

速度向量成像技术评价脑梗死患者颈动脉斑块生物力学特性的初步研究

马琳, 苑丽, 阚艳敏, 杨华, 张树华, 孙萌, 张莹

(河北联合大学附属医院超声科, 河北省唐山市 063000)

[关键词] 速度向量成像; 脑梗死; 颈动脉; 粥样斑块

[摘要] **目的** 探讨速度向量成像技术评价颈动脉斑块力学状态的临床应用价值。**方法** 采集脑梗死患者 188 个颈动脉斑块, 非脑梗死患者 154 个颈动脉斑块, 应用速度向量成像技术测量斑块不同部位短轴方向最大应变 (S_{\max}) 及最大应变率 (SR_{\max})。**结果** 两组斑块肩部 SR_{\max} 均高于顶部及底部, 顶部 SR_{\max} 高于底部; 斑块肩部 S_{\max} 高于顶部及底部; 软斑块肩部 SR_{\max} 均高于硬斑块肩部, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。脑梗死组硬斑块肩部及软斑块肩部 SR_{\max} 均高于非脑梗死组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。**结论** 速度向量成像技术可定量检测脑梗死患者颈动脉不同性质斑块的力学特性, 为临床分析斑块的稳定性提供新的方法。

[中图分类号] R445.1

[文献标识码] A

Preliminary Study of Carotid Atherosclerotic Plaque Biomechanics in Cerebral Infarction Patients by Velocity Vector Imaging

MA Lin, YUAN Li, KAN Yan-Min, YANG Hua, ZHANG Shu-Hua, SUN Meng, and ZHANG Ying

(Department of Ultrasound, Affiliated Hospital of Hebei United University, Tangshan, Hebei 063000, China)

[KEY WORDS] Velocity Vector Imagine; Cerebral Infarction; Carotid; Atherosclerotic Plaque

[ABSTRACT] **Aim** To evaluate the changes of the strain and the strain rate at carotid atherosclerotic plaque in cerebral infarction patients by velocity vector imaging (VVI). **Methods** 188 carotid plaques in cerebral infarction patients and 154 carotid plaques in patients with no-cerebral infarction were selected. Every plaque was examined by Siemens Sequoia 512 with VVI work station. The maximum strain (S_{\max}) and maximum strain rate (SR_{\max}) at the shoulder, surface and base of plaque in short axis were measured. **Results** The S_{\max} , SR_{\max} at plaque shoulder were higher significantly than that at plaque surface and plaque base, and the SR_{\max} at plaque surface was higher than that at plaque base in both groups. The SR_{\max} at the soft plaque shoulder was higher than that at the hard plaque in both groups ($P < 0.05$). The SR_{\max} at plaque shoulder and the soft plaque shoulder in the cerebral infarction group were higher than that in the no-cerebral infarction group ($P < 0.05$). **Conclusion** VVI technology can be mechanical characteristics of quantitative detection of carotid artery in cerebral infarction patients with different plaques, which provides a new method for clinical analysis of the stability of plaque.

脑梗死(cerebral infarction, CI)是我国主要的致死及致残疾病, 颈动脉粥样硬化斑块的易损和破裂是导致缺血性脑血管病的主要原因之一^[1], 也是引起脑梗死的重要原因。本文旨在应用速度向量成像(velocity vector imaging, VVI)技术对脑梗死患者颈动脉斑块生物力学特征进行研究, 观察颈动脉斑块不同部位尤其是肩部的力学改变。

1 资料与方法

1.1 研究对象

采集 2010 年 1 月 ~ 2012 年 12 月河北联合大学附属医院住院确诊的脑梗死患者偏心性粥样斑块 188 个作为脑梗死组, 其中男性 66 例, 女性 42 例, 年龄 45 ~ 80 岁, 平均 67.6 ± 10.8 岁, 合并高血压 80

[收稿日期] 2013-04-07

[作者简介] 马琳, 主任医师, 研究方向为超声诊断学, E-mail 为 malintsh@163.com。通讯作者阚艳敏, 硕士研究生导师, 研究方向为超声诊断学, E-mail 为 wuxiny_2009@163.com。苑丽, 硕士研究生, 研究方向为超声诊断学, E-mail 为 tangshankym@163.com。

例(74.1%),高脂血症 72 例(66.7%),冠心病 40 例(37.0%);均符合第 4 届全国脑血管病学术会议修订的诊断标准^[2],并经头颅 CT 或/和 MRI 证实。采集同期住院无脑梗死患者偏心性粥样斑块 154 个作为非脑梗死组,其中男性 62 例,女性 40 例,年龄 55~80 岁,平均 66.7 ± 8.8 岁,合并高血压 70 例(68.6%),高脂血症 60 例(58.8%),冠心病 24 例(23.5%),均经 CT 或/和 MRI 检查未见明确梗死灶。两组均除外斑块导致管腔严重狭窄甚至阻塞者,并除外由静脉系统疾病、先天血管畸形、脑部肿瘤、脑部外伤、心脏及其他脏器疾病所导致的缺血性脑血管病患者及合并严重心、肝、肾功能不全等疾病者。

1.2 主要仪器

采用西门子 Acuson Sequoia 512 彩色多普勒超声诊断仪,15L8W 浅表器官探头,频率 8.0~12.0 MHz,配备西门子公司 VVI 工作站。

1.3 图像的选取、采集与处理

患者取仰卧位,颈部充分暴露。连接心电图,进入 VVI 模式,常规扫查双侧颈动脉,将动脉内膜中层厚度(intima-media thickness,IMT) $> 1.3 \text{ mm}$ ^[3]作为诊断粥样斑块形成的标准,并根据斑块回声特点将斑块分为软斑块与硬斑块^[4]。清晰显示斑块最大厚度处短轴二维图像,在被检查者屏气状态下,存储连续 3 个心动周期的动态图像。将采集的动态图像导入 VVI 工作站,启动 VVI 分析软件。选择一帧最清晰的图像,将图像冻结并描记斑块边缘,点击计算,系统则自动追踪其他帧斑块边缘并显示斑块各点应变和应变率曲线图及彩色 M 型图。

1.4 观察部位的选取

斑块短轴切面沿斑块取 4 个观察部位,包括斑块顶部、基底部及两个肩部(图 1)。获取以上观察部位的 Smax 及 SRmax 测定值以备分析。

1.5 测量指标的提取

提取 4 个测量指标:①收缩期最大应变(maximum systolic strain, Ssm;%);②舒张期最大应变(maximum diastolic strain, Sdm;%);③最大应变(maximum strain, Smax;%);④最大应变率(maximum strain rate, SRmax; 1/s)。其中①②指标取每段动态图像 3 个心动周期中最高峰值, Smax 取收缩期、舒张期最大应变之差(Ssm-Sdm), SRmax 取最高峰值绝对值;斑块肩部的指标测定值取两侧肩部测定值的平均值。

1.6 统计分析

采用 SPSS 13.0 软件进行统计分析。计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,两组间比较采用 *t* 检验,多组间比较

采用单因素方差分析,计数资料采用 χ^2 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

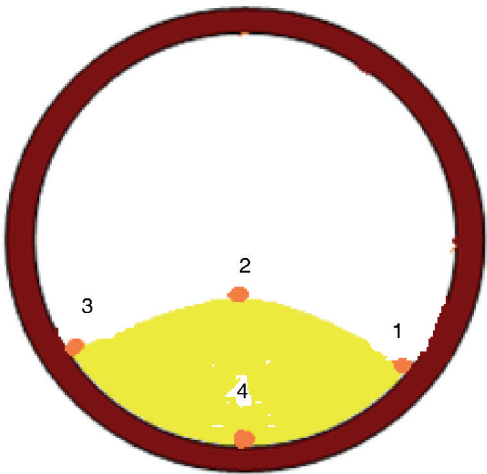


图 1. 斑块观察部位示意图 1、3 为斑块肩部,2 为斑块顶部,4 为斑块基底部。

Figure 1. Schematic of plaques in observation site

2 结果

2.1 临床特征的比较

脑梗死组与非脑梗死组年龄、性别、心率、体质指数、血压、生物化学等各项指标差异无统计学意义($P > 0.05$)。

2.2 两组斑块不同部位 VVI 指标比较

两组斑块肩部 SRmax 均大于顶部和基底部,顶部 SRmax 大于基底部($P < 0.05$);两组斑块肩部 Smax 大于顶部和基底部($P < 0.05$),但顶部和基底部 Smax 差异无统计学意义($P > 0.05$)。脑梗死组斑块肩部 SRmax 大于非脑梗死组($P < 0.05$);其他部位的相同参数指标间差异均无统计学意义($P > 0.05$)(表 1)。

2.3 两组不同性质斑块不同部位 VVI 指标比较

两组患者软斑块肩部 SRmax 均高于硬斑块($P < 0.05$;表 2)。脑梗死组软斑块肩部 SRmax 均高于非脑梗死组($P < 0.05$;表 2)。斑块其他部位的 VVI 测定值在软斑块、硬斑块之间及两组患者之间差异无统计学意义($P > 0.05$;表 2、表 3)。

2.4 VVI 图像及曲线

应变及应变率曲线图显示,斑块各位点运动峰值及曲线变化幅度大,呈多样性变化(图 2)。应变及应变率彩色 M 型图显示,粥样硬化斑块处血管内膜应变及应变率呈紊乱性变化(图 3)。

表 1. 两组间斑块不同部位 VVI 指标比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 1. Comparison of Smax and SRmax with different part plaques between the two groups ($\bar{x} \pm s$)

斑块部位	Smax		SRmax(1/s)	
	脑梗死组	非脑梗死组	脑梗死组	非脑梗死组
肩部	10.71% \pm 3.83%	9.03% \pm 3.37%	0.96 \pm 0.40 ^a	0.60 \pm 0.33
顶部	7.56% \pm 3.83% ^b	6.41% \pm 3.41% ^b	0.58 \pm 0.27 ^b	0.43 \pm 0.17 ^b
基底部	6.96% \pm 4.53% ^b	5.84% \pm 3.98% ^b	0.36 \pm 0.19 ^{cd}	0.25 \pm 0.15 ^{cd}

a 为 $P < 0.05$, 与非脑梗死组斑块肩部比较; b 为 $P < 0.05$, c 为 $P < 0.01$, 与同组斑块肩部比较; d 为 $P < 0.05$, 与同组斑块顶部比较。

表 2. 两组患者不同性质斑块不同部位 SRmax 比较 (1/s)

Table 2. Comparison of SRmax with different properties in different parts of plaque between two groups (1/s)

斑块	肩部		顶部		基底部	
	脑梗死组	非脑梗死组	脑梗死组	非脑梗死组	脑梗死组	非脑梗死组
软斑块	1.17 \pm 0.33 ^a	0.80 \pm 0.31	0.69 \pm 0.25	0.53 \pm 0.16	0.43 \pm 0.22	0.32 \pm 0.18
硬斑块	0.75 \pm 0.36 ^b	0.40 \pm 0.21 ^b	0.45 \pm 0.26	0.33 \pm 0.13	0.29 \pm 0.22	0.19 \pm 0.10

a 为 $P < 0.05$, 与非脑梗死组软斑块比较; b 为 $P < 0.05$, 与同组软斑块比较。

表 3. 两组患者不同性质斑块不同部位 Smax 比较

Table 3. Comparison of Smax with different properties in different parts of plaque between two groups

斑块	肩部		顶部		基底部	
	脑梗死组	非脑梗死组	脑梗死组	非脑梗死组	脑梗死组	非脑梗死组
软斑块	12.23% \pm 3.48%	10.25% \pm 3.16%	8.84% \pm 4.26%	7.59% \pm 3.95%	8.20% \pm 5.20%	6.73% \pm 4.69%
硬斑块	9.19% \pm 3.73%	7.80% \pm 3.29%	6.28% \pm 3.07%	5.23% \pm 2.46%	5.73% \pm 3.62%	4.96% \pm 3.15%

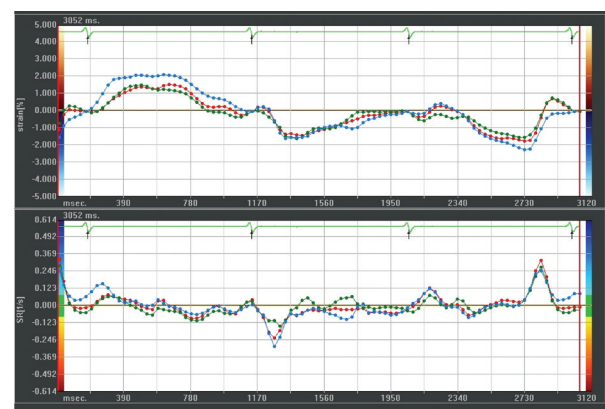


图 2. 颈动脉斑块应变及应变率曲线图

Figure 2. The curve of plaques of carotid artery strain and strain rate

3 讨论

颈动脉作为脑梗死患者的责任血管,其病变是脑梗死的重要因素^[5]。颈动脉斑块表面的破裂、出血或形成的血栓与同侧缺血性脑病的发生密切相关^[6]。目前高分辨率常规超声检查较容易发现颈动脉病变,尤其是斑块的形成,但对于判断斑块性

质却有一定难度。颈动脉斑块破裂的力学模型从弹性力学稳定性理论出发,证实斑块破裂是在内在属性及外在的受力状态共同作用下,纤维帽发生参数共振导致剧烈弯曲变形所致。外力的变化和斑块的运动形变可以导致斑块内在特性发生改变,斑块内不同的成分在应力作用下因各处受力不同其变形的程度及方向不同,相同成分因其在斑块内的分布不同其变形的程度及方向也会不同,当斑块变形程度剧烈或变形速度存在不协调时,斑块即会发生失稳破裂及继发血栓形成。

目前用于检测破裂斑块的方法中大部分是针对斑块内在特性进行的形态学检测^[7],随着超声技术的不断改进及相应软件的研发,超声不仅可以对斑块进行形态学与血流动力学检测,还可以对斑块的受力状态及形变程度进行检测。本研究即应用一种超声新技术——VVI 技术对斑块受力后所发生的形变进行评价,从而反映斑块的受力状态,分析并预测斑块发生破裂的条件和部位。

VVI 检测指标包括应变和应变率。应变是指局部组织受外力后发生的形变,反映单位长度上组织形变的差异;应变率是指形变发生的绝对速率,反

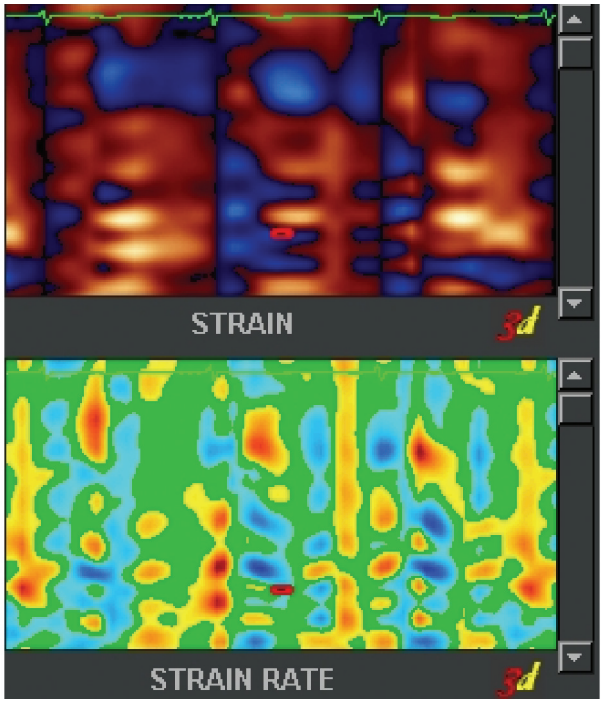


图 3. 颈动脉斑块应变及应变率彩色 M 型图
Figure 3. The color M-type graph of plaques of carotid artery strain and strain rate

映单位长度上组织形变速度的差异。

大量临床及病理学研究发现,动脉粥样斑块的破裂部位多位于斑块肩部,此处的纤维帽最薄,胶原含量少,大量脂质沉积及泡沫细胞浸润造成抗破裂能力减弱;且该处应力最明显,加速了斑块破裂脱落。本研究结果显示两组斑块肩部的 S_{max} 、 SR_{max} 均高于顶部及基底部,而基底部 S_{max} 、 SR_{max} 最低,这与王宇等^[8]研究结果一致。表明斑块肩部在应力下产生变形的程度及速度均高于斑块的其他部位,说明肩部受力最集中,形变最明显,最易破裂,致使动脉内血栓形成,从而引起脑卒中、脑梗死;基底部的应变及应变率最小,说明基底部是斑块中力学最为稳定的部分,同时说明斑块基底部较表面受力小^[9]。

粥样斑块根据超声征象的不同可分为软斑块和硬斑块。软斑块富含脂质,在血流的冲击下易破裂,最终导致脑梗死的发生。硬斑块含平滑肌,胶原含量高,脂质少,纤维化程度高,对外力抵抗作用强,不易破裂。本研究结果显示,无论是脑梗死组还是非脑梗死组,软斑块肩部的应变率均高于硬斑块,说明软斑块肩部形变速度比硬斑块快,软斑块比硬斑块更易破裂。两组比较结果显示,脑梗死组软斑块肩部应变率高于非脑梗死组软斑块肩部,说

明脑梗死组软斑块肩部比非脑梗死组软斑块肩部应力更大,这可能与脑梗死组颈动脉硬化程度更明显有关,因此较非脑梗死组更易破裂,从而引发脑梗死的发生,与冯海艳等^[10]报道一致。本研究中仅采集了软斑块和硬斑块,未对混合回声斑块进行采集分析,计划以后进一步对其进行研究。

综上所述,VVI 技术可以准确定量评价颈动脉粥样斑块任意感兴趣部位形变的程度与速度。同时,通过 VVI 的可视化显像技术还可以直观显示颈动脉斑块各点间所呈现的不同步及斑块在变形程度与速度上存在的不对称现象,表现为受力的不对称。该技术可以准确评价斑块的受力情况,有可能为预测斑块失稳破裂提供一种有价值的检测方法,从而为预防脑梗死的发生提供一种新的检查手段。

[参考文献]

[1] 李东芳,冀俊林,李光来,等. 血清基质金属蛋白酶 3 与颈动脉粥样硬化斑块及缺血性脑卒中的关系[J]. 中国医师杂志, 2011, 13(3): 302-304.

[2] 中华神经科学会. 各类脑血管疾病诊断要点[J]. 中华神经科杂志, 1996, 29(6): 379.

[3] 王宏宇,郭远,张瑞岩,等. 中国血管病变早期检测技术标准化建议(草案)[J]. 中国民康医学杂志, 2005, 17(Suppl): 2-5.

[4] 周永昌,郭万学. 超声医学[M]. 第 4 版. 北京:科学技术文献出版社, 2002; 802.

[5] 苏斌儒,陈月畜,陆伟恒. 36 例进展性脑梗死患者责任血管病变分析[J]. 中国医师杂志, 2012, 14(6): 812-813.

[6] Parmar JP, Rogers WJ, Mugler JP, et al. Magnetic resonance imaging of carotid atherosclerotic plaque in clinically suspected acute transient ischemic attack and acute ischemic stroke[J]. Circulation, 2010, 122(20): 2 031-038.

[7] Schaar JA, Mastik F, Regar E, et al. Current diagnostic modalities for vulnerable plaque detection[J]. Curr Pharm Des, 2007, 13(10): 995-1 001.

[8] 王宇,段云友,袁丽君,等. 速度向量成像技术评价正常人颈总动脉内膜力学状态的初步研究[J]. 中国医学影像技术, 2008, 24(8): 1 198-200.

[9] 王宇,段云友,刘禧,等. 速度向量成像技术评价颈总动脉粥样硬化斑块力学状态的研究[J]. 中国超声医学杂志, 2010, 26(2): 145-147.

[10] 冯海艳,乔锋利,杨冬艳,等. 速度向量成像技术评价颈动脉硬化斑块内部应变[J]. 中国实验诊断学, 2011, 15(12): 2 107-109.

(此文编辑 曾学清)