脑的供血动脉,二者因动脉粥样硬化斑块或血栓形成导致狭窄闭塞是缺血性脑卒中的发病根源^[13]。超声血管检查被广泛应用于临床用于筛查患者颈动脉斑块的发生及预测缺血性脑卒中发生^[14-15]。研究^[16-17]显示颈动脉超声检

查通过观察内中膜厚度、斑块的发生位置、形态、稳定性以及动脉狭窄度可有效筛查缺血性脑卒中的高危人群。目前有研究^[18]指出除了斑块的大小,斑块的稳定对于预测缺血性脑卒中的发生具有重要的临床价值。不稳定斑块也称为易损斑块是指易发生出血、溃疡、破裂导致心脑血管栓塞的斑块,其病理特征主要是活动性炎症、大量巨噬细胞聚集、大的脂质核心、薄而均匀的纤维帽,斑块内出血及新生血管生成^[19-20]。不稳定的斑块内含脂质成分较多,炎症细胞较多,而平滑肌细胞及纤维成分较少,质地较软,易脱落;相反稳定性斑块质地则较硬^[21]。由于粥样硬化斑块的形成,导致动脉管壁缺氧,进而诱发血管生长因子的表达增加,促进内皮细胞的增殖和迁移形成新生血管^[22]。同时缺氧会引起机体的氧化应激和炎症反应,加速形成新生血管^[23]。然而在粥样硬化斑块形成的情况下生成的新生血管与成熟血管并不完全相同,其周细胞数量较少,通透性较高,最易发生斑块内出血现象^[24]。与此同时斑块内出血能够诱导大量炎性细胞聚集,进而促进炎性介质的释放,炎性基质成分大量沉积,斑块稳定性降低,最终斑块破裂,故新生血管可作为易损斑块形成的重要危险因素^[25-26]。有研究^[27]指出斑块内新生血管数量与斑块易损性密切相关,同时也与缺血性脑血管病发生有关。因此,斑块的稳定性与斑块的弹性和斑块内新生血管密切相关,早期显示斑块的稳定性对于预测 CIS 的发生、发展具有重要价值。随着

超声技术的发展超声弹性成像除了常规用于肝脏、乳腺、甲状腺检查,还可用于动脉硬化斑块弹性的测量。

弹性成像不同于常规的彩色多普勒和灰阶超声,其基本原理是通过病变组织进行准静态、静态和动态的刺激,使组织受到生物力学、弹性等力学因素的影响,从而引起组织的速度、应变、位移等的变化。应用数字化系统对组织所发生的响应变化进行准确分析和评估,对组织中弹性模型等力学属性的差异性进行分析,在灰阶图像上用不同的彩色编码来表示不同的组织弹性应变^[28-29]。超声 FFI 技术对低流量、低流速的血流检测较常规多普勒超声敏感性高,能够有效地检测斑块内较弱的低速血流信号,有利于更好地检测不稳定斑块内新生血管的数量、走行、分布等情况^[30]。本研究采用 FFI 技术检查颈动脉斑块内新生血管的数量、走行、分布等情况,采用弹性成像技术通过计算斑块的应变比值 B/A、弹性评分判断斑块的稳定性,研究新生血管、弹性与动脉硬化斑块的稳定的相关性,以及二者对于预测缺血性脑卒中发生的价值。本研究显示,新生血管分级与斑块稳定性存在密切相关性,斑块内新生血管越多,斑块的稳定性则越差,这与先前的研究保持一致^[31]。斑块的弹性与斑块稳定性呈负相关,B/A 值越小,弹性越高,代表斑块越软,稳定性越差。上述 2 种技术对于预测缺血性脑卒中发生均具有重要的临床价值^[32],二者联合诊断价值高于单独应用,二者联合诊断缺血性脑卒中的敏感度(80.6%)及特异度(86.2%)均较高。

综上所述,超声 FFI 技术联合弹性成像通过对颈动脉斑块的弹性和斑块内的新生血管检测评估斑块的稳定性,进而预测缺血性脑卒中的发生具有重要意义。但本研究的入组人群数量较少,缺乏多中心研究,同时 2 种超声新技术的主观依赖性较高,二者对于动脉粥样硬化斑块检测价值还需要进一步研究,随着超声技术的不断发展,2 种超声新技术检查的准确性及可重复性有待进一步提高,进而提高其在预测缺血性脑血管病发生及发展中的价值。

[参考文献]

[1] Hou S,Zhang H,Li B,et al. Validation and evaluation of the core nursing outcomes evaluation system for inpatients with stroke[J]. *Int J Nurs Knowl*,2020,31(3):173-179.

[2] Davidhi A,Rafailidis V,Destanis E,et al. Ultrasound Elastography: another piece in the puzzle of carotid plaque vulnerability? [J]. *Med Ultrason*, 2022, 24(3):356-363.

[3] van Dam-Nolen DHK, Truijman MTB, van der Kolk AG,

et al. Carotid plaque characteristics predict recurrent ischemic stroke and TIA: The PARISK (Plaque At RISK) study[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2022, 15(10):1715-1726.

- [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] 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):346-52,封3.
- [6] 张伟,李华,王少颖.超声联合螺旋 CT 对脑梗死患者颈动脉斑块稳定性的评估价值[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*,2021,19(2):38-40,55.
- [7] 王锐.血管内超声弹性成像技术对颈动脉粥样硬化斑块稳定性的评估价值分析[J]. *检验医学与临床*,2021,18(12):1784-1787.
- [8] Wang B,Dong L,Qi Z. Carotid plaque vulnerability assessed by contrast-enhanced ultrasound and clinical risk factors[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*,2022,31(8):106598.
- [9] Feske SK. Ischemic stroke[J]. *Am J Med*, 2021, 134(12):1457-1464.
- [10] Garg A,Limaye K,Shaban A,et al. Risk of ischemic stroke after an inpatient hospitalization for transient ischemic attack in the united states[J]. *Neuroepidemiology*, 2021, 55(1):40-46.
- [11] Sabayan B. Primary prevention of ischemic stroke[J]. *Semin Neurol*,2022,42(5):571-582.
- [12] DeLong JH, Ohashi SN,O'Connor KC, et al. Inflammatory responses after ischemic stroke[J]. *Semin Immunopathol*, 2022,44(5):625-648.
- [13] Shi Y,Guo L,Chen Y,et al. Risk factors for ischemic stroke: differences between cerebral small vessel and large artery atherosclerosis aetiologies[J]. *Folia Neuropathol*, 2021, 59(4):378-385.
- [14] Eydin J,Geier B,Staub D. Current strategies and possible perspectives of ultrasonic risk stratification of ischemic stroke in internal carotid artery disease[J]. *Ultraschall Med*,2011,32(3):267-273.
- [15] Zhang S, Jiang S, Wang C, et al. Comparison of ultrasonic shear wave elastography, AngioPLUS planewave ultrasensitive imaging, and optimized high-resolution magnetic resonance imaging in evaluating carotid plaque stability[J]. *Peer J*,2023,11:e16150.
- [16] Bos D, Arshi B, van den Bouwhuisen QJA, et al. Atherosclerotic carotid plaque composition and incident stroke and coronary events[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2021, 77(11):1426-1435.
- [17] Mendelson SJ,Prabhakaran S. Diagnosis and management of transient ischemic attack and acute ischemic stroke:A review [J]. *Jama*,2021,325(11):1088-1098.
- [18] 白帆,王效春.影像学预测缺血性脑卒中复发的研究进展[J]. *磁共振成像*,2024,15(5):198-203.

- [19] Yin J, Yu C, Liu H, et al. A model to predict unstable carotid plaques in population with high risk of stroke [J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2020, 20(1):164.
- [20] Školoudik 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] Kassis N, Kovarnik T, Chen Z, et al. Fibrous cap thickness predicts stable coronary plaque progression; early clinical validation of a semiautomated OCT technology [J]. *J Soc Cardiovasc Angiogr Interv*, 2022, 1(5):100400.
- [22] Ma T, Shi X, Yuan C, et al. Contrast-enhanced ultrasound combined with 2D strain imaging and histopathological multimodal assessment of carotid plaque vulnerability [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2023, 49(7):1595–1601.
- [23] Hansson GK, Libby P, Tabas I. Inflammation and plaque vulnerability [J]. *J Intern Med*, 2015, 278(5):483–493.
- [24] Camaré C, Pucelle M, Nègre-Salvayre A, et al. Angiogenesis in the atherosclerotic plaque [J]. *Redox Biol*, 2017, 12:18–34.
- [25] Lavie L, Si-On E, Hoffman A. Giant phagocytes (G ϕ) and neutrophil-macrophage hybrids in human carotid atherosclerotic plaques—an activated phenotype [J]. *Front Immunol*, 2023, 14:1101569.
- [26] Bao J, Tong X, Wu R, et al. Analysis of risk factors for vulnerable plaque formation and pathogenic in carotid artery [J]. *J Craniofac Surg*, 2023, 34(2):e182–e186.
- [27] Geiger MA, Flumignan RLG, Sobreira ML, et al. Carotid plaque composition and the importance of non-invasive in imaging stroke prevention [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9:885483.
- [28] Sigrist RMS, Liao J, Kaffas AE, et al. Ultrasound elastography: Review of techniques and Clinical Applications [J]. *Theranostics*, 2017, 7(5):1303–1329.
- [29] Wu H, Wang C, An Q, et al. Comparing the accuracy of shear wave elastography and strain elastography in the diagnosis of breast tumors: A systematic review and meta-analysis [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2022, 101(44):e31526.
- [30] 贾贤达, 胡晓敏, 时秀文, 等. 超声高精细血流联合弹性成像技术对颈动脉粥样硬化斑块的诊断价值 [J]. *中国老年学杂志*, 2023, 43(22):5395–5398.
- [31] Boswell-Patterson CA, Hétu MF, Pang SC, et al. Novel theranostic approaches to neovascularized atherosclerotic plaques [J]. *Atherosclerosis*, 2023, 374:1–10.
- [32] Cheng L, Zheng S, Zhang J, et al. Multimodal ultrasound-based carotid plaque risk biomarkers predict poor functional outcome in patients with ischemic stroke or TIA [J]. *BMC Neurol*, 2023, 23(1):13.

(本文编辑:何祯)