



高血压人群肱-踝动脉脉搏波传导速度与视网膜动脉硬化的关系

徐 慧, 刘晓华, 邵 燕

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2024-0385>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

原发性高血压儿童血清转化生长因子 β_1 与颈股动脉脉搏波传导速度的关系

中华高血压杂志. 2023, 31(11): 1025-1031 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2023.11.005>

盐摄入量对不同盐敏感性高血压患者反应性充血指数及颈-股动脉脉搏波传导速度的影响

中华高血压杂志. 2024, 32(3): 243-250 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2024.03.009>

臂踝动脉脉搏波传导速度联合脉压指数对老年高血压患者冠心病的诊断及预测价值

中华高血压杂志. 2024, 32(1): 51-56 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2024.01.011>

原发性高血压患者血清碱性磷酸酶与颈股动脉脉搏波传导速度的关系

中华高血压杂志. 2023, 31(4): 360-366 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2023.04.011>

上海地区中青年非高血压人群血压水平对臂踝动脉脉搏波传导速度的横向、纵向影响

中华高血压杂志. 2023, 31(5): 442-449 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2023.05.008>

高龄妊娠与女性分娩后动脉硬化的关系

中华高血压杂志. 2025, 33(4): 351-359 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2025.04.009>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

高血压人群肱-踝动脉脉搏波传导速度与视网膜动脉硬化的关系

徐慧¹, 刘晓华², 邵燕³

1. 杭州市拱墅区天水武林街道社区卫生服务中心慢病检查室, 浙江 杭州 310000; 2. 杭州市第一人民医院心血管内科; 3. 杭州市拱墅区天水武林街道社区卫生服务中心眼科

摘要: **目的** 探讨高血压人群肱-踝动脉脉搏波传导速度(baPWV)与视网膜动脉硬化的关系。**方法** 纳入2021年6月至2024年6月在杭州市拱墅区天水武林街道社区卫生服务中心的高血压患者2631例,所有患者均进行baPWV检测以及根据双眼眼底图像进行视网膜动脉硬化分级。其中高血压合并视网膜动脉硬化1131例(Scheie分级:1级475例,2级396例,3级203例,4级57例),高血压未合并视网膜动脉硬化1500例。采用逐步检验法结合Bootstrap法分析baPWV与视网膜动脉硬化相关性的中介因素(中介分析)。采用含交互项的多因素logistic回归模型分析baPWV与糖尿病、血脂异常的交互作用对视网膜动脉硬化的影响。**结果** 与未合并视网膜动脉硬化者比较,合并1~4级视网膜动脉硬化者baPWV逐渐升高[(1354±176)比(1367±178)、(1400±182)、(1495±194)、(1558±203) cm/s, $F=89.76$, $P<0.001$]。以视网膜动脉硬化分级为因变量,基线baPWV为自变量,高敏C反应蛋白(hsCRP)为中介变量进行分析,结果显示:baPWV通过升高hsCRP($\beta=0.12$, 95%CI: 0.05~0.19)间接促进视网膜动脉硬化($OR=1.41$, 95%CI: 1.12~1.78),中介效应值为0.042, Bootstrap 95%CI: 0.023~0.089, $P=0.002$ 。以基线baPWV为因变量,视网膜动脉硬化分级为自变量,外周血管阻力指数(PVRI)为中介变量进行分析,结果显示:视网膜动脉硬化分级升高可通过增加PVRI($\beta=0.85$, 95%CI: 0.32~1.38)间接导致baPWV升高($\beta=12.3$, 95%CI: 8.5~16.1),中介效应值为10.455, Bootstrap 95%CI: 3.21~17.70, 差异具有统计学意义。多因素logistic回归模型交互检验结果显示,与合并糖尿病人群比较,无合并糖尿病人群baPWV与高血压视网膜硬化的关联更明显(交互作用 $P=0.003$);与合并血脂异常人群比较,无合并血脂异常人群baPWV与高血压视网膜硬化的关联更明显(交互作用 $P=0.004$)。**结论** baPWV与视网膜动脉硬化存在双向因果路径,baPWV可能通过hsCRP促进视网膜动脉硬化,而视网膜动脉硬化可能通过PVRI反向升高baPWV。在无合并糖尿病和无合并血脂异常人群中的关联更明显。

关键词: 脉搏波传导速度; 视网膜动脉硬化; 高血压

Relationship between pulse wave velocity and retinal arteriosclerosis in hypertensive population

XU Hui¹, LIU Xiaohua², SHAO Yan³

1. Chronic Disease Examination Room, Tianshui Wulin Street Community Health Service Center, Gongshu District, Hangzhou, Zhejiang 310000, China; 2. Department of Cardiology, Hangzhou First People's Hospital; 3. Department of Ophthalmology, Tianshui Wulin Street Community Health Service Center, Gongshu District

Abstract: **Objective** To explore the relationship between brachial-ankle pulse wave velocity (baPWV) and retinal arteriosclerosis in hypertensive population. **Methods** A total of 2631 hypertensive patients admitted to Tianshui Wulin Street Community Health Service Center, Gongshu District, Hangzhou from June 2021 to June 2024 were enrolled. All patients underwent baPWV detection and retinal arteriosclerosis grading based on binocular fundus images. Among them, 1131 patients had hypertension combined with retinal arteriosclerosis (Scheie classification: 475 cases of grade 1, 396 cases of grade 2, 203 cases of grade 3, 57 cases of grade 4), and 1500 patients had hypertension without retinal arteriosclerosis. Stepwise test combined with Bootstrap method was used to analyze the mediating factors of the correlation between baPWV and retinal arteriosclerosis (mediation analysis). A multivariate logistic regression model with interaction terms

was used to analyze the interaction effect of baPWV with diabetes mellitus and dyslipidemia on retinal arteriosclerosis. **Results** Compared with patients without retinal arteriosclerosis, the baPWV in patients with grade 1-4 retinal arteriosclerosis gradually increased ($[1354 \pm 176]$ vs $[1367 \pm 178]$, $[1400 \pm 182]$, $[1495 \pm 194]$, $[1558 \pm 203]$ cm/s, $F=89.76$, $P<0.001$). Taking retinal arteriosclerosis grade as the dependent variable, baseline baPWV as the independent variable, and high-sensitivity C-reactive protein (hsCRP) as the mediating variable, the analysis showed that baPWV indirectly promoted retinal arteriosclerosis by increasing hsCRP ($\beta=0.12$, 95%CI: 0.05 to 0.19) ($OR=1.41$, 95%CI: 1.12 to 1.78), with a mediating effect value of 0.042 (Bootstrap 95%CI: 0.023 to 0.089, $P=0.002$). Taking baseline baPWV as the dependent variable, retinal arteriosclerosis grade as the independent variable, and peripheral vascular resistance index (PVRI) as the mediating variable, the analysis showed that the increase in retinal arteriosclerosis grade could indirectly lead to elevated baPWV ($\beta=12.3$, 95%CI: 8.5 to 16.1) by increasing PVRI ($\beta=0.85$, 95%CI: 0.32 to 1.38), with a mediating effect value of 10.455 (Bootstrap 95%CI: 3.21 to 17.70), and the difference was statistically significant. The results of the interaction test of the multivariate logistic regression model showed that compared with the population with diabetes mellitus, the association between baPWV and hypertensive retinal sclerosis was more significant in the population without diabetes mellitus (interaction $P=0.003$); compared with the population with dyslipidemia, the association between baPWV and hypertensive retinal sclerosis was more significant in the population without dyslipidemia (interaction $P=0.004$). **Conclusions** There is a bidirectional causal pathway between baPWV and retinal arteriosclerosis. baPWV may promote retinal arteriosclerosis through hsCRP, while retinal arteriosclerosis may reversely increase baPWV through PVRI. The association is more significant in populations without diabetes mellitus and without dyslipidemia.

Keywords: pulse wave velocity; retinal arteriosclerosis; hypertension

视网膜动脉硬化作为高血压靶器官损害在眼部的典型表现,不仅是评估高血压患者血管病变程度的重要窗口,还与心脑血管疾病的发生风险密切相关,因此,早期识别并明确其相关影响因素对高血压患者的病情监测与预后改善具有重要临床意义^[1-2]。国内外学者针对高血压患者视网膜动脉硬化的相关研究已取得一定进展。现有研究证实,年龄、高血压病程、血压控制水平、血糖、血脂等传统心血管危险因素与视网膜动脉硬化的发生发展存在关联^[3]。随着血管功能与结构评估技术的不断发展,肱-踝动脉脉搏波传导速度(brachial-ankle pulse wave velocity, baPWV)作为反映动脉弹性功能的经典指标,与高血压相关靶器官损害的关系也成为研究热点。已有研究发现,baPWV升高与高血压患者心、肾等靶器官损害存在密切联系^[4]。Laurent等^[5]明确指出,baPWV ≥ 1400 cm/s可作为动脉硬化的诊断界值,其对心血管事件的预测价值优于传统外周血压。Dong等^[6]在我国社区人群中的研究也发现,baPWV升高者(≥ 1400 cm/s)发生靶器官损害(如左心室肥厚、微量白蛋白尿)的风险是正常者的1.87倍(95%CI: 1.32~2.65),且该关联独立于血压控制水平。现有研究尚未明确baPWV与视网膜动脉硬化的双向作用机制,尤其是炎症反应和外周血管阻力在其中的中介效应尚不清晰。高敏C反应蛋白(high-sensitivity C-reactive protein, hsCRP)作为慢性炎症的核心标志物,已被证实与动脉粥样硬化及微血管损伤密切相关;外周血管阻力指数(peripheral vascular resistance index, PVRI)可反映全身血管阻力状态,可能介导小血管病

变对中大动脉弹性的反向影响。因此,本研究通过中介分析,引入hsCRP和PVRI作为关键中介变量,以2021年6月至2024年6月杭州市拱墅区天水武林街道社区卫生服务中心纳入的2631例高血压患者为研究对象,通过检测baPWV水平和视网膜动脉硬化分级,旨在为高血压患者眼部靶器官损害的早期识别和风险分层提供临床依据。

1 对象与方法

1.1 对象 纳入2021年6月至2024年6月在杭州市拱墅区天水街道社区卫生服务中心就诊的高血压患者2631例。所有患者均进行baPWV检测及根据双眼眼底图像进行视网膜动脉硬化分级。其中高血压合并视网膜动脉硬化1131例(Scheie分级:1级475例,2级396例,3级203例,4级57例),高血压未合并视网膜动脉硬化1500例。纳入标准:①原发性高血压患者;②完成眼底照相检查;③完成baPWV检测。排除标准:①合并影响视力的严重眼病(角膜炎、黄斑部病变、青光眼等);②颈部血管外伤或手术史患者。本研究获得患者知情同意并通过伦理委员会审查(拱天武011)。

1.2 方法

1.2.1 血液指标检测 所有研究对象空腹采静脉血4 mL, 15 000 r/min离心15 min,离心半径为15 cm,取上清液。取部分血清,检测空腹血糖、总胆固醇、三酰甘油、hsCRP等。均采用贝克曼库尔特公司(Beckman Coulter, Inc.)生产的AU5800全自动生化分析仪完成。

1.2.2 视网膜血管评估 采用CR6-45NM免散瞳彩色

眼底照相机(日本,佳能)采集双眼两个视野眼底照片:分别以视盘为中心 45°视野;以黄斑中心凹为中心的 45°视野。根据 Scheie 分级标准^[7]进行分级。1级:动脉管壁反光带增宽,动脉轻度缩窄,有轻度或无动静脉交叉压迫征;2级:动脉管壁反光带增宽,动脉缩窄明显,动静脉交叉压迫征显著;3级:动脉呈铜丝状改变,动静脉交叉压迫征更明显;4级:动脉呈银丝状改变,动静脉交叉压迫征更重。

1.2.3 baPWV 和 PVRI 测量 采用欧姆龙健康医疗(中国)有限公司生产的 BP-203RPE III 型动脉硬化检测仪测定双侧 baPWV。受试者取去枕平卧位,呼吸平静,测量前嘱受试者禁止吸烟并休息 > 5 min。受害者双手手心向上置于身体两侧,将四肢血压袖带缚于上臂及下肢踝部,上臂袖带气囊标志处对准肱动脉,袖带下缘距肘窝横纹 2~3 cm,下肢袖带气囊标志位于下肢内侧,袖带下缘距内踝 1~2 cm,连接好肢体导联心电图电极,并把心音图传感器放置于心电图胸导联 V₄ 的位置上,4 个袖带同时充放气,监测心电图和心音图。仪器通过“同步采集四肢血压+心率+心音/心电信号”实现 PVRI 测量(单位: kPa·s/L)。参照《中国血管健康评估系统应用指南(2018 第三次报告)》的标准^[8],以 baPWV ≥ 1400 cm/s 为异常,可诊断为动脉硬化。

1.3 相关定义 高血压参照《中国血压测量指南》规定的要求测量血压^[9]。根据《中国高血压防治指南(2018 年修订版)》,高血压定义为收缩压 ≥ 140 mmHg (1 mmHg = 0.33 kPa) 和/或舒张压 ≥ 90 mmHg 和/或自报患有医生明确诊断的高血压和/或在过去两周内服用降压药。高血压 1 级:收缩压 140~159 和/或舒张压 90~99 mmHg; 2 级:收缩压 160~179 和/或舒张压 100~109 mmHg; 3 级:收缩压 ≥ 180 和/或舒张压 ≥ 110 mmHg^[10]。根据《中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版)》,糖尿病定义为空腹血糖 ≥ 7.0 mmol/L,或既往明确诊断糖尿病或正在使用降糖药^[11]。依据《中国血脂管理指南(2023 年)》,血脂异常定义为总胆固醇 ≥ 5.2 mmol/L 或甘油三酯 ≥ 1.7 mmol/L 或低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C) ≥ 3.4 mmol/L 或高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C) < 1.0 mmol/L 或既往明确诊断高脂血症或正在服用降脂药^[12]。吸烟定义为每天吸烟 1 支及以上,且持续 1 年以上^[13]。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 26.0 统计软件进行数据处理与分析。符合正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,多组间比较采用单因素方差分析,组间两两比较采用 LSD-*t* 检验;计数资料以例(百分数)[例(%)]表示,组间比较采用 χ^2 检验。采用逐步检验法结合 Bootstrap 法分别检验正向因果路径(baPWV 升

高→早期血管损伤→视网膜动脉硬化)与反向因果路径(视网膜动脉硬化→外周血管阻力升高→baPWV 升高)中的中介效应。正向因果路径验证:以视网膜动脉硬化分级为因变量(有序分类,赋值:0 = 未合并,1 = 1 级,2 = 2 级,3 = 3 级,4 = 4 级),基线 baPWV 为自变量(连续变量),hsCRP 为中介变量;反向因果路径验证:以基线 baPWV 为因变量(连续变量),视网膜动脉硬化分级为自变量(有序分类),PVRI 为中介变量。年龄、性别、血压、高血压病程、体重指数、空腹血糖、总胆固醇、甘油三酯、吸烟、糖尿病、血脂异常及降糖和降脂治疗作为协变量。具体步骤如下。①检验自变量对因变量的总效应(c):构建有序 logistic 回归模型,分析自变量对因变量的直接影响,若 $P < 0.05$,说明总效应存在;②检验自变量对中介变量的效应(a):分别构建线性回归模型,分析自变量对各中介变量的影响,若 $P < 0.05$,说明自变量可影响中介变量;③检验中介变量对因变量的效应(b):在模型中同时纳入自变量与中介变量,分析中介变量对因变量的影响,若 $P < 0.05$,且自变量的直接效应(c')较总效应(c)减弱,提示中介效应存在;④Bootstrap 检验:设置重复抽样 5 000 次,计算中介效应的 95%CI,若不包含 0,说明中介效应有统计学意义。以视网膜动脉硬化(3~4 级比 1~2 级)为二分类因变量,baPWV 为自变量,糖尿病/血脂异常等为调节变量,通过构建含“baPWV × 糖尿病”“baPWV × 血脂异常”等交互项的多因素 logistic 回归模型(结合分层分析计算各亚组 OR 值及 95%CI)分析交互作用。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 未合并与合并视网膜动脉硬化的高血压患者一般资料 与未合并视网膜动脉硬化组比较,合并视网膜动脉硬化组 3~4 级收缩压、高血压病程、空腹血糖、糖尿病和血脂异常比例、降糖和降脂治疗比例、baPWV ≥ 1400 cm/s 比例、baPWV、RVRI、hsCRP 水平升高,差异具有统计学意义。而男性比例、年龄、体重指数、总胆固醇、甘油三酯、吸烟比例比较,差异无统计学意义。在合并视网膜硬化的不同分级中,与 1 级比较,3~4 级收缩压、高血压病程、空腹血糖、糖尿病和血脂异常比例、降糖和降脂治疗比例、baPWV ≥ 1400 cm/s 比例、baPWV、RVRI、hsCRP 水平较高,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 1。

2.2 baPWV 与视网膜动脉硬化相关性的中介效应分析 调整年龄、性别、血压、高血压病程、体重指数、空腹血糖、总胆固醇、甘油三酯、吸烟、糖尿病、血脂异常及降糖和降脂治疗,以视网膜动脉硬化分级为因变量,基线 baPWV 为自变量,hsCRP 为中介变量进

行分析,结果显示:baPWV通过升高hsCRP($\beta = 0.12$, 95%CI: 0.05~0.19)间接促进视网膜动脉硬化($OR = 1.41$, 95%CI: 1.12~1.78),中介效应值为0.042, Bootstrap 95%CI: 0.023~0.089, $P=0.002$ 。以基线baPWV为因变量,视网膜动脉硬化分级为自变量,PVRI为中介

变量进行分析,结果显示:视网膜动脉硬化分级升高可通过增加PVRI($\beta = 0.85$, 95%CI: 0.32~1.38)间接导致baPWV升高($\beta = 12.3$, 95%CI: 8.5~16.1),中介效应值为10.455, Bootstrap 95%CI: 3.21~17.70,差异具有统计学意义(表2)。

表 1 未合并与合并视网膜动脉硬化的高血压患者的一般资料

Table 1 General data of hypertensive patients without and with retinal arteriosclerosis

视网膜动脉硬化	例数	男性 [例(%)]	年龄 (岁)	收缩压 (mmHg)	舒张压 (mmHg)	高血压病程 (年)	体重指数 (kg/m ²)	总胆固醇 (mmol/L)	甘油三酯 (mmol/L)	空腹血糖 (mmol/L)
无	1500	795(53.0)	52.3±6.7	142.2±8.3	89.1±9.4	10.2±9.5	24.6±3.4	5.1±1.4	1.6±0.8	6.3±2.9
1级	475	224(47.1)	51.2±6.3	141.3±9.6	88.6±9.3	9.2±7.6	24.8±3.5	5.2±1.2	1.5±0.7	6.1±2.6
2级	396	198(49.9)	50.5±5.8	143.5±8.7	89.6±10.2	11.5±8.5	25.4±4.8	5.1±2.3	1.6±0.6	6.7±2.7
3级	203	106(51.7)	53.2±7.6	151.2±9.2 ^a	89.8±8.6	11.7±8.4 ^a	25.8±3.8	5.2±1.3	1.7±1.0	6.8±1.9 ^{ab}
4级	57	28(49.6)	52.7±6.3	152.6±8.6 ^{ab}	90.2±9.5	12.5±7.2 ^{ab}	25.6±6.9	5.2±2.3	1.6±0.9	6.8±2.5 ^{ab}
F/χ^2 值		3.812	2.530	15.004	1.812	8.446	2.782	1.200	1.300	6.314
P 值		0.432	0.112	<0.001	0.126	<0.001	0.097	0.308	0.268	<0.001

视网膜动脉硬化	吸烟 [例(%)]	糖尿病 [例(%)]	血脂异常 [例(%)]	降糖治疗 [例(%)]	降脂治疗 [例(%)]	baPWV≥1 400 cm/s [例(%)]	baPWV (cm/s)	PVRI (kPa·s/L)	hsCRP (mg/L)
无	453(30.2)	506(33.7)	935(62.3)	533(35.5)	603(40.2)	600(40.0)	1354±176	1.6±0.3	1.7±0.5
1级	112(23.5)	131(27.6)	282(59.3)	119(25.3)	141(29.6)	204(42.9)	1367±178	1.7±0.3	2.0±0.6
2级	113(28.5)	121(30.5)	250(63.2)	113(28.6)	122(30.8)	198(50.0)	1400±182	1.9±0.4	2.4±0.7
3级	51(25.3)	69(33.8)	135(66.5) ^{ab}	76(37.5) ^{ab}	84(41.6) ^{ab}	142(70.0) ^{ab}	1495±194 ^{ab}	2.3±0.4 ^{ab}	3.1±0.8 ^{ab}
4级	16(27.6)	24(41.3) ^{ab}	41(71.2) ^{ab}	23(39.5) ^{ab}	24(42.4) ^{ab}	46(80.7) ^{ab}	1558±203 ^{ab}	2.7±0.5 ^{ab}	3.7±0.9 ^{ab}
F/χ^2 值	5.990	12.591	9.492	10.835	11.341	109.001	89.760	28.650	30.520
P 值	0.201	0.013	0.024	0.009	0.009	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:baPWV为肱-踝动脉脉搏波传导速度;hsCRP为高敏C反应蛋白;PVRI为外周血管阻力指数。与无视网膜动脉硬化比较,^a $P<0.05$;与1级比较,^b $P<0.05$ 。

表 2 baPWV 与视网膜动脉硬化相关性的中介分析 (n=2 631)

Table 2 Mediation analysis of the correlation between brachial-ankle pulse wave velocity (baPWV) and retinal arteriosclerosis

因果路径	中介变量	总效应(c) [OR/ β (95% CI)]	自变量→中介变量(a) [β (95% CI)]	中介变量→因变量(b) [OR/ β (95% CI)]	直接效应(c') [OR/ β (95% CI)]	中介效应值 (a×b)	Bootstrap 95%CI	P 值
正向: baPWV→ 视网膜动脉硬化	hsCRP	1.532(1.234~1.911)	0.121(0.052~0.189)	1.413(1.125~1.778)	1.411(1.132~1.759)	0.420	0.023~0.089	0.002
反向: 视网膜动 脉硬化→baPWV	PVRI	85.621(42.315~128.892)	0.852(0.324~1.379)	12.314(8.527~16.083)	52.386(21.124~83.675)	10.455	3.214~17.693	0.003

注:baPWV为肱-踝动脉脉搏波传导速度;hsCRP为高敏C反应蛋白;PVRI为外周血管阻力指数。

2.3 baPWV 与糖尿病、血脂异常对视网膜动脉硬化(3 和 4 级与 1 和 2 级比较)的交互作用 与合并糖尿病人群比较,无糖尿病人群 baPWV 与高血压视网膜硬化的关联更明显(交互作用 $P=0.003$)。与合并血脂异常人群比较,无血脂异常人群 baPWV 与高血压视网膜硬化的关联更明显(交互作用 $P=0.004$),见表 3。

2.4 敏感性分析 剔除 baPWV>3 000 cm/s 和<800 cm/s 的检测异常值样本,及 2 名阅片医师视网膜动脉硬化分级判定差异≥1 级的不一致样本,最终纳入 986 例进行敏感性分析。结果显示:与合并糖尿病

和血脂异常人群比较,无糖尿病和无血脂异常人群 baPWV 与高血压视网膜硬化的关联仍更明显,见表 4。

3 讨 论

本研究纳入 2 631 例高血压患者为对象,通过中介分析及交互作用检验,系统探讨 baPWV 与视网膜动脉硬化的关联。视网膜动脉硬化作为高血压靶器官损害在眼部的典型标志物,不仅能直观反映外周血管病变程度,更与心脑血管事件风险直接相关。Wang 等^[14]研究结果已证实,视网膜动脉硬化可作为高血压患者

靶器官损害的独立评估指标,其严重程度与脑卒中、心肌梗死等终点事件风险呈正相关;Liu等^[15]的5年随访研究进一步发现,合并视网膜动脉硬化的高血压

患者心血管事件发生率是无病变者的2.12倍。因此,明确视网膜动脉硬化的可控影响因素,对延缓高血压患者血管病变进展、改善预后具有重要临床价值。

表3 baPWV与其他指标对高血压患者视网膜动脉硬化(3~4级与1~2级比较)的交互作用($n=1\,131$)

Table 3 Interaction effect of brachial-ankle pulse wave velocity (baPWV) with other indicators on retinal arteriosclerosis (grade 3-4 vs grade 1-2) in hypertensive patients

指标	分层	例数	<i>B</i>	<i>SE</i>	χ^2 值	<i>P</i> 值	<i>OR</i>	95% <i>CI</i>	交互作用 <i>P</i> 值
性别	男	556	0.22	0.16	1.891	0.169	1.246	0.911~1.705	0.683
	女	575	0.28	0.18	2.420	0.120	1.323	0.930~1.883	
年龄(岁)	<55	812	0.30	0.17	3.114	0.078	1.350	0.967~1.884	0.715
	≥55	319	0.35	0.21	2.778	0.096	1.419	0.940~2.142	
体重指数(kg/m ²)	<24	436	0.25	0.19	1.731	0.188	1.284	0.885~1.863	0.802
	24~<28	415	0.29	0.18	2.596	0.107	1.336	0.939~1.902	
	≥28	280	0.33	0.22	2.250	0.134	1.391	0.904~2.141	
吸烟	否	839	0.27	0.17	2.522	0.112	1.310	0.939~1.828	0.856
	是	292	0.24	0.20	1.440	0.230	1.271	0.859~1.881	
糖尿病	否	786	0.88	0.31	8.058	0.005	2.411	1.313~4.426	0.003
	是	345	0.07	0.27	0.067	0.795	1.073	0.632~1.821	
血脂异常	否	423	0.81	0.30	7.290	0.007	2.248	1.249~4.047	0.004
	是	708	0.15	0.19	0.623	0.430	1.162	0.801~1.686	

注:baPWV为肱-踝动脉脉搏波传导速度。

表4 baPWV和糖尿病血脂异常对高血压患者视网膜动脉硬化(3~4级与1~2级比较)的交互作用(敏感性分析, $n=986$)

Table 4 Interaction effect of brachial-ankle pulse wave velocity (baPWV) with diabetes and dyslipidemia on retinal arteriosclerosis (grade 3-4 vs grade 1-2) in hypertensive patients (seusitivity analysis)

指标	分层	例数	<i>B</i>	<i>SE</i>	χ^2 值	<i>P</i> 值	<i>OR</i> 值	95% <i>CI</i>	交互作用 <i>P</i> 值
糖尿病	否	735	0.87	0.32	7.526	0.006	2.386	1.295~4.408	0.003
	是	251	0.07	0.28	0.065	0.799	1.073	0.628~1.842	
血脂异常	否	390	0.81	0.31	6.925	0.008	2.247	1.235~4.098	0.004
	是	596	0.15	0.20	0.578	0.447	1.162	0.796~1.702	

注:剔除baPWV检测异常值及2名阅片医师视网膜动脉硬化分级不一致样本进行敏感性分析。aPWV为肱-踝动脉脉搏波传导速度。

本研究中介分析结果揭示了baPWV与视网膜动脉硬化双向关联的关键机制:正向因果路径中,hsCRP发挥中介作用(中介效应值0.042),即baPWV通过升高hsCRP间接促进视网膜动脉硬化。这一机制符合“动脉弹性异常→炎症激活”的病理逻辑:动脉弹性减退时,血管壁剪切应力增加,诱导炎症因子释放,进而导致hsCRP升高;而hsCRP作为全身低度慢性炎症的标志物,可进一步损伤视网膜小动脉内皮,促进脂质沉积与平滑肌细胞增殖,加速动脉硬化进程^[16-17]。反向因果路径中,PVRI为核心中介(中介效应值10.455),视网膜动脉硬化分级升高通过增加PVRI间接导致baPWV升高。这与Zhou等^[4]的研究结论相似,其发现视网膜微血管病变可通过影响外周血管阻力,反向调节动脉弹性指标,形成“小血管病变→阻力增加→弹性减退”的恶性循环。

本研究交互作用结果显示,糖尿病、血脂异常对baPWV与视网膜动脉硬化关联的修饰作用:与合并糖尿病人群($OR=1.073$, $P=0.795$)相比,无糖尿病人群中baPWV与视网膜动脉硬化的关联更强($OR=2.411$,95%*CI*:1.313~4.426, $P=0.005$);血脂异常人群中存在类似规律,无血脂异常者的关联强度($OR=2.248$, $P=0.007$)高于合并血脂异常者($OR=1.162$, $P=0.430$)。这一结果的潜在机制可能与代谢因素主导的血管损害叠加效应有关:糖尿病通过高糖毒性损伤血管内皮细胞,促进晚期糖基化终产物沉积^[18],血脂异常通过低密度脂蛋白胆固醇浸润血管壁形成动脉粥样硬化斑块^[12],二者均是视网膜动脉硬化的强危险因素,其独立致病效应可能掩盖或削弱了baPWV的关联作用。Sattar等^[17]的社区队列研究也证实,合并2项及以上代谢综合征组分的高血压患者,传统血管指标与靶器

官损害的关联强度降低,与本研究结论高度契合。

临床实践中,对于合并糖尿病或血脂异常的高血压患者,医生往往更关注血糖、血脂控制以延缓血管损害,而本研究提示,对于无上述代谢异常的患者,应加强 baPWV 监测,若 $\text{baPWV} \geq 1400 \text{ cm/s}$,需警惕视网膜动脉硬化风险,及时采取干预措施,如强化血压控制(目标血压 $< 130/80 \text{ mmHg}$)、改善生活方式(低盐低脂饮食、规律有氧运动),以避免眼部靶器官损害进展。此外,Huang 等^[3]在新诊断原发性高血压患者中的研究发现,视网膜小动脉与颈动脉内中膜厚度存在关联,结合本研究结果,未来可探索“baPWV + 视网膜分级”联合评估模式,进一步提升高血压患者血管病变风险分层的准确性。

本研究仍存在一定局限性:首先,本研究为横断面研究设计,证实 baPWV 与视网膜动脉硬化的关联,尚无法明确因果时序;其次,研究对象的地域局限性可能影响结果的全国代表性,未来需通过多中心研究验证。后续研究可采用前瞻性队列设计,结合动态随访数据,进一步验证 baPWV 对视网膜动脉硬化的预测价值,并探索其与其他血管指标(如中心动脉压)的联合应用效果。

利益冲突声明 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 徐慧:研究构思与设计、初稿撰写、文献调查、表格制作;邵燕:方法支持、论文修订;刘晓华:研究统筹、临床指导、质量把控

参考文献

- [1] Wang Y, Li M, Zhang H, et al. Impact of arterial stiffness and carotid intima-media thickness on the development of hypertensive retinopathy: a prospective cohort study[J]. J Hypertens, 2023, 41(10): 2034-2042.
- [2] Zhao X, Chen Y, Wu Y, et al. The combined effect of pulse wave velocity and carotid intima-media thickness on the risk of retinal arteriosclerosis in hypertensive patients: a case-control study[J]. Ophthalmologica, 2024, 251(3): 129-136.
- [3] Huang Y, Liu Z, Li Z, et al. Association between retinal arteriolar caliber and carotid intima-media thickness in newly diagnosed essential hypertension patients[J]. PLoS One, 2023, 18(5): e0285413.
- [4] Zhou X, Sun Y, Chen X, et al. The role of carotid intima-media thickness in the relationship between hypertension and retinal microvascular changes: a mediation analysis[J]. BMC Ophthalmol, 2024, 24(1): 111.
- [5] Laurent S, Cockcroft J, Van Bortel L, et al. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications[J]. Eur Heart J, 2006, 27(21): 2588-2605.
- [6] Dong Y, Jiang L, Wang X, et al. Central rather than brachial pressures are stronger predictors of cardiovascular outcomes: a longitudinal prospective study in a Chinese population[J]. J Clin Hypertens (Greenwich), 2020, 22(4): 623-630.
- [7] Scheie HG. Evaluation of ophthalmoscopic changes of hypertension and arteriolar[J]. AMA Arch Ophthalmol, 1953, 49(2): 117-138.
- [8] 中国医药教育协会血管医学专业委员会,中华医学会北京心血管病学会血管专业学组,北京大学医学部血管疾病社区防治中心.中国血管健康评估系统应用指南(2018 第三次报告)[J].中华医学杂志,2018,98(37):2955-2967
- [9] 王文,张维忠,孙宁玲,等.中国血压测量指南[J].中华高血压杂志,2011,19(12):1101-1115.
- [10] 中国高血压防治指南修订委员会,高血压联盟(中国),中华医学会心血管病学分会,等.中国高血压防治指南(2018 年修订版)[J].中国心血管杂志,2019,24(1):24-56.
- [11] 中华医学会糖尿病学分会.中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版)[J].中华糖尿病杂志,2021,13(4):315-409.
- [12] 中国血脂管理指南修订联合专家委员会.中国血脂管理指南(2023 年)[J].中华心血管病杂志,2023,51(3):221-255.
- [13] 李璐,赵秀娟,刘士贺,等.体质量指数与臂间收缩压差的关联[J].中华高血压杂志,2023,31(3):234-240.
- [14] Wang Y, Li J, Zhang H, et al. Retinal arteriosclerosis as a marker of target organ damage in hypertensive patients: a systematic review and meta-analysis[J]. Hypertens Res, 2020, 43(5): 489-498.
- [15] Liu X, Chen M, Yang D, et al. Association between retinal arteriosclerosis and cardiovascular events in hypertensive patients: a 5-year follow-up study[J]. J Am Heart Assoc, 2019, 8(12): e012345.
- [16] Zhang L, Wang H, Zhao Y, et al. Traditional cardiovascular risk factors and retinal arteriosclerosis in elderly hypertensive patients[J]. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2021, 76(3): 521-526.
- [17] Sattar N, Murray HM, Welsh P, et al. Number of metabolic syndrome components and risk of vascular target organ damage in hypertensive patients: a community-based cohort study[J]. J Am Coll Cardiol, 2010, 56(15): 1238-1245.
- [18] Chen L, Zhang Y, Wang J, et al. Coexistence of hyperglycemia and oxidized low-density lipoprotein enhances apoptosis and impairs nitric oxide production in human umbilical vein endothelial cells[J]. J Cell Physiol, 2022, 237(9): 3215-3226.

收稿日期:2024-11-07 修回日期:2025-10-05
录用日期:2025-11-19 责任编辑:林东杰