

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2022.07.004
文章编号: 1005-8982 (2022) 07-0018-06

心血管疾病·论著

速度向量成像技术评价不同心血管危险分层的 维持性血液透析患者颈动脉弹性的研究

张振¹, 夏纪筑¹, 王文渊¹, 彭雪莲¹, 黄志强¹, 欧三桃²

(1. 西南医科大学附属医院 1. 超声医学科, 2. 肾内科, 四川 泸州 646099)

摘要: **目的** 探讨速度向量成像(VVI)技术对不同心血管危险分层的维持性血液透析(MHD)患者颈动脉弹性评价的临床价值。**方法** 选取2019年7月—2020年1月西南医科大学附属医院100例MHD患者, 根据弗雷明汉风险评分将其分为低危组、中危组及高危组, 同期选取该院40例健康志愿者作为对照组。常规超声测量各组颈动脉内-中膜厚度(IMT)、收缩期峰值血流速度(PSV)、舒张末期血流速度(EDV)、阻力指数等指标, VVI技术获取颈动脉收缩期峰值圆周应变(CS)、圆周应变率(CSR)及血管面积改变率(ΔS), 用脉压差(PP)校正CS, 即CS/PP。比较各组常规超声参数和VVI技术参数。Spearman法分析颈动脉常规超声参数与VVI技术参数的相关性和VVI技术参数与心血管危险分层的相关性。采用受试者工作特征(ROC)曲线分析VVI技术参数对高危型MHD患者的预测价值。**结果** 低危组、中危组、高危组及对照组的RI、PSV、EDV及IMT比较, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。低危组、中危组、高危组的CS、CSR、 ΔS 、CS/PP较对照组低($P < 0.05$), 中危组和高危组的CS、CSR、 ΔS 、CS/PP较低危组低($P < 0.05$); 中危组和高危组的CS/PP比较, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。IMT与CS、CSR、 ΔS 、CS/PP呈负相关($r_s = -0.452, -0.397, -0.464$ 和 -0.540 , 均 $P = 0.000$); PSV与CS、CSR、 ΔS 、CS/PP呈正相关($r_s = 0.293, 0.267, 0.384$ 和 0.266 , 均 $P = 0.000$); EDV与CS、CSR、 ΔS 、CS/PP呈正相关($r_s = 0.334, 0.342, 0.390$ 和 0.426 , 均 $P = 0.000$); RI与CS/PP呈负相关($r_s = -0.214, P = 0.011$), 但RI与CS、CSR、 ΔS 无关($r_s = -0.086, -0.156$ 和 $-0.117, P = 0.311, 0.065$ 和 0.170)。CS、CSR、 ΔS 、CS/PP与心血管危险分层呈负相关($r_s = -0.388, -0.529, -0.560$ 和 -0.397 , 均 $P < 0.05$)。ROC曲线结果显示, CS的ROC曲线下面积为0.826(95% CI: 0.738, 0.895), 敏感性为78.6%(95% CI: 0.683, 0.868), 特异性为81.3%(95% CI: 0.544, 0.960); CSR的ROC曲线下面积为0.712(95% CI: 0.613, 0.798), 敏感性为48.8%(95% CI: 0.377, 0.600), 特异性为87.5%(95% CI: 0.617, 0.984); ΔS 的ROC曲线下面积为0.743(95% CI: 0.645, 0.825), 敏感性为53.6%(95% CI: 0.424, 0.645), 特异性为87.5%(95% CI: 0.617, 0.984); CS/PP的ROC曲线下面积为0.888(95% CI: 0.810, 0.943), 敏感性为81.0%(95% CI: 0.709, 0.887), 特异性为87.5%(95% CI: 0.617, 0.984)。**结论** VVI技术能较好地评价不同心血管危险分层的维持性血液透析患者颈动脉弹性变化, 其参数与心血管危险分层相关, 为临床干预提供新的影像学证据。

关键词: 维持性血液透析; 速度向量成像; 心血管危险分层; 颈动脉; 应变

中图分类号: R692.5

文献标识码: A

Research of velocity vector imaging evaluating carotid arterial elasticity in maintenance hemodialysis patients with different cardiovascular risk stratification

Zhen Zhang¹, Ji-zhu Xia¹, Wen-yuan Wang¹, Xue-lian Peng¹, Zhi-qiang Huang¹, San-tao Ou²

(1. Department of Ultrasound, 2. Department of Nephrology, Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Luzhou, Sichuan 646099, China)

收稿日期: 2021-09-13

[通信作者] 夏纪筑, E-mail: xjz71@163.com

Abstract: Objective To explore the clinical value of velocity vector imaging (VVI) in the evaluation of carotid artery elasticity in maintenance hemodialysis patients with different cardiovascular risk stratification. **Methods** One hundred patients with maintenance hemodialysis (MHD) were divided into low risk group, intermediate risk group, and high risk group, according to Framingham risk score, and another 40 healthy adults were selected as healthy control group. Carotid intima-media thickness (IMT), peak systolic velocity (PSV), end-diastolic velocity (EDV), and resistance index (RI) were measured by conventional ultrasound. The systolic peak circumferential strain (CS), circumferential strain rate (CSR), and vascular area change rate (ΔS) of common carotid artery were obtained by VVI technique. CS was adjusted for pulse pressure (CS/PP). Statistical analysis was performed on each parameter. **Results** CS, CSR, ΔS , and CS/PP in low risk group, intermediate risk group, and high risk group were significantly lower than those in control group, while CS, CSR, ΔS , and CS/PP in intermediate risk group and high risk group were lower than those in low risk group ($P < 0.05$). There was significant difference in CS/PP between intermediate risk group and high risk group ($P < 0.05$). IMT and CS, CSR, ΔS , CS / PP was negatively correlated ($r_s = -0.452, -0.397, -0.464$ and -0.540 , all $P = 0.000$); PSV and CS, CSR, ΔS , CS / PP was positively correlated ($r_s = 0.293, 0.267, 0.384$ and 0.266 , all $P = 0.000$); EDV and CS, CSR, ΔS , CS / PP was positively correlated ($r_s = 0.334, 0.342, 0.390$ and 0.426 , all $P = 0.000$); RI was negatively correlated with CS / PP ($r_s = -0.214, P = 0.011$), but RI was not correlated with CS, CSR, ΔS ($r_s = -0.086, -0.156$ and $-0.117, P = 0.311, 0.065$ and 0.170). CS, CSR, ΔS , CS/PP was negatively correlated with cardiovascular risk stratification ($r_s = -0.388, -0.529, -0.560$ and -0.397 , all $P < 0.05$). The diagnostic value of CS, CSR, ΔS , and CS/PP was evaluated with ROC curve. The area under the ROC curve of CS was 0.826 (95% CI: 0.738, 0.895), the sensitivity was 78.6% (95% CI: 0.683, 0.868), and the specificity was 81.3% (95% CI: 0.544, 0.960); the area under the ROC curve of CSR was 0.712 (95% CI: 0.613, 0.798), the sensitivity was 48.8% (95% CI: 0.377, 0.600), and the specificity was 87.5% (95% CI: 0.617, 0.984); the area under the ROC curve of ΔS was 0.743 (95% CI: 0.645, 0.825), the sensitivity was 53.6% (95% CI: 0.424, 0.645), and the specificity was 87.5% (95% CI: 0.617, 0.984); the area under the ROC curve of CS/PP was 0.888 (95% CI: 0.810, 0.943), the sensitivity was 81.0% (95% CI: 0.709, 0.887), and the specificity was 87.5% (95% CI: 0.617, 0.984). **Conclusions** Velocity vector imaging can assess changes of carotid artery elasticity in maintenance hemodialysis patients with different cardiovascular risk strata, of which parameters correlate with cardiovascular risk stratification, providing new imaging evidence for clinical intervention.

Keywords: maintenance hemodialysis; velocity vector imaging; cardiovascular risk stratification; carotid arteries; strain

慢性肾脏疾病(chronic kidney disease, CKD)一直以来都威胁着人类的健康,在老龄、糖尿病、高血压、环境等诸多因素的影响下,终末期肾衰竭患者的人数不断增加,成为人们日益关注的焦点。维持性血液透析(maintenance hemodialysis, MHD)是终末期肾衰竭患者治疗的主要选择,能延长其寿命,提高其生活质量,但心血管疾病是维持性血液透析患者的主要死因之一^[1]。近年来,速度向量成像(velocity vector imaging, VVI)技术广泛应用于颈动脉弹性评价的研究。因此,本研究通过VVI技术评价不同心血管危险分层的MHD患者颈动脉弹性功能,探讨其在MHD患者心血管危险分层中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取2019年7月—2020年1月于西南医科大学附属医院血液透析中心行规律血液透析治疗的终末期肾衰竭患者100例。其中,男性65例,女性35例;年龄21~82岁,平均(53±14)岁;透析时间6~175个月,平均(41.32±33.83)个月;原发疾病:肾小球肾炎54例,高血压肾病18例,糖尿病肾病19例,多囊肾病2例,痛风肾病3例,梗阻性肾病4例。根据MHD患者的临床资料,对其进行弗雷明汉风险评分^[2],预测MHD患者10年心血管疾病的患病风险,根据总分将其分为低危组(<10%)54例、中危组(10%~20%)30例和高危组(>20%)16例。所有患者在本中心透析均采用FX80

或 TORAY1.5T 透析器和碳酸氢盐透析液,透析液流量为 500 mL/min,血流量为 220 ~ 300 mL/min。同期选取本院 40 例年龄和性别相匹配的健康志愿者作为对照组。其中,男性 25 例,女性 15 例;年龄 24 ~ 70 岁,平均(43 ± 17)岁;均经体检排除高脂血症、糖尿病、高血压、心脑血管疾病、肝肾疾病等。

1.2 方法

1.2.1 仪器与方法 采用西门子 ACUSON 超声诊断仪(型号:SC2000,德国西门子公司),受检者取仰卧位,充分暴露颈部,头偏向诊断仪对侧,在颈总动脉分叉下方 10 ~ 15 mm 处,调节二维图像,嘱受检者屏住呼吸,采集颈动脉短轴动态二维图像,若有斑块则避开,采集 3 个心动周期,并储存。采集图像时注意探头勿加压,并保持探头的稳定,同时在该处二维图像上采集并记录颈动脉内-中膜厚度(intima-media thickness, IMT)、收缩期峰值血流速度(peak systolic velocity, PSV)、舒张末期血流速度(end diastolic velocity, EDV)、阻力指数(resistance index, RI)。

1.2.2 VVI 图像分析 通过西门子超声诊断仪配套的 VVI 工作站分析颈动脉短轴二维图像,选择内膜清晰的切面,紧贴血管内膜顺时针手动描记颈动脉管壁,软件自动将管壁分为前壁、前外侧壁、后外侧壁、后壁、后内侧壁、前内侧壁 6 个节段,VVI 软件自动跟踪分析得出整体圆周应变(circumferential strain, CS)、圆周应变率(circumferential strain rate,

CSR)及 6 个节段的 CS、CSR 曲线,本研究采用的是整体的 CS、CSR 及血管面积改变率(ΔS)作为颈动脉弹性参数; ΔS 定义为血管横截面积(cross sectional area, CSA)的最大值和最小值的百分比改变;在超声检查完成后测量右上肢肱动脉血压,测量 3 次并取平均值;考虑脉压差(PP)对颈动脉应变的影响,对 CS 进行校正,即 CS/PP。

1.3 统计学方法

数据分析采用 SPSS 25.0 统计软件。计量资料以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)或中位数和四分位数[M(P_{25}, P_{75})]表示,比较用方差分析或 H 检验,进一步两两比较用 LSD- t 检验或 Kruskal-Wallis H 检验;相关性分析用 Spearman 法;绘制受试者工作特征(ROC)曲线。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 各组常规超声参数比较

低危组、中危组、高危组及对照组的 RI、PSV、EDV 及 IMT 比较,经方差分析或 H 检验,差异有统计学意义($P < 0.05$);进一步两两比较,与对照组比较,低危组、中危组、高危组 EDV 减缓、IMT 增加($P < 0.05$),中危组、高危组 RI 升高($P < 0.05$);与低危组比较,中危组、高危组 IMT 增加($P < 0.05$),高危组 EDV 减缓($P < 0.05$);高危组的 PSV 低于对照组、低危组及中危组($P < 0.05$)。见表 1。

表 1 各组常规超声参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	n	RI	PSV(m/s, $\bar{x} \pm s$)	EDV/(m/s, $\bar{x} \pm s$)	IMT[cm, M(P_{25}, P_{75})]
对照组	40	0.71 ± 0.08	0.63 ± 0.12	0.23 ± 0.08	0.63(0.59, 0.74)
低危组	54	0.74 ± 0.11	0.61 ± 0.16	0.16 ± 0.05 ^①	0.75(0.67, 0.78) ^①
中危组	30	0.80 ± 0.21 ^①	0.61 ± 0.11	0.15 ± 0.04 ^①	0.82(0.78, 0.91) ^{①②}
高危组	16	0.77 ± 0.07 ^①	0.50 ± 0.14 ^{①②③}	0.12 ± 0.04 ^{①②}	0.85(0.79, 0.96) ^{①②}
F/H 值		15.079	3.384	20.312	54.586
P 值		0.002	0.020	0.000	0.000

注:①与对照组比较, $P < 0.05$;②与低危组比较, $P < 0.05$;③与中危组比较, $P < 0.05$ 。

2.2 各组 VVI 技术参数比较

低危组、中危组、高危组及对照组的 CS、CSR、 ΔS 、CS/PP 比较,经方差分析,差异有统计学意义($P < 0.05$);两两比较,与对照组比较,低危组、中危组、高危组 CS、CSR、 ΔS 、CS/PP 降低

($P < 0.05$);与低危组比较,中危组、高危组 CS、CSR、 ΔS 、CS/PP 降低($P < 0.05$);中危组和高危组的 CS、CSR、 ΔS 比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);中危组和高危组的 CS/PP 比较,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 各组 VVI 技术参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	n	$\Delta S/\%$	CS/%	CSR/s	CS/PP
对照组	40	12.24 ± 3.74	4.97 ± 1.98	0.16 ± 0.04	0.10 ± 0.04
低危组	54	9.07 ± 3.69 ^①	3.74 ± 1.53 ^①	0.13 ± 0.04 ^①	0.07 ± 0.03 ^①
中危组	30	6.97 ± 3.22 ^{①②}	2.49 ± 1.47 ^{①②}	0.10 ± 0.03 ^{①②}	0.05 ± 0.02 ^{①②}
高危组	16	5.56 ± 2.11 ^{①②}	1.63 ± 0.65 ^{①②}	0.09 ± 0.05 ^{①②}	0.02 ± 0.01 ^{①②③}
F 值		20.262	22.957	15.557	29.540
P 值		0.000	0.000	0.000	0.000

注: ①与对照组比较, $P < 0.05$; ②与低危组比较, $P < 0.05$; ③与中危组比较, $P < 0.05$ 。

2.3 颈动脉常规超声参数与 VVI 技术参数的相关性

Spearman 相关分析结果显示, 颈动脉常规参数 IMT 与 CS、CSR、 ΔS 、CS/PP 呈负相关 ($r_s = -0.452$ 、 -0.397 、 -0.464 和 -0.540 , 均 $P = 0.000$); PSV 与 CS、CSR、 ΔS 、CS/PP 呈正相关 ($r_s = 0.293$ 、 0.267 、 0.384 和 0.266 , 均 $P = 0.000$); EDV 与 CS、CSR、 ΔS 、CS/PP 呈正相关 ($r_s = 0.334$ 、 0.342 、 0.390 和 0.426 , 均 $P = 0.000$); RI 与 CS/PP 呈负相关 ($r_s = 0.214$, $P = 0.011$), 但 RI 与 CS、CSR、 ΔS 无关 ($r_s = -0.086$ 、 -0.156 和 -0.117 , $P = 0.311$ 、 0.065 和 0.170)。

2.4 VVI 技术参数与心血管危险分层的相关性

根据 Spearman 相关分析结果显示, MHD 患者 CS、CSR、 ΔS 、CS/PP 与心血管危险分层呈负相关 ($r_s = -0.388$ 、 -0.529 、 -0.560 和 -0.397 , 均 $P = 0.000$)。

2.5 VVI 技术参数评价高危型 MHD 患者颈动脉弹性的预测价值

将 MHD 患者的低危组与中危组合为一组, 高危组为另一组。CS、CSR、 ΔS 、CS/PP 的 ROC 曲线结果显示: CS 的 ROC 曲线下面积为 0.826 (95% CI: 0.738, 0.895), 敏感性为 78.6% (95% CI: 0.683, 0.868), 特异性为 81.3% (95% CI: 0.544, 0.960); CSR 的 ROC 曲线下面积为 0.712 (95% CI: 0.613, 0.798), 敏感性为 48.8% (95% CI: 0.377, 0.600), 特异性为 87.5% (95% CI: 0.617, 0.984); ΔS 的 ROC 曲线下面积为 0.743 (95% CI: 0.645, 0.825), 敏感性为 53.6% (95% CI: 0.424, 0.645), 特异性为 87.5% (95% CI: 0.617, 0.984); CS/PP 的 ROC 曲线下面积为 0.810 (95% CI: 0.810, 0.943), 敏感性为 81.0% (95% CI: 0.709, 0.887), 特异性为 87.5% (95% CI: 0.617, 0.984)。见图 1。

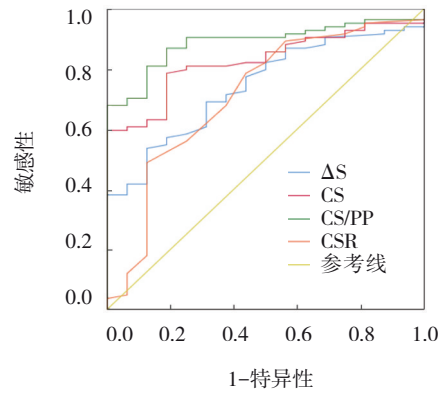


图 1 VVI 技术参数评价高危型 MHD 患者颈动脉弹性的 ROC 曲线

3 讨论

尽管透析技术在不断提高, 但心血管疾病仍是 MHD 患者主要死亡原因之一, 是决定其预后的重要因素^[3-4]。弗雷明汉风险评分是临床心血管疾病危险评分和筛查的工具, 根据评分可预测未来 10 年发生心血管事件的风险。有研究^[5]认为弗雷明汉风险评分是 MHD 患者发生心血管事件的独立危险因素。动脉粥样硬化是一个慢性炎症的过程, 是心血管疾病的早期改变及其发展的关键环节, 其中颈动脉反映了全身大血管粥样硬化的情况。超声检查是诊断、评估颈动脉粥样硬化的常用方法。

在常规超声参数中, IMT 是临床对颈动脉粥样硬化评价的最常用指标, 与弗雷明汉风险评分有相关性^[2]。IMT 增厚是反映早期动脉粥样硬化的标志^[6], 是心血管事件的独立预测因子^[7]。本研究结果显示 MHD 患者 IMT 较正常人增厚明显, 与 SHAKERI 等^[8]研究结果一致, 尤其是伴有糖尿病患者^[9]。IMT 在中危组与高危组之间无差异, 说明

IMT在中危组和高危组的心血管事件预测上存在一定的局限性。RI、PSV、EDV为评价颈部血管外周循环阻力及血流灌注稳定性的重要指标,PSV、EDV在低危组和中危组中无差异,RI在低危组和对照组中无差异,说明其对MHD患者心血管疾病预测作用有限。但PSV、EDV与 ΔS 、CS、CSR、CS/PP呈正相关,颈动脉血流参数在一定程度上与VVI技术参数对颈动脉的评价一致。

VVI技术是评价颈动脉的新技术^[10],既往多应用于心肌运动的研究,基于二维斑点追踪,通过二维超声像素的振幅和相位信息反映组织弹性等生物力学特性^[11]。大动脉由于受心脏收缩和舒张的影响,在圆周方向呈伸长或缩短变化,又称弹性动脉,根据这种形态改变的特点,通过VVI技术检测动脉壁的运动速度、CS、CSR来反映颈动脉弹性变化,具有实时、无角度依赖、操作简便、重复性好等优点。对颈动脉弹性评价的超声检测技术较多,各项新技术尚缺乏统一的诊断标准。而近年来,国内外已有学者将VVI技术应用于对颈动脉弹性评价的研究,获得颈动脉管壁形态改变的量化参数,用来反映颈动脉弹性改变,可以用于动脉粥样硬化的早期检测^[12],是评价血管弹性的良好指标^[13]。年龄、脉压是颈动脉应变最重要的决定因素^[14]。通过VVI技术对正常人的颈动脉特性进行评估,认为左颈总动脉6个节段的峰值CS、CSR等VVI技术参数在30岁时出现改变,随着年龄的增长而更加明显^[15]。本研究低危组、中危组、高危组的 ΔS 、CS、CSR、CS/PP较对照组低;相较于低危组,中危组和高危组 ΔS 、CS、CSR、CS/PP也明显降低;CS/PP在中危组和高危组之间有差异,说明VVI技术参数能有效地评价不同心血管危险层的颈动脉弹性改变。

本研究中VVI技术参数 ΔS 、CS、CSR、CS/PP与MHD患者心血管危险分层相关,ROC曲线得出 ΔS 、CS、CSR、CS/PP对临床评估高危型MHD患者具有一定的预测价值,其中CS/PP的敏感性、特异性分别为81.0%、87.5%,价值较高。因此,VVI技术评价不同心血管危险分层的MHD患者颈动脉弹性改变,可以为临床干预心血管事件提供新的影像学证据。在MHD患者中,由于受高龄、高血压、血脂代谢紊乱、营养不良、氧化应激、微炎症反应状态等危险因素影响^[16-17],内皮功能易受损,导致动脉粥样硬化,加

速了心血管事件的发生。在MHD患者颈动脉出现粥样硬化改变,导致颈动脉弹性下降的同时,可能没有伴随IMT的改变。FAVREAU等^[18]通过研究动脉硬化闭塞症的小鼠模型,发现动脉壁应变早于内膜增生。VVI技术参数 ΔS 、CS、CSR、CS/PP与IMT呈负相关,二者均能有效地评估颈动脉粥样硬化。相较于IMT偏向于评价颈动脉形态学改变,VVI技术参数能够有效地反映颈动脉的弹性改变,更加敏感地评价颈动脉功能的亚临床状态,因此,VVI技术能早期发现MHD患者颈动脉弹性改变,有效地评价不同心血管危险分层患者的颈动脉弹性变化。

本研究不足之处:①本研究随访时间较短,MHD患者在药物等相关治疗后VVI技术参数变化情况尚不清楚,有待长期随访观察。②本研究病例数较少,有待加大样本量,且透析龄是MHD患者心血管疾病死亡的危险因素^[19],未将透析龄纳入分组标准,故需改进后进一步探究不同透析龄的高血压患者颈动脉弹性的改变在心血管危险分层的价值。

综上所述,VVI技术能较好地评价不同心血管危险分层的维持性血液透析患者颈动脉弹性变化,其参数与心血管危险分层相关,为临床干预提供新的影像学证据。

参 考 文 献 :

- [1] O'LONE E, VIECELLI A K, CRAIG J C, et al. Establishing core cardiovascular outcome measures for trials in hemodialysis: report of an international consensus workshop[J]. *Am J Kidney Dis*, 2020, 76(1): 109-120.
- [2] TOUBOUL P J, VICAUT E, LABREUCHE J, et al. Correlation between the Framingham risk score and intima media thickness: the paroi artérielle et risque cardio-vasculaire (PARC) study[J]. *Atherosclerosis*, 2007, 192(2): 363-369.
- [3] MA L J, ZHAO S M. Risk factors for mortality in patients undergoing hemodialysis: a systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Cardiol*, 2017, 238: 151-158.
- [4] YU L, LI H, WANG S X, Serum magnesium and mortality in maintenance hemodialysis patients[J]. *Blood Purif*, 2017, 43 (1/3): 31-36.
- [5] 崔峥,张新天,顾俊毅,等.颈动脉超声参数在评价维持性血液透析患者动脉粥样硬化性心血管疾病中的应用[J].*中国医学影像技术*, 2012, 28(5): 894-898.
- [6] OLMASTRONI E, BARAGETTI A, CASULA M, et al. Multilevel models to estimate carotid intima-media thickness curves for individual cardiovascular risk evaluation[J]. *Stroke*, 2019, 50(7): 1758-1765.
- [7] AMATO M, VEGLIA F, de FAIRE U, et al. Carotid plaque-

- thickness and common carotid IMT show additive value in cardiovascular risk prediction and reclassification[J]. *Atherosclerosis*, 2017, 263: 412-419.
- [8] SHAKERI A, ABDI M, KHOSROSHAHI H T, et al. Common carotid artery intima-media thickness and atherosclerotic plaques in carotid bulb in patients with chronic kidney disease on hemodialysis: a case-control study[J]. *Pak J Biol Sci*, 2011, 14(17): 844-848.
- [9] EL-SHISHTAWY S H, MOSBAH O, SHERIF N, et al. Association between serum visfatin and carotid atherosclerosis in diabetic and non-diabetic patients on maintenance hemodialysis[J]. *Electron Physician*, 2016, 8(2): 1966-1972.
- [10] YURDAKUL S, ALIBAZ-ÖNER F, DIRESKENELI H, et al. Impaired cardiac and vascular motion in patients with Takayasu's arteritis: a velocity vector imaging-based study[J]. *Eur J Rheumatol*, 2018, 5(1): 16-21.
- [11] 刘秋颖, 贺声, 张云山, 等. 速度向量成像联合动脉健康评估软件评价健康成人颈动脉弹性及弹性储备[J]. *中国医学影像技术*, 2012, 28(12): 2159-2162.
- [12] SARIS A E C M, HANSEN H H G, FEKKES S, et al. In vivo blood velocity vector imaging using adaptive velocity compounding in the carotid artery bifurcation[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2019, 45(7): 1691-1707.
- [13] 曹丽, 张凯, 曾莎, 等. 老年代谢综合征患者颈动脉弹性的研究[J]. *中华老年医学杂志*, 2018, 37(12): 1379-1382.
- [14] YUDA S, KANEKO R, MURANAKA A, et al. Quantitative measurement of circumferential carotid arterial strain by two-dimensional speckle tracking imaging in healthy subjects[J]. *Echocardiography*, 2011, 28(8): 899-906.
- [15] YANG W I, SHIM C Y, BANG W D, et al. Asynchronous arterial systolic expansion as a marker of vascular aging: assessment of the carotid artery with velocity vector imaging[J]. *J Hypertens*, 2011, 29(12): 2404-2412.
- [16] 杨桂鲜, 吴艳波, 王晞, 等. 维持性血液透析患者微炎症与心血管事件关系研究[J]. *实用医学杂志*, 2012, 28(2): 251-253.
- [17] 袁静, 王聪, 李恒, 等. 维持性血液透析患者超滤率与心血管事件死亡的相关性[J]. *中华肾脏病杂志*, 2018, 34(10): 727-731.
- [18] FAVREAU J T, LIU C W, YU P, et al. Acute reductions in mechanical wall strain precede the formation of intimal hyperplasia in a murine model of arterial occlusive disease[J]. *J Vasc Surg*, 2014, 60(5): 1340-1347.
- [19] 王喆, 魏芳, 陈海燕, 等. 冠状动脉钙化与维持性血液透析患者预后的关系[J]. *中华肾脏病杂志*, 2017, 33(12): 900-905.

(张西倩 编辑)

本文引用格式: 张振, 夏纪筑, 王文渊, 等. 速度向量成像技术评价不同心血管危险分层的维持性血液透析患者颈动脉弹性的研究[J]. *中国现代医学杂志*, 2022, 32(7): 18-23.

Cite this article as: ZHANG Z, XIA J Z, WANG W Y, et al. Research of velocity vector imaging evaluating carotid arterial elasticity in maintenance hemodialysis patients with different cardiovascular risk stratification[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2022, 32(7): 18-23.