

应用脉搏波传导速度评估重度子痫前期患者颈动脉弹性

赵晓宇 窦水秀 丁琳茹 杜亚倩 张映安 何银芳 许建萍

摘要 目的 探讨脉搏波传导速度(PWV β)评估重度子痫前期(SPE)患者颈动脉弹性的临床价值。方法 随机选取我院SPE患者64例(SPE组)和正常妊娠妇女31例(对照组),两组均于产前、产后记录一般临床资料并行双侧颈总动脉超声检查;使用M型超声获取双侧颈总动脉中段收缩末期内径(Ds)、舒张末期内径(Dd);使用血管内中膜定量分析(QIMT)技术获取双侧颈总动脉中段平均内中膜厚度(IMT),计算PWV β ,并进行统计学分析。结果 SPE组产前检查时间为孕(32.29 \pm 4.18)周,产后复查时间为(21.79 \pm 5.03)周;对照组产前检查时间为孕(33.45 \pm 5.38)周,产后复查时间为(21.97 \pm 3.80)周,两组比较差异均无统计学意义。①组间比较:产前,SPE组体质量、体质量指数(BMI)、收缩压、舒张压、Ds、Dd、IMT及PWV β 均较对照组增加(均 $P<0.05$);产后,SPE组体质量、BMI、收缩压、舒张压、IMT及PWV β 均较对照组增加(均 $P<0.05$);②组内比较:SPE组产后体质量、BMI、Ds、Dd、PWV β 均较产前减低(均 $P<0.05$);对照组产后体质量、BMI、Ds、Dd均较产前减低(均 $P<0.05$),PWV β 呈减低趋势,但差异无统计学意义。与对照组产前后PWV β 变化值比较,SPE组产前后PWV β 变化值呈增加趋势,但差异无统计学意义。所有受试者及SPE组PWV β 与年龄、体质量、BMI、收缩压、舒张压、Ds及Dd均呈正相关($R_{\text{all}}=0.23、0.29、0.30、0.43、0.28、0.24、0.38$; $R_{\text{SPE}}=0.20、0.26、0.27、0.33、0.17、0.20、0.34$,均 $P<0.05$);其中Ds、Dd、收缩压及舒张压均为影响颈动脉PWV β 的独立危险因素(均 $P<0.01$)。结论 应用PWV β 可准确评估SPE患者颈动脉弹性;SPE患者产前PWV β 增加,颈动脉硬度增加,弹性功能已经受损;产后平均21.79周颈动脉弹性虽有明显恢复但未恢复至正常妊娠妇女产后同期状态,这与SPE患者产后Ds、Dd、收缩压及舒张压等恢复情况相关。

关键词 脉搏波传导速度;子痫前期,重度;颈动脉弹性

[中图分类号]R445.1;R714.246

[文献标识码]A

Evaluation of carotid elasticity in patients with severe preeclampsia using pulse wave velocity

ZHAO Xiaoyu, DOU Shuixiu, DING Linru, DU Yaqian, ZHANG Ying'an, HE Yinfang, XU Jianping

Department of Ultrasonography, the First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China

ABSTRACT Objective To explore the clinical value of pulse wave velocity (PWV β) in evaluating the elasticity of carotid artery in patients with severe preeclampsia (SPE). **Methods** Sixty-four patients with SPE (SPE group) and 31 women with normal pregnancy (control group) were randomly selected in our hospital. The general clinical data were recorded and bilateral common carotid artery ultrasound examination was performed in both groups antepartum and postpartum. The end systolic diameter (Ds) and end diastolic diameter (Dd) of bilateral common carotid artery were obtained by M-mode ultrasound. Mean intima-media thickness (IMT) in the middle segment of bilateral common carotid artery was obtained by quality intima-media thickness (QIMT) technique. PWV β was calculated for statistical analysis. **Results** In SPE group, the prenatal examination was at (32.29 \pm 4.18) gestational weeks and the postnatal review time was at (21.79 \pm 5.03) weeks, and in control group, the prenatal examination was at (33.45 \pm 5.38) gestational weeks and the postnatal review time was at (21.97 \pm 3.80) weeks, there were no significant difference between the two groups. ① Comparison between groups: before birth, the body mass, body mass index

基金项目:山西省科技攻关项目(社会发展)(20130313061-10)

作者单位:030001 太原市,山西医科大学第一医院超声影像科(赵晓宇、窦水秀、丁琳茹、杜亚倩、许建萍),妇产科(张映安、何银芳)

通讯作者:许建萍, Email: xujp1972@163.com

(BMI), systolic pressure, diastolic pressure, Ds, Dd, IMT and PWV β of the SPE group were all increased compared with the control group (all $P < 0.05$). After delivery (average 21.79 weeks), body mass, BMI, systolic pressure, diastolic pressure, IMT and PWV β of the SPE group were increased compared with the control group (all $P < 0.05$). ② Comparison within the group: postpartum body mass, BMI, Ds, Dd, PWV β of the SPE group were decreased compared with antepartum (all $P < 0.05$), after delivery, body mass, BMI, Ds and Dd were decreased in the control group (all $P < 0.05$), PWV β showed a decreasing trend, but the difference was not statistical significance. Compared with the change of PWV β value before and after delivery in the control group, the change of PWV β value before and after delivery in the SPE group showed an increasing trend, but the difference was not statistically significant. PWV β were positively correlated with age, body mass, BMI, systolic pressure, diastolic pressure, Ds and Dd in all subjects and SPE groups ($R_{\text{all}} = 0.23, 0.29, 0.30, 0.43, 0.28, 0.24, 0.38, R_{\text{SPE}} = 0.20, 0.26, 0.27, 0.33, 0.17, 0.20, 0.34$, all $P < 0.05$). Ds, Dd, systolic pressure and diastolic pressure were independent risk factors for carotid PWV β (all $P = 0.01$).

Conclusion The carotid artery elasticity can be evaluated by PWV β . The increase of PWV β shows that the prenatal carotid artery elasticity has been damaged in patients with SPE. Although the carotid artery elasticity has recovered significantly after the average 21.79 weeks postpartum, it has not recovered to the same postpartum state of women with normal pregnancy history. This is related to the recovery of postpartum Ds, Dd, systolic pressure and diastolic pressure in SPE patients.

KEY WORDS Pulse wave velocity; Preeclampsia, severe; Carotid elasticity

重度子痫前期 (severe preeclampsia, SPE) 是指在子痫前期基础上合并严重临床表现的一种妊娠期高血压疾病, 发生率约 2%~8%, 其后期心血管疾病发病率较正常妊娠史妇女增加 2 倍^[1]。研究^[2]表明, SPE 患者妊娠期间即存在颈动脉功能损伤, 但由于 SPE 特殊生理病理状态其检测手段较少, 预测较为困难。颈动脉弹性变化作为心血管疾病独立预测因子已被广泛认同, 对动脉早期病变及后期心血管疾病患病风险及发病率的预测具有重要价值^[3]。本研究通过测量脉搏波传导速度 (PWV β), 观察 SPE 患者产前、产后颈动脉弹性是否受损, 旨在为临床了解、认识、预测及评估 SPE 患者潜在的心血管系统亚临床状态并为后期的干预和管理提供可靠的依据。

资料与方法

一、研究对象

收集 2013 年 7 月至 2017 年 12 月在我院诊治的 SPE 孕妇 64 例 (SPE 组), 年龄 22~39 岁, 平均 (29.75 \pm 4.17) 岁, 孕 21.67~40 周, 平均孕 (32.29 \pm 4.18) 周; 另选年龄、孕周与之相匹配的正常妊娠妇女 31 例 (对照组), 年龄 23~36 岁, 平均 (28.71 \pm 3.23) 岁, 孕 22.00~40.57 周, 平均孕 (33.45 \pm 5.38) 周。纳入标准: 参照第 8 版《妇产科学》诊断标准, 并经临床及影像学检查确诊为 SPE^[4]。所有研究对象均于产前、产后行相关临床资料采集及颈动脉超声检测。排除标准: 动脉系统疾病、心律失常、先天性心脏病、心脏瓣膜病及左室射血分数 < 50% 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

使用 Philips iE 33 彩色多普勒超声诊断仪, L11-3 探头, 频率 3~11 MHz。受检者取平卧位, 连接三导联心电图, 按照中国医师协会超声医师分会血管和浅表器官超声检查指南^[5]对颈动脉进行观测。在灰阶模式下, 探头置于颈部, 清晰显示颈总动脉中段图像时, 采集并储存 6 个心动周期图像; 启动 M 型超声获取颈动脉 M 型曲线, 测量收缩末期内径 (Ds)、舒张末期内径 (Dd); 启动血管内中膜定量分析 (quality intima media thickness, QIMT) 技术测得颈总动脉中段内中膜平均厚度 (IMT); 并计算 PWV β , 公式: $PWV\beta = \sqrt{\frac{\beta \cdot Pd}{2\rho}}$, $\beta = \ln(Ps/Pd) / [(Ds - Dd) / Dd]$ ^[6], ρ 为血液密度 1.05 kg/m³, Ps: 收缩压, Pd: 舒张压。

三、统计学处理

应用 SPSS 24.0 统计软件, 计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 两组比较行独立样本 t 检验; 组内比较行配对样本 t 检验。应用 Pearson 相关分析法分析 PWV β 与一般临床资料及颈动脉基础参数间的关系。采用多元线性回归分析法分析 PWV β 的独立影响因素。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、两组一般资料比较

组间比较: SPE 组产前检查时间为孕 (32.29 \pm 4.18) 周, 产后复查时间为 (21.79 \pm 5.03) 周; 对照组产前检查时间为孕 (33.45 \pm 5.38) 周, 产后复查时间为 (21.97 \pm 3.80) 周; 两组产前检查孕周和产后复查时间比较差异均无统计

学意义。两组年龄、身高、产前及产后心率比较差异均无统计学意义;SPE组产前及产后体质量、BMI、收缩压、舒张压,以及产前后收缩压变化值及舒张压变化值均较对照组增高,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。组内比较:两组产后体质量、BMI、心率均较产前减低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。见表1。

二、颈动脉弹性参数比较

各研究对象左、右侧颈动脉弹性参数比较差异均无统计学意义。见表2。故使用左、右侧颈动脉弹性参数均值进行比较。组间比较:产前,SPE组Ds、Dd、

IMT及PWV β 均较对照组增加,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);产后,SPE组IMT及PWV β 均较对照组增加,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);产前后差值比较,SPE组Ds、Dd及IMT均较对照组增加,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),PWV β 呈增加趋势,但差异无统计学意义。组内比较:SPE组产后Ds、Dd、PWV β 均较产后减低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);对照组产后Ds、Dd均较产前减低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),PWV β 呈减低趋势,但差异无统计学意义。见表3和图1,2。

表1 两组一般资料比较($\bar{x}\pm s$)

组别	年龄(岁)	身高(cm)	产前					产后					产前后血压变化值(kPa)	
			心率(次/min)	体质量(kg)	BMI(kg/m ²)	收缩压(kPa)	舒张压(kPa)	心率(次/min)	体质量(kg)	BMI(kg/m ²)	收缩压(kPa)	舒张压(kPa)	收缩压(kPa)	舒张压(kPa)
SPE组	29.75±4.17	161.66±4.74	81.07±13.02	78.73±11.98	30.08±4.06	19.81±1.99	12.35±1.58	69.82±10.44*	65.77±10.77*	25.12±3.63*	15.92±1.41*	10.38±1.11*	3.83±2.20	2.29±1.54
对照组	28.71±3.23	161.94±5.10	83.21±13.11	70.90±10.31	27.05±3.84	14.91±1.15	8.99±1.18	67.44±8.95*	60.94±10.81*	23.25±4.13*	14.98±1.01	9.45±0.86	1.29±0.92	1.08±1.04
t值	2.430	0.012	1.952	3.691	4.017	5.973	1.578	1.346	2.185	2.715	3.303	3.751	7.934	4.494
P值	0.186	0.990	0.054	0.000	0.000	0.000	0.078	0.029	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

与同组产前比较,* $P<0.05$ 。BMI:体质量指数

表2 两组左、右侧颈动脉弹性参数比较($\bar{x}\pm s$)

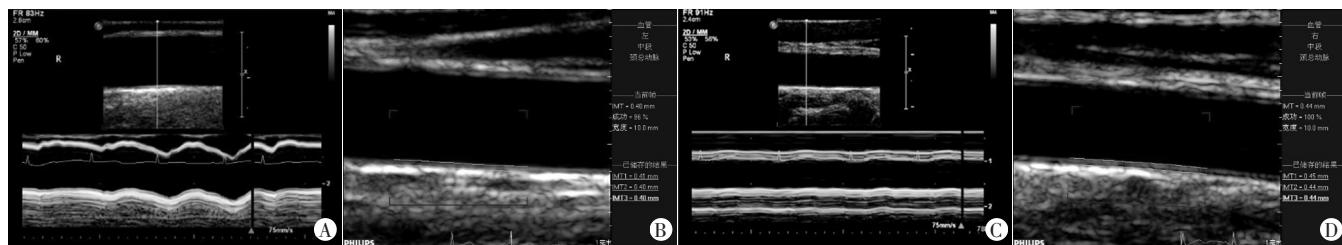
组别	右侧					左侧				
	心率(次/min)	Ds(mm)	Dd(mm)	IMT(mm)	PWV β (m/s)	心率(次/min)	Ds(mm)	Dd(mm)	IMT(mm)	PWV β (m/s)
SPE组										
产前	81.58±13.37	7.34±0.74	6.70±0.68	0.44±0.04	5.75±1.72	80.56±13.21	7.18±0.72	6.56±0.70	0.44±0.04	5.59±1.14
产后	70.11±9.80	6.10±0.93	5.55±0.88	0.47±0.04	4.99±1.52	70.63±9.30	6.04±0.91	5.55±0.88	0.47±0.05	5.14±2.18
对照组										
产前	82.97±12.96	6.60±0.61	5.94±0.53	0.43±0.03	4.61±1.11	83.45±14.14	6.38±0.47	5.81±0.44	0.44±0.03	4.91±1.08
产后	67.39±8.67	6.07±0.59	5.48±0.53	0.44±0.04	4.50±0.84	67.48±9.82	5.90±0.55	5.33±0.52	0.45±0.03	4.54±0.81

Ds:收缩末期内径;Dd:舒张末期内径;IMT:内中膜平均厚度;PWV β :脉搏波传导速度

表3 两组产前、产后颈动脉弹性参数比较($\bar{x}\pm s$)

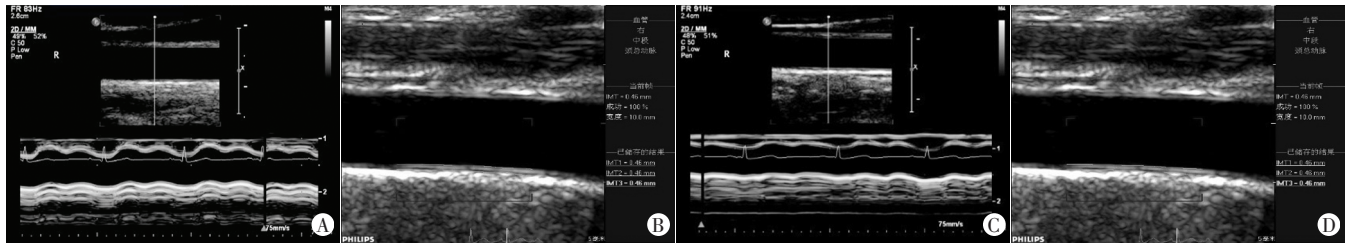
组别	产前				产后				产前后差值			
	Ds(mm)	Dd(mm)	IMT(mm)	PWV β (m/s)	Ds(mm)	Dd(mm)	IMT(mm)	PWV β (m/s)	Ds(mm)	Dd(mm)	IMT(mm)	PWV β (m/s)
SPE组	7.26±0.67	6.64±0.63	0.44±0.03	5.56±0.91	6.09±0.65*	5.63±0.65*	0.47±0.04	4.93±1.26*	1.24±0.74	1.10±0.65	0.03±0.03	1.16±0.90
对照组	6.49±0.50	5.87±0.44	0.43±0.02	4.64±0.77	5.99±0.53*	5.41±0.50*	0.44±0.03	4.44±0.56	0.63±0.47	0.60±0.41	0.02±0.01	0.93±0.60
t值	5.026	5.400	2.347	4.659	1.119	1.882	3.501	7.673	4.162	3.886	3.357	1.509
P值	0.000	0.000	0.019	0.000	0.263	0.060	0.000	0.042	0.000	0.000	0.001	0.135

与同组产前比较,* $P<0.05$ 。Ds:收缩末期内径;Dd:舒张末期内径;IMT:内中膜平均厚度;PWV β :脉搏波传导速度



A、B:孕35.71周,PWV β 5.15 m/s,IMT 0.40 mm;C、D:产后19.28周,PWV β 4.18 m/s,IMT 0.44 mm

图1 SPE组一30岁患者产前、产后声像图



A、B:孕35.43周,PWVβ 4.81 m/s,IMT 0.46 mm;C、D:产后21.87周,PWVβ 3.95 m/s,IMT 0.46 mm

图2 对照组—31岁研究对象产前、产后声像图

三、PWVβ及其影响因素的相关性分析

所有受试者及SPE组PWVβ与年龄、体质量、BMI、收缩压、舒张压、Ds及Dd均呈正相关(均 $P<0.05$)。见表4。

表4 颈动脉PWVβ与其影响因素的相关性分析

因素	SPE组		所有受试者	
	r值	P值	r值	P值
年龄	0.20	0.02	0.23	0.00
体质量	0.26	0.00	0.29	0.00
BMI	0.27	0.00	0.30	0.00
收缩压	0.33	0.00	0.43	0.00
舒张压	0.17	0.05	0.28	0.00
IMT	0.03	0.74	0.06	0.40
Ds	0.20	0.03	0.24	0.00
Dd	0.34	0.00	0.38	0.00

四、多因素分析

经多元线性回归分析发现,Ds、Dd、收缩压及舒张压均为影响颈动脉PWVβ的独立危险因素(均 $P<0.01$)。见表5。

表5 颈动脉PWVβ及其相关影响因素的回归分析

因素	SPE组				所有受试者			
	偏回归系数	标准偏回归系数	t值	P值	偏回归系数	标准偏回归系数	t值	P值
年龄	0.01	0.05	1.23	0.22	0.01	0.03	1.10	0.28
体质量	0.01	0.14	1.18	0.24	0.01	0.07	0.98	0.33
BMI	-0.04	-0.16	-1.40	0.17	-0.02	-0.09	-1.26	0.21
收缩压	0.29	0.62	12.90	0.00	0.30	0.91	19.25	0.00
舒张压	-0.30	-0.52	-11.04	0.00	-0.29	-0.64	-13.89	0.00
IMT	0.12	0.00	0.10	0.92	0.88	0.03	0.92	0.36
Ds	-4.29	-3.17	-21.58	0.00	-4.37	-3.25	-28.49	0.00
Dd	4.73	3.27	22.53	0.00	4.86	3.40	29.83	0.00

讨 论

妊娠期高血压疾病是现代孕产妇和围产儿死亡的主要原因之一,发生率约5%~12%^[1],其主要临床表现为血压升高(收缩压 ≥ 140 mm Hg和(或)舒张压 ≥ 90 mm Hg,1 mm Hg=0.133 kPa),随病情持续发展出现

不同程度的蛋白尿,甚至抽搐、昏迷;其发病机制虽未完全阐明但其基本病理生理变化以内皮细胞损伤,全身小血管痉挛为主要特征^[4]。妊娠期高血压疾病,特别是SPE病情复杂、变化快,各种生理变化及不良刺激均可能导致病情加重,全身器官不同程度损害,心血管系统损伤及疾病罹患风险率明显增加。颈动脉因其位置表浅、易于探测,目前已经被广泛作为预测心血管系统疾病的独立因子,且多项研究^[3,7]表明颈动脉结构及功能的评估能够独立预测临床和社区研究中心发生心血管事件的风险,对降低未来心血管疾病发病率及死亡率有重要价值。本研究应用PWVβ评估SPE患者颈动脉弹性,结果显示,无论产前还是产后,SPE组PWVβ均较对照组增加(均 $P<0.05$);SPE组产后PWVβ较产前减低($P<0.05$),对照组产后PWVβ呈减低趋势,但与产前比较,差异无统计学意义;与对照组产前后PWVβ差值比较,SPE组产前后PWVβ差值呈增加趋势,但差异无统计学意义;表明SPE患者产前颈动脉弹性已经损伤,产后虽有恢复但损伤仍持续存在。

SPE为多因素、多机制及多通路致病,其基本病理生理变化为血管内皮细胞损伤致脉管系统主动舒张功能障碍,血流剪切力与管壁应力失衡,致脉管系统功能损伤^[8]。Savvidou等^[9]应用脉搏波传导速度评估子痫前期患者颈动脉弹性,发现SPE患者产前颈动脉弹性减低,本研究与之结果一致。SPE患者血管内皮细胞损伤、血管活性物质比例失衡致全身小血管痉挛、外周阻力增加、心肌收缩增强,在血流动力学改变阶段动脉管壁同时通过重置管壁结构成分及层层复合角度等应对增加负载,如低应力弹性纤维向高应力胶原纤维转变、细胞外基质增生等^[10];多重因素作用下,SPE患者颈动脉管壁结构重塑,弹性功能减低^[11]。Grand'Maison等^[12]通过Meta回顾性分析发现,妊娠期高血压病患者产后3个月动脉系统舒张功能障碍仍持续存在;Christensen等^[13]回顾性分析子痫前期病史妇女与正常妊娠史妇女颈动脉结构及功能发现,产后10年子痫前期病史妇女PWVβ仍较正常妊娠史妇

女高($P<0.05$),而其他的动脉硬化变量无差异。产后SPE患者致病因素虽解除,但其引起的脉管系统病理变化需依赖内皮系统在血流动力学、生物因子水平等稳定状态下逐渐修复。本研究进一步分析显示,所有受试者及SPE组PWV β 与年龄、体质量、体质量指数、收缩压、舒张压、Ds及Dd均呈正相关,且Ds、Dd、收缩压及舒张压是PWV β 的独立危险因素。SPE患者产后体质量、BMI、血压等与产前状态相比虽有恢复,但与正常妊娠妇女产后相比仍较高,致管腔应力状态仍高于正常妊娠产后同期水平,且SPE组产前后颈动脉管径变化差值及血压变化差值均较对照组明显增高(均 $P<0.05$),影响内皮修复及功能恢复^[14]。

在正常妊娠状态下,血管结构及功能发生改变为适应血容量的增加及妊娠需求。Yuan等^[15]应用PWV β 等弹性参数评估正常妊娠妇女颈动脉弹性,研究结果显示正常妊娠妇女孕期PWV β 增加,产后PWV β 减低(均 $P<0.05$);而Iacobaeus等^[16]对正常妊娠妇女进行长期纵向研究,结果显示正常妊娠状态下PWV β 减低,产后PWV β 增加(均 $P<0.05$),本研究结果与之不同。分析原因为,正常妊娠状态下:一方面,母体血容量增加协同循环系统变化引起的管腔内径及管壁应力增加致管壁弹性发生改变;另一方面,血管活性物质等分泌水平增加致内皮系统舒张以适应增加的循环血容量,两方面协同变化以满足母体及胎儿需求。但这种协同变化是生理性的短暂过程还是可引起颈动脉结构及功能损害目前仍存有争议。

本研究局限性及不足:①患者依从性差,样本量偏少可能会对研究结果产生影响;②以患者安全为重,SPE患者在进行资料采集时均服用降血压药物,药物干预对相关参数测量或有影响;③本研究未将孕前检测参数纳入研究;④本研究试验期间SPE患者颈动脉仅弹性发生改变,并未发生中风、缺血性心脏病等心血管系统疾病,后期将进一步追踪,探讨SPE与心血管系统疾病发生间的关系。

综上所述,应用PWV β 可较准确地评估SPE患者颈动脉弹性;SPE患者产前颈动脉弹性已经受损,产后平均21.79周颈动脉弹性虽有明显恢复但未恢复至正常妊娠妇女产后同期状态。

参考文献

[1] None. ACOG Practice Bulletin No. 202 Summar: gestational hypertension and preeclampsia [J]. *Obstet Gynecol*, 2019, 133(1): 211-214.

- [2] Milic NM, Milin-Lazovic J, Weissgerber TL, et al. Preclinical atherosclerosis at the time of pre-eclamptic pregnancy and up to 10 years postpartum: systematic review and meta-analysis [J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2017, 49(1): 110-115.
- [3] Thomas H, Marwick M, PHD, et al. Recommendations on the use of echocardiography in adult hypertension: a report from the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) and the American Society of Echocardiography (ASE) [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2015, 28(7): 727-754.
- [4] 谢幸, 苟文丽. 妇产科学 [M]. 8版. 北京: 人民卫生出版社, 2013: 64-71.
- [5] 中国医师协会超声医师分会. 血管和浅表器官超声检查指南 [M]. 北京: 人民军医出版社, 2011: 23-28.
- [6] Lim J, Pearman ME, Park W, et al. Impact of blood pressure perturbations on arterial stiffness [J]. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2015, 309(12): 1540-1545.
- [7] 吴猛, 周如海, 周微霞, 等. 剪切波弹性成像评价急性缺血性脑梗死患者颈动脉僵硬度的可行性分析 [J]. *临床超声医学杂志*, 2018, 20(6): 379-382.
- [8] Anta C, Cifkova R, Kotsis V. Hypertensive complications of pregnancy: a clinical overview [J]. *Metabolism*, 2018, 86(1): 102-111.
- [9] Savvidou MD, Kaihura C, Anderson JM, et al. Maternal arterial stiffness in women who subsequently develop pre-eclampsia [J]. *PLoS One*, 2011, 6(5): e18703.
- [10] 罗向红, 邵思惠, 吴蓉, 等. 基于超声剪切波技术探讨颈动脉粘弹性与其机械特性的关系 [J]. *临床超声医学杂志*, 2019, 21(10): 734-738.
- [11] Tihonen KM, Koobi T, Uotila JT. Arterial stiffness in preeclamptic and chronic hypertensive pregnancies [J]. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 2006, 128(1-2): 180-186.
- [12] Grand' Maison S, Pilote L, Okano M, et al. Markers of vascular dysfunction after hypertensive disorders of pregnancy: a systematic review and Meta-analysis [J]. *Hypertension*, 2016, 68(6): 116.
- [13] Christensen M, Kronborg CS, Eldrup N, et al. Preeclampsia and cardiovascular disease risk assessment - Do arterial stiffness and atherosclerosis uncover increased risk ten years after delivery? [J]. *Pregnancy Hypertension*, 2016, 6(2): 110-114.
- [14] Niemczyk NA, Bertolet M, Catov JM, et al. Common carotid artery intima-media thickness increases throughout the pregnancy cycle: a prospective cohort study [J]. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2018, 18(1): 195.
- [15] Yuan LJ, Xue D, Duan YY, et al. Maternal carotid remodeling and increased carotid arterial stiffness in normal late-gestational pregnancy as assessed by radio-frequency ultrasound technique [J]. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2013, 13(1): 122.
- [16] Iacobaeus C, Andolf E, Thorsell M, et al. Longitudinal study of vascular structure and function during normal pregnancy [J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2017, 49(1): 46-53.

(收稿日期: 2019-10-15)