

· 临床研究 ·

老年人群中臂踝脉搏波传导速度与心脑血管事件的相关性

张旗, 宋万庆, 张靖, 未纪涛, 桑大森*

(保定市第一中心医院心血管内科, 河北 保定 071000)

【摘要】目的 探讨老年人群臂踝脉搏波传导速度(baPWV)与心脑血管事件的相关性。**方法** 分析 2006、2008、2010、2012、2014、2016 年度完成开滦员工健康体检及 baPWV 检查、且年龄 ≥ 60 岁的 10 312 名研究对象的临床资料,排除既往心脑血管疾病病史人群、心房颤动人群及血压资料不全人群,最终纳入研究对象 9 586 名。根据每组 baPWV 的三分位数将人群分为 3 组,分别为 Q1、Q2、Q3 分位组。采用 SAS 9.4 软件进行数据分析。根据数据类型,组间比较分别采用单因素方差分析、Kruskal-Wallis 秩和检验及 χ^2 检验。采用 Kaplan-Meier 法计算各分位组心脑血管及脑卒中事件的发生率,并用 Log-rank 检验比较 baPWV 各分位组的心脑血管及脑卒中事件的差异,采用 Cox 比例风险模型分析 baPWV 对心脑血管及脑卒中事件的影响。**结果** (1)平均随访时间(5.68 $\pm$ 2.68)年,共发生心脑血管事件 538 例,脑卒中事件 434 例。Q1、Q2、Q3 分位组心脑血管事件累计发病率分别为 5.17%、8.72%、11.53%,经 Log-Rank 检验,各分位组间的终点事件累计发生率差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$)。Q1、Q2、Q3 分位组脑卒中事件累计发病率分别为 4.16%、7.37%、9.27%。经 Log-rank 检验,各分位组间的终点事件累计发病率差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$)。(2)Cox 回归分析显示,校正其他混杂因素后,与 Q1 分位组相比,Q2、Q3 分位组发生心脑血管事件 HR(95%CI)分别为 1.60(1.26~2.03)、2.21(1.74~2.80),发生脑卒中事件的 HR(95%CI)分别为 1.72(1.31~2.25)、2.39(1.8~3.13)。baPWV 每增加 1 个标准差,发生心脑血管事件及脑卒中事件的 HR(95%CI)分别为 1.21(1.12~1.32)、1.22(1.13~1.34)。**结论** 在老年人群中 baPWV 是心脑血管事件发生风险的独立危险因素。

【关键词】 老年人;臂踝脉搏波传导速度;心脑血管事件;脑卒中

【中图分类号】 R543.5 **【文献标志码】** A **【DOI】** 10.11915/j.issn.1671-5403.2022.03.043

Correlation between brachial-ankle pulse wave velocity and cardiocerebral vascular events in the elderly

ZHANG Qi, SONG Wan-Qing, ZHANG Jing, WEI Ji-Tao, SANG Da-Sen*

(Department of Cardiology, Baoding First Central Hospital, Baoding 071000, Hebei Province, China)

【Abstract】Objective To investigate the relationship of brachial-ankle pulse wave velocity (baPWV) with cardiocerebral vascular events in the elderly. **Methods** A total of 10 312 employees of Kailuan Group who aged ≥ 60 years and completed physical examinations and baPWV test in 2006, 2008, 2010, 2012, 2014 and 2016 were included in the study. After the subjects with previous histories of cardiocerebral vascular disease (CVD) or atrial fibrillation or with incomplete blood pressure data were excluded, and 9 586 subjects were finally included in the analysis. According to the tertile of baPWV in each group, the subjects were divided into Q1 tertile, Q2 tertile and Q3 tertile groups. SAS 9.4 software was used for data analysis. According to the data type, one-way ANOVA, Kruskal-Wallis rank sum test and χ^2 test were used to compare the data between groups. Kaplan-Meier analysis was used to calculate the cumulative incidence of cardiocerebral vascular events, and Log-rank test was adopted to compare the cumulative incidence of cardiocerebral vascular events in different tertile groups. Cox proportional hazard model was applied to analyze the effect of baPWV on cardiac cerebrovascular and stroke events.

Results (1) During the average follow-up of (5.68 $\pm$ 2.68) years, there were 538 cases having cardio-cerebrovascular events and 434 cases having stroke. The cumulative incidence of cardio-cerebrovascular events was 5.17%, 8.72% and 11.53%, respectively, in the Q1, Q2 and Q3 tertile groups. Log-rank test showed that there were significant differences in the cumulative incidence of terminal events among the 3 group ($P < 0.001$). The cumulative incidence of stroke was 4.16%, 7.37% and 9.27%, respectively in the 3 groups. Log-rank test indicated that there were significant differences in the cumulative incidence of end events among the 3 groups ($P < 0.001$). (2) Cox regression analysis suggested that after adjusting for other confounding factors, the HR (95%CI) of cardiocerebral vascular events and stroke events were 1.60 (1.26~2.03) and 1.72 (1.31~2.25) in Q2 tertile group, and 2.21 (1.74~2.80) and

收稿日期: 2021-06-14; 接受日期: 2021-07-27

通信作者: 桑大森, E-mail: drsang@126.com

2.39 (1.8–3.13) in Q3 tertile group when compared with those in Q1 group. For each additional standard deviation of baPWV, the HR (95%CI) of cardiocerebral vascular events and stroke events were 1.21 (1.12–1.32) and 1.22 (1.13–1.34), respectively.

Conclusion baPWV is an independent risk factor for cardiocerebral vascular events in the elderly.

【Key words】 aged; brachial and ankle pulse wave velocity; cardiocerebral vascular events; stroke

Corresponding author: SANG Da-Sen, E-mail: drsang@126.com

在过去二十年中,慢性非传染性疾病已成为主要疾病负担,而心脑血管疾病(cardiocerebral vascular disease, CVD)是慢性疾病死亡的主要原因^[1],动脉硬化是导致心脑血管疾病的重要原因^[2,3]。臂踝脉搏波传导速度(brachial-ankle pulse wave velocity, baPWV)作为评价动脉硬化的金标准,因其无创、方便已在临床及体格检查中广泛应用^[4,5]。有研究显示 baPWV 可作为一般人群心脑血管事件的独立预测因子^[6-8],在糖尿病人群及高血压人群中 baPWV 对心脑血管事件都有预测价值^[9,10]。但在老年人中 baPWV 与心脑血管事件的关系研究较少,目前我国尚无研究。人口老龄化已成为人类发展的大趋势,我国作为一个发展中国家,人口老龄化的趋势已十分明显,第七次人口普查显示我国 60 岁以上人群已达 2.64 亿人。而且老年人的心脑血管疾病的发病率和死亡率最高,探讨老年人的心脑血管疾病危险因素显得尤为重要。为此本研究依据开滦研究(注册号 ChiCTR-TNC-11001489)分析了老年人群中 baPWV 与心脑血管事件的关系,报道如下。

1 对象与方法

1.1 研究对象

开滦总医院及下属 11 家医院在 2006 年至 2007 年对开滦集团在职及离退休职工进行健康体检,首次参加体检者共 101 510 名(男性 81 110 名,女性 20 400 名)。此后分别于 2008~2009、2010~2011、2012~2013、2014~2015、2016~2017 年分别进行第 2、3、4、5、6 次健康体检。在第 3、4、5、6 次健康体检时对部分观察对象进行 baPWV 检测。本研究遵照赫尔辛基宣言,并通过开滦总医院伦理委员会批准,伦理批号:(2006)医伦字 5 号。

纳入标准:(1)参加了 2010~2011、2012~2013、2014~2015、2016~2017 年开滦健康体检,并完成 baPWV 检查,且年龄≥60 岁;(2)同意参加本研究。排除标准:(1)身体严重残疾,不能接受检查;(2)既往 CVD、房颤病史及血压资料不全。

1.2 资料收集、实验室检查及相关定义

流行病学调查、生化指标测定及人体学测量指标见本课题组已发表文献[11]。血压测量方法为受

试者静坐 15 min,采用台式水银血压计测量右侧肱动脉血压,连续测量 3 次,每次测量间隔 1~2 min,取 3 次测量值平均值。平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)=舒张压(diastolic blood pressure, DBP)+1/3 脉压差(pulse pressure, PP)。体质指数(body mass index, BMI)=体质量(kg)/身高(m)²。吸烟定义为近 1 年平均≥1 支烟/d;体育锻炼定义为每周锻炼≥3 次,每次持续时间≥30 min。

1.3 baPWV 测定

采用欧姆龙健康医疗(中国)有限公司生产的 BP-203RPE Ⅲ 网络化动脉硬化检测装置采集 baPWV 数值,通过网络连接,直接读取数据。检查室在室温下保持安静,检查者测量前休息至少 5 min,去枕平卧,双手置于身体两侧,四肢血压袖带分别缚于上臂及下肢踝部,上臂袖带下缘距肘窝横纹 2~3 cm,下肢袖带下缘距内踝 1~2 cm,连续测量 2 次,取第 2 次数据为最后结果。本研究取两侧 baPWV 中的较大值进行分析。

1.4 随访和终点事件

以完成 baPWV 检查时间为随访起点,每年由经过培训的医务人员查阅观察对象在开滦集团所属各医院及市定点医院的住院诊断资料并记录终点事件的情况。终点事件为随访期间发生的心脑血管事件,包括脑卒中和心肌梗死,采用世界卫生组织的诊断标准;所有诊断均由专业医师根据住院病历进行确认。发生≥2 次事件者以首次发生事件的时间和事件为结局,未发生事件者末次随访时间为 2019 年 12 月 31 日。

1.5 统计学处理

采用 SAS 9.4 软件进行统计学分析。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;偏态分布计量资料以中位数(四分位数间距) $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间比较采用 Kruskal-Wallis 秩和检验。计数资料用例数(百分率)表示,采用 χ^2 检验。根据 baPWV 三分位分组将人群分为 Q1、Q2、Q3。采用 Kaplan-Meier 法计算各分位组心脑血管及脑卒中事件的发生率,并用 Log-rank 检验比较各分位组 baPWV 各分位组的心脑血管及脑卒中事件的差异,采用 Cox 比例风险

模型进一步分析 Q2、Q3 分位组与 Q1 分位组相比发生心脑血管及脑卒中事件的 *HR* 和 95%*CI*, 以及 baPWV 每增加 1 个标准差发生心脑血管及脑卒中事件的 *HR* 和 95%*CI*。敏感性分析为避免踝臂指数(ankle brachial index, ABI)过低会影响 baPWV 值,故排除 ABI<0.9 人群后,进一步做 baPWV 影响心脑血管事件的 Cox 回归分析。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 研究人群一般情况比较

本研究纳入完成 baPWV 检查且年龄≥60 岁的研究对象 10 312 名。排除既往心脑血管疾病 391 例、血压资料不全 169 例及心房颤动 166 例。最终有 9 586 例研究对象纳入心脑血管事件分析,以 baPWV 检查最近一次体检的资料为基线资料。其中男性 7 018 例(73.21%),女性 2 568 例(26.79%),年龄(69.23±7.68)岁。按 baPWV 三分位进行分组,Q1、Q2 及 Q3 分位组 baPWV 分别为(1 367.86±129.89)、(1 686.35±85.81)、(2 166.11±327.61) cm/s。3 组间

男性、年龄、baPWV、收缩压(systolic blood pressure, SBP)、舒张压(diastolic blood pressure, DBP)、平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)、甘油三酯(triglycerides, TG)、高敏 C 反应蛋白(high-sensitivity C-reactive protein, hsCRP)、低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、空腹血糖(fasting blood glucose, FBG)、体质指数(body mass index, BMI)、心率(heart rate, HR)、高血压、吸烟、体育锻炼、糖尿病及服用抗高血压药物比较,差异均有统计学意义(均*P*<0.05;表 1)。

2.2 baPWV 各分位组心脑血管事件的累计发病率

本研究平均随访(5.68±2.68)年,共发生心脑血管事件 538 例,脑卒中事件 434 例。Q1、Q2、Q3 分位组心脑血管事件累计发病率分别为 5.17%、8.72%、11.53%,经 Log-Rank 检验,各分位组间的终点事件累计发生率差异均有统计学意义(均*P*<0.001)。Q1、Q2、Q3 分位组脑卒中事件累计发病率分别为 4.16%、7.37%、9.27%,经 Log-Rank 检验,各分位组间的终点事件累计发病率差异均有统计学意义(均*P*<0.001;图 1,图 2)。

表 1 3 组研究人群一般资料比较
Table 1 Comparison of general data between three groups

Item	Overall	Q1 tertile group (<i>n</i> = 9 586)	Q2 tertile group (<i>n</i> = 3 194)	Q3 tertile group (<i>n</i> = 3 197)	<i>P</i> value
Male[<i>n</i> (%)]	7 018(73.21)	2 244(70.26)	2 347(73.46)	2 427(75.91)	<0.001
Age (years, $\bar{x}\pm s$)	69.23±7.68	66.21±5.69	69.04±7.15	72.45±8.60	<0.001
baPWV (cm/s, $\bar{x}\pm s$)	1 740.23±347.50	1 367.86±129.89	1 686.35±85.81	2 166.11±327.61	<0.001
SBP (mmHg, $\bar{x}\pm s$)	140.63±20.93	130.47±18.14	140.84±18.91	150.58±20.64	<0.001
DBP (mmHg, $\bar{x}\pm s$)	83.54±10.95	81.29±10.28	83.76±10.66	85.57±11.46	<0.001
MAP (mmHg, $\bar{x}\pm s$)	102.57±12.57	97.68±11.54	102.79±11.74	107.24±12.54	<0.001
TG [mmol/L, <i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃)]	1.35(0.95, 2.05)	1.27(0.91, 1.92)	1.39(0.97, 2.10)	1.38(0.98, 2.15)	<0.001
hsCRP [mg/dl, <i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃)]	1.28(0.60, 2.90)	1.1(0.56, 2.46)	1.3(0.60, 2.97)	1.42(0.64, 3.20)	<0.001
TC (mmol/L, $\bar{x}\pm s$)	5.11±12.10	5.13±1.79	5.11±1.92	5.10±2.52	0.890
HDL-C (mmol/L, $\bar{x}\pm s$)	1.48±0.92	1.51±0.88	1.47±0.97	1.47±0.89	0.180
LDL-C (mmol/L, $\bar{x}\pm s$)	2.79±1.22	2.73±0.95	2.84±1.68	2.79±0.85	0.003
FBG (mmol/L, $\bar{x}\pm s$)	6.52±2.73	5.98±2.37	6.55±3.00	7.02±2.69	<0.001
BMI (kg/mm ² , $\bar{x}\pm s$)	25.21±3.34	25.04±3.28	25.46±3.44	25.12±3.27	<0.001
HR (beats/min, $\bar{x}\pm s$)	73.53±11.42	70.77±10.05	73.32±10.97	76.51±12.40	<0.001
Hypertension[<i>n</i> (%)]	6 096(63.59)	1 377(43.11)	2 115(66.20)	2 604(81.45)	<0.001
Smoking habit[<i>n</i> (%)]	2 787(29.07)	1 022(31.99)	931(29.14)	834(26.09)	<0.001
Physical exercise[<i>n</i> (%)]	1 620(16.70)	595(18.63)	521(16.31)	504(15.76)	<0.001
Diabetes mellitus[<i>n</i> (%)]	1 344(14.02)	264(8.27)	466(14.69)	614(19.21)	<0.001
Anti-hypertensive medication[<i>n</i> (%)]	2 075(21.64)	391(12.24)	696(21.78)	988(30.90)	<0.001

baPWV: brachial-ankle pulse wave velocity; SBP: systolic blood pressure; DBP: diastolic blood pressure; MAP: mean arterial pressure; TG: triglycerides; hsCRP: high-sensitivity C-reactive protein; TC: total cholesterol; HDL-C: high-density lipoprotein cholesterol; LDL-C: low-density lipoprotein cholesterol; FBG: fasting blood glucose; BMI: body mass index; HR: heart rate. 1 mmHg=0.133 kPa.

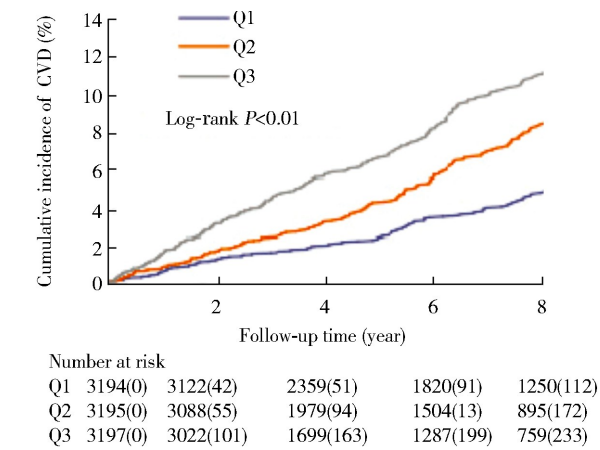


图1 不同分位组心脑血管事件的累计发病率
Figure 1 Cumulative incidence of CVD events
CVD: cardiocerebrovascular disease.

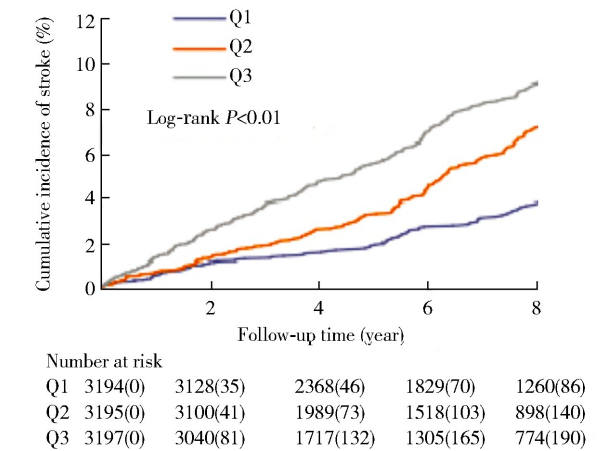


图2 不同分位组脑卒中累计发病率
Figure 2 Cumulative incidence of stroke events

2.3 影响心血管及脑卒中事件发病的Cox比例风险模型

以心脑血管及脑卒中事件为因变量,以baPWV三分位为自变量,以Q1分位组为对照组,校正年龄、性别后,与Q1分位组相比,Q2、Q3分位组发生心脑血管事件的趋势 $P<0.001$ 。发生脑卒中事件的趋势 $P<0.001$ 。baPWV每增加1个标准差,标准差为389.26 cm/s,发生心脑血管事件及脑卒中事件的 $HR(95\%CI)$ 分别为1.30(1.22~1.39)、1.32(1.24~1.42)。在校正年龄、性别基础上,进一步校正MAP、BMI、HR、TC、FBG、hsCRP、高血压、吸烟、体育锻炼、糖尿病及是否服用降压药后,与Q1分位组相比,Q2、Q3分位组发生心脑血管事件的趋势 $P<0.001$ 。发生脑卒中事件的 $HR(95\%CI)$ 的趋势 $P<0.001$ 。baPWV每增加1个标准差,发生心脑血管事件及脑卒中事件的 $HR(95\%CI)$ 分别为1.21(1.12~1.32)、1.22(1.13~1.34)。详见表2。

2.4 敏感性分析

为避免ABI过低会影响baPWV值,故排除ABI<0.9人群后,进一步做baPWV影响心脑血管事件的Cox回归分析,结果显示与之前结果一致,即随着baPWV增加,发生心脑血管及脑卒中事件的风险增加,baPWV增加与心脑血管及脑卒中事件的关系有统计学意义($P<0.001$;表3)。

表2 影响心血管及脑卒中事件发病的Cox比例风险模型

Table 2 Cox proportional hazard model affecting CVD and stroke events

Variable	Event(n)	Subject(n)	Model 1			Model 2		
			HR(95%CI)	P value	P-trend	HR(95%CI)	P value	P-trend
CVD events	538	9 586	—	—	<0.01	—	—	<0.01
Q1	119	3 194	1	—	—	1	—	—
Q2	180	3 195	1.70(1.34–2.14)	<0.01	—	1.60(1.26–2.03)	<0.01	—
Q3	239	3 197	2.46(1.95–3.11)	<0.01	—	2.21(1.74–2.80)	<0.01	—
Per+1SD	—	—	1.30(1.22–1.39)	<0.01	—	1.21(1.12–1.32)	<0.01	—
Stroke events	434	9 586	—	—	<0.01	—	—	<0.01
Q1	92	3 194	1	—	—	1	—	—
Q2	148	3 195	1.82(1.40–2.37)	<0.01	—	1.72(1.31–2.25)	<0.01	—
Q3	194	3 197	2.61(2.00–3.40)	<0.01	—	2.39(1.83–3.13)	<0.01	—
Per+1SD	—	—	1.32(1.24–1.42)	<0.01	—	1.22(1.13–1.34)	<0.01	—

Model 1: age, sex adjustment; Model 2: other risk factors including MAP, BMI, HR, TC, FBG, hsCRP, hypertension, smoking habit, physical exercise, diabetes mellitus, anti-hypertensive medication. CVD: cardiocerebral vascular diseases; MAP: mean arterial pressure; BMI: body mass index; HR: heart rate; TC: total cholesterol; FBG: fasting blood glucose; hsCRP: high-sensitivity C-reactive protein; —: no datum.

表 3 影响心脑血管事件发病的 Cox 比例风险模型的敏感性分析
Table 3 Cox proportional hazard model affecting CVD and stroke events of sensitivity analysis

Variable	Event(<i>n</i>)	Subject(<i>n</i>)	Model 1			Model 2		
			<i>HR</i> (95% <i>CI</i>)	<i>P</i> value	<i>P</i> -trend	<i>HR</i> (95% <i>CI</i>)	<i>P</i> value	<i>P</i> -trend
CVD events	504	9 141	—	—	<0.01	—	—	<0.01
Q1	111	3 049	1	—	—	1	—	—
Q2	171	3 047	1.64(1.29–2.08)	<0.01	—	1.40(1.10–1.80)	<0.01	—
Q3	222	3 045	2.48(1.95–3.14)	<0.01	—	1.83(1.41–2.36)	<0.01	—
Per+1SD	—	—	1.31(1.23–1.39)	<0.01	—	1.22(1.12–1.32)	<0.01	—
Stroke events	407	9 141	—	—	<0.01	—	—	<0.01
Q1	84	3 049	1	—	—	1	—	—
Q2	141	3 047	1.75(1.34–2.30)	<0.01	—	1.47(1.12–1.95)	<0.01	—
Q3	182	3 045	2.61(2.00–3.40)	<0.01	—	1.95(1.46–2.60)	<0.01	—
Per+1SD	—	—	1.33(1.25–1.42)	<0.01	—	1.24(1.14–1.36)	<0.01	—

Model 1: age, sex adjustment; Model 2: other risk factors including MAP, BMI, HR, TC, FBG, hsCRP, hypertension, smoking habit, physical exercise, diabetes mellitus, anti-hypertensive medication. CVD: cardiocerebral vascular diseases; MAP: mean arterial pressure; BMI: body mass index; HR: heart rate; TC: total cholesterol; FBG: fasting blood glucose; hsCRP: high-sensitivity C-reactive protein; —: no datum.

3 讨 论

年龄是影响动脉硬化的重要因素,随着年龄的增加,血管内皮功能受损、血管弹性降低,从而导致动脉硬化增加^[12]。有研究显示动脉硬化与年龄呈线性关系,动脉硬化在 50~60 岁之间加速硬化^[13]。本研究也显示高 baPWV 组年龄高于低 baPWV 组。以往研究也报道了 baPWV 是心脑血管事件和动脉粥样硬化的独立预测因子,但大部分报道未研究老年人中动脉硬化对心脑血管事件的影响。

本研究的一项重要发现是老年人中动脉硬化是心脑血管事件的危险因素,按 baPWV 三分位分组后,Q1 至 Q3 分位组的心脑血管事件及脑卒中事件累计发病率逐渐增加。提示在老年人中,随着动脉硬化的加重,心脑血管事件的发病率逐渐增加。

本研究 Cox 回归模型显示在校正了传统的危险因素后,与 baPWVQ1 分位组相比,Q2、Q3 分位组发生心脑血管事件的风险分别增加 1.60、2.21 倍。脑卒中事件的风险分别增加 1.72、2.39 倍。baPWV 每增加一个标准差,心脑血管事件及脑卒中事件的风险分别增加 1.21、1.22 倍。考虑 ABI<0.9 人群提示下肢动脉疾病,会影响 baPWV 值,我们除去 ABI<0.9 人群,进一步做敏感性分析,结果是一致的。提示在老年人人群中,动脉硬化是心脑血管疾病的独立预测因子。

目前,在我国尚无老年人人群中 baPWV 对心脑血管事件影响的前瞻性研究。相似的研究有赵胜仙

等^[14]对 40 岁以上人群 baPWV 与心脑血管事件关系的前瞻性研究,研究者对 4 189 例 40 岁以上人群随访 3 年,发现高 baPWV 心脑血管事件的发生风险增加约 2.78 倍。国外研究中,LILAC 研究^[15]入选了 278 例 75 岁以上人群,随访 1 227 d,结果显示,高 baPWV 人群与低 baPWV 人群相比发生 CVD 事件的风险比值为 2.80;动脉硬化是心血管事件的独立危险因素。Miyano 等^[16]纳入了 530 例 65 岁以上人群,平均年龄 76 岁,随访 3 年,发现高 baPWV 组与低 baPWV 组相比,发生全因死亡及心血管疾病死亡事件的风险比值分别为 2.98 和 10.01。这些研究与本研究结果一致,但这些研究样本量小,随访时间短。本研究的优势在于样本量大,随访时间长,故更具有说服力。

综上,本研究为大型队列研究,在国内首次证实老年人人群中 baPWV 是心脑血管事件发生风险的独立危险因素。但本研究也有一定的局限性,本研究以男性为主,且研究对象都是北方人群。但开滦研究人群大,随访时间长,故其结果也有重要的参考意义。

【参考文献】

[1] Zhu Y, Liu C, Zhang L, *et al.* How to control the economic burden of treating cardiocerebrovascular diseases in China? Assessment based on System of Health Accounts 2011[J]. J Glob Health, 2020, 10(1): 010802. DOI: 10.7189/jogh.10.010802.
[2] Ohkuma T, Ninomiya T, Tomiyama H, *et al.* Brachial-ankle pulse wave velocity and the risk prediction of cardiovascular disease: an

- individual participant data meta-analysis[J]. *Hypertension*, 2017, 69(6): 1045–1052. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.117.09097.
- [3] Kim HL, Kim SH. Pulse wave velocity in atherosclerosis[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2019, 6: 41. DOI: 10.3389/fcvm.2019.00041.
- [4] Munakata M. Brachial-ankle pulse wave velocity in the measurement of arterial stiffness: recent evidence and clinical applications[J]. *Curr Hypertens Rev*, 2014, 10(1): 49–57. DOI: 10.2174/157340211001141111160957.
- [5] Sánchez Bacaicoa C, Rico-Martín S, Morales E, *et al.* Brachial-ankle pulse wave velocity with a custom device[J]. *Rev Clin Esp (Barc)*, 2021, 221(3): 145–150. DOI: 10.1016/j.rceng.2019.12.008.
- [6] Munakata M. Brachial-ankle pulse wave velocity: a most predictable arterial measure for cerebral small vessel diseases[J]. *J Atheroscler Thromb*, 2020, 27(9): 919–921. DOI: 10.5551/jat.ED128.
- [7] Yang Y, Wang A, Yuan X, *et al.* Association between healthy vascular aging and the risk of the first stroke in a community-based Chinese cohort[J]. *Aging (Albany NY)*, 2019, 11(15): 5807–5816. DOI: 10.18632/aging.102170.
- [8] Ninomiya T, Kojima I, Doi Y, *et al.* Brachial-ankle pulse wave velocity predicts the development of cardiovascular disease in a general Japanese population: the Hisayama study[J]. *J Hypertens*, 2013, 31(3): 477–483. DOI: 10.1097/HJH.0b013e32835c5c23.
- [9] Boutouyrie P, Tropeano AI, Asmar R, *et al.* Aortic stiffness is an independent predictor of primary coronary events in hypertensive patients: a longitudinal study[J]. *Hypertension*, 2002, 39(1): 10–15. DOI: 10.1161/hy0102.099031.
- [10] Kim JM, Kim SS, Kim IJ, *et al.* Arterial stiffness is an independent predictor for risk of mortality in patients with type 2 diabetes mellitus: the REBOUND study[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2020, 19(1): 143. DOI: 10.1186/s12933-020-01120-6.
- [11] 周靖, 王剑利, 李俊娟, 等. 蛋白尿对老年人群心脑血管事件及全因死亡的影响[J]. *中华老年多器官疾病杂志*, 2018, 17(7): 524–528. DOI: 10.11915/j.issn.1671-5403.2020.05.081.
- Zhou J, Wang JL, Li JJ, *et al.* Impact of proteinuria on the risk of cerebrocardiovascular diseases and all-cause mortality in the elderly[J]. *Chin J Mult Organ Dis Elderly*, 2018, 17(7): 524–528. DOI: 10.11915/j.issn.1671-5403.2020.05.081.
- [12] Kucharska-Newton AM, Stoner L, Meyer ML. Determinants of vascular age: an epidemiological perspective[J]. *Clin Chem*, 2019, 65(1): 108–118. DOI: 10.1373/clinchem.2018.287623.
- [13] McEniery CM, Yasmin, Hall IR, *et al.* Normal vascular aging: differential effects on wave reflection and aortic pulse wave velocity: the Anglo-Cardiff Collaborative Trial (ACCT)[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2005, 46(9): 1753–1760. DOI: 10.1016/j.jacc.2005.07.037.
- [14] 赵胜仙, 彭年春, 时立新, 等. 40岁以上人群肱踝脉搏波传导速度与心脑血管事件关系的前瞻性研究[J]. *天津医药*, 2016, 44(8): 963–966. DOI: 10.11958/20160079.
- Zhao SX, Peng NC, Shi LX, *et al.* A prospective study of brachial ankle pulse wave velocity and the incidence of cardio-cerebral events in people aged over 40 years[J]. *Tianjin Med J*, 2016, 44(8): 963–966. DOI: 10.11958/20160079.
- [15] Matsuoka O, Otsuka K, Murakami S, *et al.* Arterial stiffness independently predicts cardiovascular events in an elderly community — Longitudinal Investigation for the Longevity and Aging in Hokkaido County (LILAC) study[J]. *Biomed Pharmacother*, 2005, 59(Suppl 1): S40–S44. DOI: 10.1016/s0753-3322(05)80008-3.
- [16] Miyano I, Nishinaga M, Takata J, *et al.* Association between brachial-ankle pulse wave velocity and 3-year mortality in community-dwelling older adults[J]. *Hypertens Res*, 2010, 33(7): 678–682. DOI: 10.1038/hr.2010.56.

(编辑: 温玲玲)