

# 应变及应变率预测子痫前期颈总动脉弹性功能的价值

薛丹 袁丽君 段云友 张宇新 马婧 侯娜 邢长洋

**摘要** 目的 探讨应变及应变率预测子痫前期颈总动脉弹性功能的价值。方法 选取在我院门诊产检的子痫前期孕妇 30 例(子痫前期组),以及年龄、孕周与之匹配的正常孕妇 35 例(健康对照组)。应用超声检测两组颈总动脉内中-膜厚度(IMT);血管弹性技术检测血管弹性指标,包括颈总动脉扩张系数(DC)、血管僵硬度( $\beta$ )、脉搏波传播速度(PWV)、动脉增强压(AP);X-strain 技术获取血管应变指标,包括血管内膜环向应变及应变率(EN-CS、EN-CSR),外膜环向应变及应变率(EP-CS、EP-CSR),径向应变及应变率(RAD-S、RAD-SR)。比较两组颈总动脉应变及应变率的差异;分析血管应变、应变率与血管 IMT 及弹性指标的相关性。绘制受试者工作特征曲线分析应变、应变率对子痫前期颈总动脉弹性功能降低的预测价值。**结果** 子痫前期组 EN-CS、EN-CSR 及 RAD-SR 均较健康对照组降低,差异均有统计学意义(均  $P < 0.01$ ),其余应变指标两组比较差异均无统计学意义。子痫前期组 EN-CS、EN-CSR、EP-CS、EP-CSR、RAD-S、RAD-SR 均与 PWV、 $\beta$ 、IMT 呈负相关(均  $P < 0.05$ ),均与 DC、AP 呈正相关(均  $P < 0.05$ )。EN-CS、EN-CSR、RAD-SR 及 PWV 预测子痫前期颈总动脉弹性功能降低的曲线下面积分别为 0.74、0.75 0.84、0.68。**结论** 子痫前期孕妇颈总动脉血管环向应变及径向应变率均降低,且均与血管弹性指标显著相关。颈总动脉应变及应变率对预测子痫前期血管弹性功能降低有一定价值。

**关键词** 超声检查;子痫前期;颈总动脉;应变;弹性  
[中图法分类号]R445.1;R714.245 [文献标识码]A

## Value of strain and strain rate in predicting the elastic function of common carotid artery in preeclampsia

XUE Dan, YUAN Lijun, DUAN Yunyou, ZHANG Yuxin, MA Jing, HOU Na, XING Changyang  
Department of Ultrasound Diagnostics, Tangdu Hospital, Air Force Medical University, Xi'an 710038, China

**ABSTRACT Objective** To evaluate the value of strain and strain rate in predicting the elastic function of common carotid artery in preeclampsia.**Methods** Thirty preeclampsia pregnant women (preeclampsia group) and 35 normal pregnant women (control group) with matched age and gestational age were selected for obstetric examination in our hospital. The common carotid artery intima-media thickness (IMT) was measured by ultrasonography in both groups. Vascular elasticity techniques were used to detect vascular elasticity indicators, including carotid artery dilation coefficient (DC), vascular stiffness ( $\beta$ ), pulse wave propagation velocity (PWV), arterial enhancement pressure (AP). X-strain technique was used to obtain the vascular strain indicators, including the circumferential strain and strain rate (EN-CS, EN-CSR) of vascular intima, circumferential strain and strain rate (EP-CS, EP-CSR) of vascular adventitia, radial strain and strain rate (RAD-S, RAD-SR). The strain and strain rate of common carotid artery were compared between the two groups. The correlation between vascular strain, strain rate and IMT, vascular elasticity were analyzed. Receiver operating characteristic curve was drawn to analyze the predictive value of strain and strain rate on the decrease of common carotid artery elastic function in preeclampsia.**Results** EN-CS, EN-CSR and RAD-SR in the preeclampsia group were significantly lower than those in the control group, and the differences were statistically significant (all  $P < 0.01$ ), and there were no statistically significant difference in residual strain index between the two groups. EN-CS, EN-CSR, EP-CS, EP-CSR, RAD-S and RAD-SR were negatively correlated with PWV,  $\beta$  and IMT in the

基金项目:陕西省科技计划项目基金(2011K15-02-05)  
作者单位:710038 西安市,空军军医大学唐都医院超声诊断科  
通讯作者:邢长洋, Email: xingy@fmmu.edu.cn

preeclampsia group (all  $P < 0.05$ ), positively correlated with DC and AP (both  $P < 0.05$ ). The area under curve of EN-CS, EN-CSR, RAD-SR and PWV for predicting the reduction of common carotid artery elastic function in preeclampsia were 0.74, 0.75, 0.84 and 0.68, respectively. **Conclusion** The cyclic strain rate and radial strain rate of common carotid artery are decreased in preeclampsia pregnant women, and significantly correlated with vascular elasticity index. Common carotid artery strain and strain rate have certain value in predicting the decrease of vascular elastic function in preeclampsia.

**KEY WORDS** Ultrasonography; Preeclampsia; Common carotid artery; Strain; Elastic

子痫前期是妊娠期妇女特有的一种以高血压和蛋白尿为主要临床表现的综合征,其发病率约为 3.7%~5.0%<sup>[1]</sup>,是导致孕产期和围生儿死亡的主要原因之一。目前公认的子痫前期最基本的病理生理特征为全身小动脉痉挛,但对较大血管的弹性功能是否异常研究较少。血管应变和应变率超声是在斑点追踪技术的基础上开发的检测动脉血管功能的技术,其主要测定动脉管壁长轴方向(径向)和横截面切线方向上(环向)的应变和应变率,可敏感反映血管形变能力。本研究旨在探讨应变及应变率预测子痫前期颈总动脉弹性功能的价值。

## 资料与方法

### 一、研究对象

选取 2011 年 2 月至 2012 年 1 月在我院门诊产检的单胎子痫前期孕妇 30 例(子痫前期组),年龄 22~41 岁,平均(28.92±5.56)岁,孕 28~39 周,平均孕(35.15±4.29)周;另选同期年龄、孕周与之匹配的 35 例单胎正常孕妇作为健康对照组,年龄 21~40 岁,平均(28.89±3.75)岁,孕 28~39 周,平均孕(34.11±3.69)周。子痫前期诊断标准<sup>[2]</sup>:妊娠 20 周后出现收缩压≥140 mm Hg (1 mm Hg=0.133 kPa)和(或)舒张压≥90 mm Hg 伴 24 h 蛋白尿≥0.3 g,或随机蛋白尿(+).排除合并与妊娠无关的心脏病,以及糖尿病、肾病、病毒性肝炎等。本研究经我院医学伦理委员会批准,所有研究对象均签署知情同意书。

### 二、仪器与方法

1. 仪器:使用百胜 MyLab Twice 彩色多普勒超声诊断仪,LA523 探头,频率 4~13 MHz;配有超声射频信号技术和内置数字化系统分析软件(QIMT 和 QAS),以及 MyLab Desk 分析工作站。

2. 方法:受检者取平卧位,休息 5 min 后,常规显示左侧颈总动脉,获取颈总动脉长轴切面。启用 QIMT 技术,将参考线放置在颈膨大处,取距此参考线 1 cm 以远颈总动脉作为感兴趣区域,长度 15 mm。实时测量左侧颈总动脉 6 个心动周期的内-中膜厚度(IMT),

当标准差≤15 μm 后冻结图像,取平均值作为受检者最终血管 IMT 值。然后启用 QAS 功能,系统自动定量检测 6 个心动周期,取平均值,计算血管弹性指标,包括颈总动脉扩张系数(DC)、血管僵硬度(β)、脉搏波传播速度(PWV)、动脉增强压(AP)等。启动应变追踪(X-strain)模式,获取同一位置血管图像,实时跟踪、描记血管壁运动轨迹,长轴切面将取样线置于血管后壁,短轴切面同时描记血管内膜及外膜,仪器自动计算该处颈总动脉应变及应变率值,即血管内膜环向应变及应变率(EN-CS、EN-CSR),外膜环向应变及应变率(EP-CS、EP-CSR),径向应变及应变率(RAD-S、RAD-SR)。以上操作均由两名经验丰富的超声医师完成。所有数据均重复测量 3 次取其平均值。

### 三、统计学处理

应用 SPSS 22.0 统计软件,计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,两组比较行  $t$  检验。相关性分析采用 Pearson 相关分析法。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析应变及应变率对子痫前期颈总动脉弹性功能降低的诊断效能。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、两组一般资料比较

子痫前期组体质质量指数、收缩压、舒张压及平均动脉压均高于健康对照组,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ );两组年龄、孕周及体表面积比较差异均无统计学意义。见表 1。

### 二、两组左侧颈总动脉应变参数比较

子痫前期组 EN-CS、EN-CSR、RAD-SR 均较对照组减低,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ );两组颈总动脉 EP-CS、EP-CSR、RAD-S 比较差异均无统计学意义。见图 1, 2 和表 2。

三、子痫前期组左侧颈总动脉应变及应变率与弹性指标的相关性

子痫前期组 EN-CS、EN-CSR、EP-CS、EP-CSR、RAD-S、RAD-SR 均与 PWV、β、IMT 呈负相关(均  $P < 0.05$ ),均与 DC、AP 呈正相关(均  $P < 0.05$ )。见表 3。

表 1 两组一般资料比较( $\bar{x}\pm s$ )

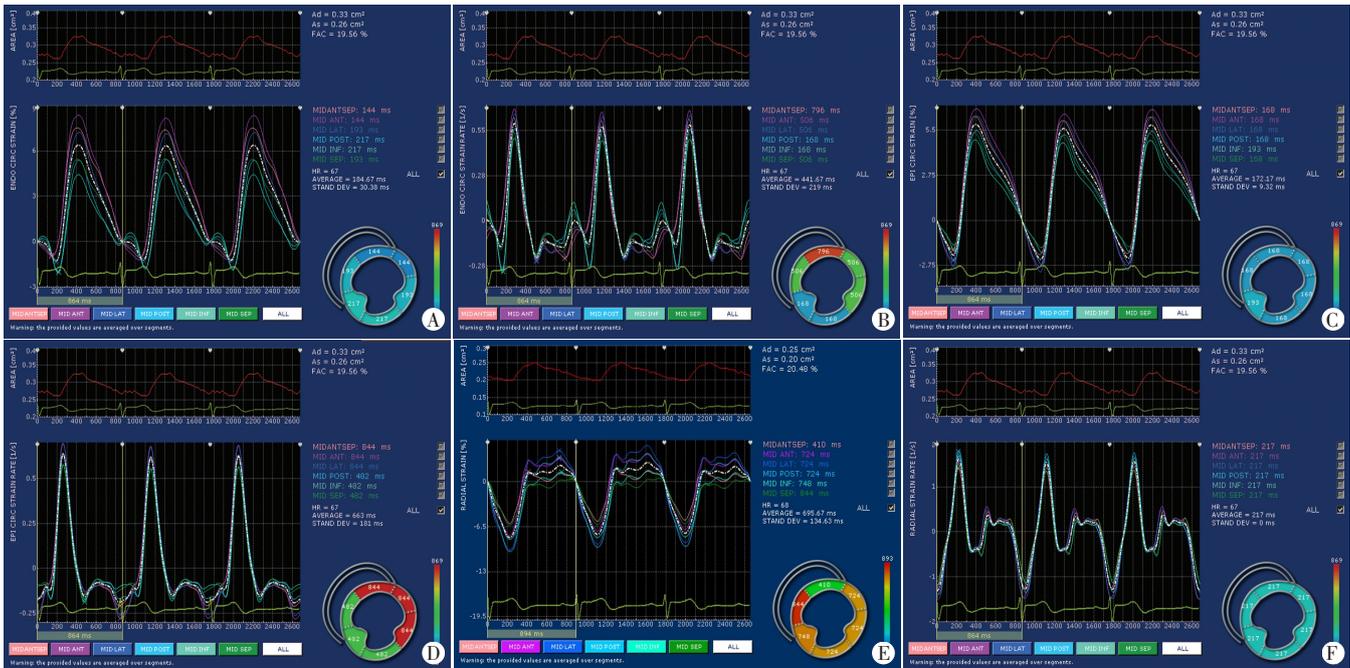
组别	年龄(岁)	孕周(周)	体质量指数(kg/m <sup>2</sup> )	体表面积(m <sup>2</sup> )	收缩压(mm Hg)	舒张压(mm Hg)	平均动脉压(mm Hg)
子痫前期组	28.92±5.56	35.15±4.29	27.47±3.77	1.73±0.15	133.55±14.23	95.82±10.65	107.53±10.55
健康对照组	28.89±3.75	34.11±3.69	25.85±2.53	1.69±0.11	111.43±13.53	75.23±9.34	87.53±9.63
t值	1.398	0.920	2.584	1.538	6.275	7.341	7.600
P值	0.168	0.541	0.012	0.130	<0.001	<0.001	<0.001

1 mm Hg=0.133 kPa



A:EN-CS 为 5.86%;B:EN-CSR 为 0.57 s<sup>-1</sup>;C:EP-CS 为 2.44%;D:EP-CSR 为 0.28 s<sup>-1</sup>;E:RAD-S 为 2.25%;F:RAD-SR 为 0.56 s<sup>-1</sup>

图 1 子痫前期组左侧颈总动脉应变及应变率曲线图



A:EN-CS 为 8.38%;B:EN-CSR 为 0.68 s<sup>-1</sup>;C:EP-CS 为 6.80%;D:EP-CSR 为 0.69 s<sup>-1</sup>;E:RAD-S 为 4.38%;F:RAD-SR 为 1.79 s<sup>-1</sup>

图 2 健康对照组左侧颈总动脉应变及应变率曲线图

表2 两组颈总动脉应变及应变率比较( $\bar{x}\pm s$ )

组别	EN-CS(%)	EN-CSR( $s^{-1}$ )	EP-CS(%)	EP-CSR( $s^{-1}$ )	RAD-S(%)	RAD-SR( $s^{-1}$ )
子痫前期组	5.31±2.38	0.67±0.27	5.62±2.76	0.61±0.24	5.94±2.95	0.81±0.33
健康对照组	6.64±1.13	0.89±0.19	5.21±1.37	0.69±0.18	6.13±5.92	1.60±0.84
<i>t</i> 值	3.119	3.837	0.631	1.429	0.207	4.333
<i>P</i> 值	0.003	<0.001	0.531	0.159	0.837	<0.001

EN-CS、EN-CSR: 血管内膜环向应变、应变率; EP-CS、EP-CSR: 血管外膜环向应变、应变率; RAD-S、RAD-SR: 血管径向应变、应变率

表3 子痫前期左侧颈总动脉应变及应变率与弹性指标相关性

参数	EN-CS		EN-CSR		EP-CS		EP-CSR		RAD-S		RAD-SR	
	<i>r</i> 值	<i>P</i> 值										
DC	0.350	<0.001	0.363	<0.001	0.493	<0.001	0.497	<0.001	0.452	<0.001	0.271	<0.001
$\beta$	-0.315	<0.001	-0.385	<0.001	-0.408	<0.001	-0.153	<0.001	-0.352	<0.001	-0.352	<0.001
PWV	-0.559	0.030	-0.470	<0.001	-0.487	0.083	-0.365	<0.001	-0.487	0.083	-0.365	<0.001
IMT	-0.190	<0.001	-0.081	<0.001	-0.006	<0.001	-0.030	<0.001	-0.190	<0.001	-0.146	<0.001
AP	0.101	<0.001	0.054	0.004	0.193	<0.001	0.313	0.007	0.101	<0.001	0.517	<0.001
ED	0.329	<0.001	0.167	<0.001	0.175	<0.001	0.287	<0.001	0.329	<0.001	0.331	<0.001

EN-CS、EN-CSR: 血管内膜环向应变、应变率; EP-CS、EP-CSR: 血管外膜环向应变、应变率; RAD-S、RAD-SR: 血管径向应变、应变率

#### 四、应变、应变率及PWV预测子痫前期颈总动脉弹性功能降低的价值

ROC曲线分析显示,应变、应变率及PWV可预测子痫前期颈总动脉弹性功能降低,其中RAD-SR的曲线下面积最大,为0.84,95%可信区间为(0.7396~0.9407);以0.56  $s^{-1}$ 为截断值,其特异性为82%,敏感性为74%。PWV的曲线下面积及95%可信区间为0.68(0.5324~0.8231),以7.30 m/s为截断值,其特异性为68%,敏感性为70%。EN-CS的曲线下面积及95%可信区间为0.74(0.5989~0.8869),以4.30%为截断值,其特异性为96%,敏感性为48%;EN-CSR的曲线下面积及95%可信区间为0.75(0.6120~0.8778),以0.39  $s^{-1}$ 为截断值,其特异性为82%,敏感性为57%。见图3。

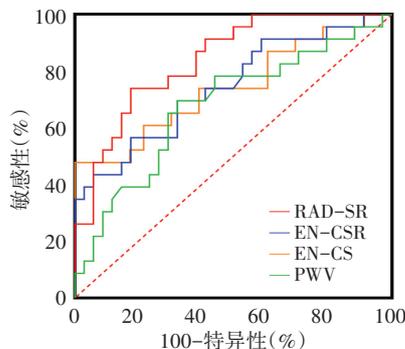


图3 应变、应变率及PWV预测子痫前期颈总动脉弹性功能降低的ROC曲线图

### 讨论

子痫前期是妊娠与高血压病并存的疾病,其基本

病理生理变化是全身小血管痉挛、内皮损伤及局部缺血,至今病因不明,但该病在胎盘娩出后常很快缓解或可自愈<sup>[2]</sup>。超声作为一种无创、无辐射、方便的检查手段,不仅可以显示形态结构异常,还可以提供血管弹性及应变指标,为子痫前期孕妇血管功能提供多维评估信息。由于应变和应变率成像具有很高的时间和空间分辨力,故可应用应变和应变率成像评价动脉壁的运动情况,直接反映局部动脉壁真正弹性,且无角度依赖性<sup>[3]</sup>。此外,传统评价血管顺应性及僵硬度的指标如PWV、增强指数(AIx)等是一种间接评价血管僵硬度的指标,影响因素较多<sup>[4-5]</sup>。从解剖结构上的变化来说,普通高血压病可能主要是内中膜增厚甚至是斑块导致血管弹性降低,而子痫前期孕妇的病理基础是血管内皮细胞受损导致全身小动脉痉挛,可能解剖结构无显著变化,因此传统的弹性指标可能不如应变那么适合此类人群。本研究采用X-strain检测的血管环向应变、应变率可直接反映颈总动脉横断面管壁在切线方向上的弹性变化,能够更好地反映颈总动脉局部管壁的真实弹性功能。

子痫前期孕妇血压升高时由于机械应力增加与/或促肥厚性体液因素活化增强,导致血管肥厚与细胞外基质中胶原累积<sup>[6]</sup>。动脉的早期损伤,主要因内皮细胞损伤而引起动脉内皮依赖性和非内皮依赖性舒张功能异常,若血压持续升高,则动脉内膜受损,中膜平滑肌大量增生而使管壁增厚<sup>[7]</sup>。本课题组前期研究<sup>[8]</sup>发现,妊娠期高血压病孕妇颈总动脉IMT显著高于健康对照者,其血管弹性降低,僵硬增加,各项血

管硬度指标 PWV、AIx 等均升高,差异均有统计学意义(均  $P < 0.01$ )。本研究结果显示子痫前期组 EN-CS、EN-CSR 及 RAD-SR 均较健康对照组降低,差异均有统计学意义(均  $P < 0.01$ ),说明子痫前期弹性血管的应变及应变率降低,尤其是内膜环向应变及应变率,提示子痫前期颈总动脉不仅血管弹性降低,其形变能力也降低,这可能是该类孕妇将来心血管疾病发生风险明显增高的主要原因之一。本研究结果还显示,子痫前期组颈总动脉 EN-CS、EN-CSR、EP-CS、EP-CSR、RAD-S、RAD-SR 均与 PWV、 $\beta$ 、IMT 呈负相关(均  $P < 0.05$ ),均与 DC、AP 呈正相关(均  $P < 0.05$ ),说明颈总动脉应变指标尤其是环向应变与血管弹性指标显著相关,提示子痫前期血管形变能力降低可能与血管僵硬增加有关。

本研究 ROC 曲线分析显示,RAD-SR 的曲线下面积最大,明显高于 PWV(0.84 vs. 0.68),且敏感性和特异性均有提高(74% vs. 70%、82% vs. 68%),说明其对子痫前期颈总动脉弹性功能降低的判断价值最大。EN-CS、EN-CSR 也具有一定的判断价值,曲线下面积(0.74、0.75)均高于 PWV,且特异性较好,但其敏感性略低于 PWV,这可能是因为其数值范围较小,组间区分度较差。与应变及应变率比较,PWV 具有中等程度的判断价值,从技术上讲,其图像采集难度与颈总动脉应变及应变率相当,但其无需后处理即可测得,因此在无法进行颈总动脉应变及应变率测量时,可以采用 PWV 进行预判,其敏感性略高于 EN-CS、EN-CSR。总之,应变及应变率可用于评估子痫前期颈总动脉弹性功能降低,且优于传统的弹性指标。

本研究局限性:①病例数偏少,且未对妊娠期高

血压病严重程度进行详细分类和比较分析;②仍需对子痫前期孕妇分娩后颈动脉血管应变及弹性指标进行随访观察,为进一步了解其血管病理改变和预测心血管事件发生提供更多信息。

综上所述,子痫前期颈总动脉血管环向应变及径向应变率均降低,且与血管弹性指标显著相关。颈总动脉应变及应变率可用于预测子痫前期血管弹性功能降低,且优于传统的弹性指标。

#### 参考文献

- [1] Hasija A, Balyan K, Debnath E, et al. Prediction of hypertension in pregnancy in high risk women using maternal factors and serial placental profile in second and third trimester [J]. Placenta, 2021, 104(1): 236-242.
- [2] 谢幸, 苟文丽. 妇产科学[M]. 8版. 北京: 人民卫生出版社, 2013: 64-71.
- [3] 邓尧, 谢明星, 吕清, 等. 二维斑点追踪成像技术评价正常成人颈动脉环向应变[J]. 临床超声医学杂志, 2014, 16(4): 228-230.
- [4] Gale NS, Albarrati AM, Munnery MM, et al. Aortic pulse wave velocity as a measure of cardiovascular risk in chronic obstructive pulmonary disease: two-year follow-up data from the ARCADE study [J]. Medicina (Kaunas), 2019, 55(4): 89.
- [5] 董虹美, 冉素真. 不同超声技术评价颈动脉弹性的研究进展[J]. 临床超声医学杂志, 2020, 22(9): 691-693.
- [6] Rana S, Lemoine E, Granger JP, et al. Preeclampsia: pathophysiology, challenges, and perspectives [J]. Circ Res, 2019, 124(7): 1094-1112.
- [7] 张宏春, 李朝军, 彭涛. 高血压患者血管僵硬与心功能相互关系初步研究[J]. 医学影像学杂志, 2010, 20(7): 958-960.
- [8] 薛丹, 袁丽君, 段云友, 等. 超声射频信号技术分析妊娠高血压综合征孕妇颈动脉血管功能的研究[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2012, 9(6): 487-490.

(收稿日期: 2021-03-17)

## 《临床超声医学杂志》征订启事

《临床超声医学杂志》是经国家科委批准,集超声影像诊断、治疗、工程及基础研究为一体的科技刊物。国内外公开发行,月刊。为“中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊”、“中国科技核心期刊(中国科技论文统计源期刊)”。设有临床研究、实验研究、综述、经验交流、病例报道、述评、专家讲座及译文等栏目,报道超声医学领域影像诊断与治疗的先进技术和前沿进展,为广大临床超声医师和研究人员提供良好的学术交流平台。

本刊刊号:ISSN 1008-6978;CN 50-1116/R。邮发代号:78-116。

每期定价:19元,全年228元(含邮寄费)。请到全国各地邮局订阅,也可直接向本刊编辑部订阅。

地址:重庆市渝中区临江路74号,重庆医科大学附属第二医院内,临床超声医学杂志编辑部。邮编:400010

电话:023-63811304,023-63693117。Email:lccscq@vip.163.com