

估算的脉搏波传导速度与臂踝脉搏波传导速度的分布及一致性分析

季春鹏¹, 汪国栋², 王娜³, 刘妍¹, 王锦梅⁴, 陈朔华², 吴寿岭¹

(1. 开滦总医院心内科, 河北省唐山市 063000; 2. 开滦员工健康保障中心, 河北省唐山市 063000; 3. 秦皇岛市第二医院心内科, 河北省秦皇岛市 066600; 4. 开滦总医院康复医院普通内科, 河北省唐山市 063000)

[关键词] 估算的脉搏波传导速度; 臂踝脉搏波传导速度; 分布特征; 一致性

[摘要] **目的** 观察估算的脉搏波传导速度(ePWV)和臂踝脉搏波传导速度(baPWV)在开滦研究人群中的分布特征并分析二者的一致性(差异及关联)。**方法** 选择参加 baPWV 检测且基线资料完整的 43 235 例开滦集团公司职工作为观察人群。将研究对象按有无传统心血管危险因素分为风险人群和正常人群。在两人群中分别采用多元线性回归建立 baPWV 与年龄、年龄的平方、平均动脉压(MAP)的回归方程,并以此分别计算两人群的 ePWV。观察 ePWV 和 baPWV 在人群中的分布特征并采用配对样本 *t* 检验和线性回归分析二者的差异和关联。**结果** 在正常人群中, ePWV 与 baPWV 分别为 11.38±0.70 m/s 和 12.90±1.17 m/s; 在风险人群中, ePWV 与 baPWV 分别为 14.29±1.85 m/s 和 15.74±1.76 m/s。无论在正常人群还是风险人群中, ePWV 与 baPWV 均随年龄的增加而增加, 男性的 ePWV 与 baPWV 均高于女性。同时, baPWV 略高于 ePWV ($P<0.01$), 在正常人群和风险人群中, 二者平均差值分别为 1.80 m/s 和 2.17 m/s。线性回归分析结果提示, 二者在总人群、正常人群和风险人群中的线性 R^2 分别为 0.428、0.279 和 0.388。**结论** ePWV 与 baPWV 具有相似的年龄、性别分布特征。二者差值相对较小且具有良好的线性关联。因此, ePWV 可作为 baPWV 的良好替代指标。

[中图分类号] R5

[文献标识码] A

The distribution and consistency of estimated pulse wave velocity and brachial-ankle pulse wave velocity

Ji Chunpeng¹, Wang Guodong², Wang Na³, Liu Yan¹, Wang Jinmei⁴, Chen Shuohua², Wu Shouling¹

(1. Department of Cardiology, Kailuan General Hospital, Tangshan, Hebei 063000, China; 2. Health Care Center, Kailuan Medical Group, Tangshan, Hebei 063000, China; 3. Department of Cardiology, The Second Hospital of Qinhuangdao City, Qinhuangdao, Hebei 066600, China; 4. General Internal Medicine, Rehabilitation Hospital, Kailuan General Hospital, Tangshan, Hebei 063000, China)

[KEY WORDS] estimated pulse wave velocity; brachial-ankle pulse wave velocity; distribution characteristics; consistency

[ABSTRACT] **Aim** To observe the distribution and consistency of estimated pulse wave velocity (ePWV) and brachial-ankle pulse wave velocity (baPWV) in the Kailuan study population. **Methods** A total of 43 235 employees with complete baseline data participated in the baPWV test. The participants were divided into the risk population and normal population according to the presence or absence of conventional cardiovascular risk factors. Multivariate linear regression was used to establish the regression equations between baPWV and quadratic age and mean arterial pressure in the two populations. The ePWV in the two populations was calculated according to the equations. The distribution of ePWV and baPWV was observed. The relationship between ePWV and baPWV was analyzed by paired sample *t*-test and linear regression. **Results** In the normal population, ePWV and baPWV were 11.38±0.70 m/s and 12.90±1.17 m/s, respectively. In the risk population, ePWV and baPWV were 14.29±1.85 m/s and 15.74±1.76 m/s, respectively. In

[收稿日期] 2020-08-06

[修回日期] 2021-02-21

[基金项目] 河北省卫健委青年科技课题(20210746)

[作者简介] 季春鹏, 博士研究生, 主治医师, 研究方向为心血管危险因素, E-mail 为 jichunpeng1314@163.com。通信作者吴寿岭, 医学博士, 主任医师, 硕士研究生导师, 研究方向为高血压和动脉硬化, E-mail 为 drwusl@163.com。

the both of two populations, ePWV and baPWV increased with age, higher in men than those in women. ePWV was slightly lower than baPWV ($P < 0.001$). The results of linear regression analysis indicated that ePWV and baPWV had a good linear correlation in the total population, normal population and risk population, and the linear R^2 was 0.428, 0.279 and 0.388, respectively. **Conclusions** ePWV and baPWV had a similar age and sex distribution. The difference was relatively small and a good linear correlation was found between ePWV and baPWV. Therefore, ePWV can be a good substitute for baPWV.

作为反映大动脉僵硬度的优异指标,脉搏波传导速度(pulse wave velocity, PWV)增快已被证实为心血管疾病和全因死亡的独立危险因素^[1-4]。早在 2013 年,欧洲高血压指南就已推荐将 PWV 作为高血压靶器官损害(大血管损害)和心血管风险的评估手段^[5]。但由于费效比高、舒适性差等原因, PWV 至今未得到完全推广^[6-7]。作为影响 PWV 的主要因素,年龄和血压与 PWV 的关系已被欧洲动脉硬化协会所明确^[8]。随后,欧洲 Greve 等^[9]利用上述关系,并在充分考虑年龄和血压交互作用的前提下,拟合了颈股脉搏波传导速度(carotid-femoral pulse wave velocity, cfPWV)的估算公式。同时发现,采用上述公式估算的脉搏波传导速度(estimated pulse wave velocity, ePWV)与 cfPWV 具有良好的一致性(包括较小的差异和较好的线性关联)。且与 cfPWV 相比, ePWV 对未来心血管事件也具有同样的预测价值。但目前尚缺少来自其他人群的研究报道。本研究旨在开滦研究人群中利用臂踝脉搏波传导速度(brachial-ankle pulse wave velocity, baPWV)的数据建立 ePWV 的估算公式,观察 ePWV 与 baPWV 的分布及二者的一致性。

1 资料和方法

1.1 研究对象

2006 年 7 月—2007 年 10 月,由开滦总医院、开滦林西医院、开滦赵各庄医院等 11 家医院参加,对开滦在职及离退休职工进行健康体检,共有 101 510 名职工(其中男性 81 110 例,女性 20 400 例)参加本次健康体检。此后每两年对该人群进行一次健康体检,体检项目均与第一次相同。baPWV 的检测始于 2010 年,至今共有 54 212 例职工进行了该项检测。入选标准:①参加 baPWV 检测者;②baPWV 测量资料完整者;③参加相应年度健康体检者;④同意参加本研究并签署知情同意书者。排除标准:①踝臂指数(双侧最小值) < 0.9 者;②baPWV > 40 m/s(极值)者;③腰围、血压、甘油三酯、高密度脂蛋白、空腹血糖等体检资料缺失者。

1.2 问卷调查

设计流行病学调查表,制定统一的填表指南。将调查表预先交予个人填写,体检当日由经过培训的医护人员采取面对面的方式逐项核实并确保准确无误。调查内容包括个人生活习惯、高血压病史、糖尿病病史、脑卒中病史、心肌梗死病史、吸烟史、饮酒史、体育锻炼、受教育情况以及职业、家庭收入等一般情况。吸烟定义为每天至少吸 1 支烟,连续吸烟至少 1 年以上。饮酒定义为平均每日饮白酒(乙醇含量 38% 以上)100 mL,持续 1 年以上。戒烟或戒酒不足 1 年者定义为吸烟或饮酒。

1.3 baPWV 检测

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。检查室温度保持在 22~25 °C 之间,测量前嘱研究对象不吸烟,休息 5 min 以上。录入研究对象的性别、年龄、身高、体质量等信息,嘱其穿轻单衣。检测开始时嘱研究对象保持安静,去枕平卧,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。心音采集装置置于研究对象的心前区,左右腕部夹心电采集装置。连续测量 2 次,以第 2 次数据作为检测结果。本研究取左、右两侧 baPWV 最大值进行分析。

1.4 血压测量

受试对象测量血压前 30 min 内禁止吸烟或饮茶、咖啡,背靠静坐 15 min,采用经校正的汞柱式血压计测量右侧肱动脉血压,读数精确至 2 mmHg。收缩压读数取柯氏音第 1 音,舒张压读数取柯氏音第 5 音。连续测量 2 次,测量间隔 5 min,取平均值。如两次读数差值超过 5 mmHg,则需进行第 3 次测量,取 3 次测量的平均值作为最后血压值。平均动脉压(mean arterial pressure, MAP) = 舒张压 + 0.4 × (收缩压 - 舒张压)^[8]。身高、体质量采用经校正的 RGZ-120 型体质量秤测量,受试者脱鞋、脱帽、穿轻单衣,体质指数 = 体质量/身高²(kg/m²)。

1.5 实验室检查

研究对象于体检当日上午7:00~9:00抽取空腹肘静脉血5 mL并置于EDTA真空管内,室温下经3 000 r/min离心10 min,取上层血清在4 h内检测甘油三酯(triglyceride, TG)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDLC)、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDLC)、总胆固醇(total cholesterol, TC)和空腹血糖等生物化学指标,测量仪器为日本日立公司生产的7600型全自动生化分析仪。具体测量方法见本课题组已发表的文献^[10]。

1.6 代谢综合征各组分的定义

腹型肥胖:男性腰围 ≥ 90 cm,女性腰围 ≥ 85 cm;高血糖:空腹血糖 ≥ 6.1 mmol/L或糖负荷后2 h血糖 ≥ 7.8 mmol/L和(或)已确诊为糖尿病并治疗者;血压增高:血压 $\geq 130/85$ mmHg和(或)已确认为高血压并治疗者;血脂异常:空腹TG ≥ 1.70 mmol/L或空腹HDLC < 1.04 mmol/L^[11]。

1.7 正常人群及风险人群的定义

由于心血管危险因素的累积效应可显著加速血管正常老化进程^[12-15],因此,在拟合ePWV计算公式时,有必要对存在已知心血管危险因素者和无心血管危险因素者分别进行分析。本研究将存在以下任何一项心血管危险因素者定义为风险人群:吸烟、任何一项代谢综合征组分(包括腹型肥胖、血脂异常、血压增高、高血糖)、心肌梗死病史、脑卒中病史,将以上危险因素均不存在者则定义为正常人群。

1.8 统计学分析

采用SPSS 13.0软件进行统计分析。所有正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,两组间比较采用独立样本 t 检验。因TG、C反应蛋白呈偏态分布,经对数转换后再用 t 检验进行组间比较,并以M(Q1~Q3)表示。计数资料用百分率表示,组间比较应用 χ^2 检验。根据欧洲动脉硬化协会的研究结论^[8],baPWV与年龄呈二项式回归($PWV \sim a \times \text{年龄} + b \times \text{年龄}^2 + c$),与MAP呈线性回归($PWV \sim a \times \text{MAP} + b$)。因此,在拟合ePWV计算公式前,本研究拟选择年龄、年龄的平方和MAP作为自变量。采用Pearson相关性分析分别检验baPWV与年龄、年龄的平方、MAP的相关性。采用多元线性回归模型,以baPWV为因变量,分别检验年龄与MAP、年龄的平方与MAP的交互作用,并将交互作用显著项同时加入上述自变量中,共同拟合ePWV的计算公式。为分析ePWV与baPWV的一致性,本研究进一步采

用单元线性回归分析ePWV与baPWV的线性关联。采用配对样本 t 检验比较ePWV与baPWV的差异。以 $P < 0.05$ (双侧检验)为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 研究人群的一般情况

按入选标准,共入选53 063名职工,排除70例baPWV > 40 m/s者、2 087例踝臂指数 < 0.9 者和7 671例基线资料(腰围、血压、TG、HDLC、空腹血糖)缺失者,共43 235例研究对象纳入统计学分析,其中男性32 349例(74.8%),女性10 886例(25.2%),平均年龄49.6岁。与正常人群相比,风险人群的年龄、男性比例、收缩压、舒张压、MAP、腰围、baPWV、TC、LDLC、TG、尿酸、C反应蛋白水平均明显偏高(P 均 < 0.001),而HDLC水平偏低($P < 0.001$)。在风险人群中,吸烟比例、心肌梗死患病率、脑卒中患病率分别为36.3%、0.70%和0.90%,在代谢综合征各组分中,血压增高者占71.5%,血脂异常者占48.5%,高血糖者占5.7%,腹型肥胖者占49.4%(表1)。

2.2 baPWV与年龄、年龄的平方和MAP的相关性分析及线性方程的拟合

无论在总人群、正常人群还是风险人群中,baPWV与年龄、年龄的平方和MAP均有良好的相关性(相关系数波动在0.296~0.562, P 均 < 0.01)。在以baPWV为因变量进行多元线性回归分析时发现,无论在正常人群还是风险人群中,年龄与MAP、年龄的平方与MAP均存在显著的交互作用(P 均 < 0.01 ;表2)。因此,本研究同时将年龄、年龄的平方、MAP、年龄与MAP的交互项、年龄的平方与MAP的交互项纳入回归方程,得出ePWV在两人群中的计算公式,调整后的 R^2 分别为0.314、0.390(P 均 < 0.01 ;表3)。

2.3 不同人群中ePWV与baPWV的分布与比较

在正常人群中,ePWV与baPWV分别为 11.38 ± 0.70 m/s和 12.90 ± 1.17 m/s,二者平均差值为 1.80 ± 1.81 m/s。在风险人群中,ePWV与baPWV分别为 14.29 ± 1.85 m/s和 15.74 ± 1.76 m/s,二者平均差值为 2.17 ± 2.25 m/s。无论在正常人群还是风险人群,ePWV与baPWV均随年龄的增加而增加,男性的ePWV与baPWV均高于女性。在同一年龄段、同一性别组,baPWV高于ePWV($P < 0.01$),二者平均差值随年龄的增加而增大。但在 < 60 岁人

群中,二者平均差值均小于 3 m/s(表 4 和 5)。

表 1. 正常人群与风险人群基线资料比较

Table 1. Comparison of baseline characteristics between normal and reference population

指标	正常人群(n=6 677)	风险人群(n=36 558)	P
年龄/岁	43.30±11.35	50.73±12.95	<0.001
男性/[例(%)]	2 678(40.1)	29 671(81.2)	<0.001
收缩压/mmHg	112.85±9.89	135.79±18.36	<0.001
舒张压/mmHg	72.55±6.92	83.9±10.69	<0.001
MAP/mmHg	88.67±7.16	104.65±12.38	<0.001
腰围/cm	77.33±7.10	88.46±9.40	<0.001
baPWV/(m/s)	12.90±2.33	15.74±3.52	<0.001
TC/(mmol/L)	4.68±0.89	4.98±1.57	<0.001
TG/(mmol/L)	0.85(0.64~1.12)	1.45(0.98~2.30)	<0.001
LDLC/(mmol/L)	2.49±0.96	2.81±0.92	<0.001
HDLc/(mmol/L)	1.60±0.47	1.45±0.81	<0.001
空腹血糖/(mmol/L)	5.12±0.94	5.96±2.19	<0.001
尿酸/(mmol/L)	273.56±80.72	330.39±96.68	<0.001
C反应蛋白/(mg/L)	0.70(0.30~1.50)	1.10(0.47~2.40)	<0.001
吸烟/[例(%)]		13 288(36.3)	
心肌梗死病史/[例(%)]		254(0.70)	
脑卒中病史/[例(%)]		317(0.90)	
代谢综合征各组分			
血压增高/[例(%)]		26 133(71.5)	
血脂异常/[例(%)]		17 721(48.5)	
高血糖/[例(%)]		2 077(5.7)	
腹型肥胖/[例(%)]		18 069(49.4)	

注:空白为不适用。

表 2. 不同人群中 baPWV 与年龄和 MAP 的相关性

Table 2. Correlations between age and MAP and baPWV in different populations

研究人群	年龄	MAP	年龄的平方
正常人群	0.501 ^a	0.296 ^a	0.512 ^a
风险人群	0.541 ^a	0.431 ^a	0.540 ^a
总人群	0.562 ^a	0.491 ^a	0.560 ^a

a 为 P<0.01

表 3. 不同研究人群 ePWV 的计算公式

Table 3. ePWV formulas in different populations

研究人群	计算公式	调整后的 R ²	F	P
正常人群	$ePWV = 9.025 - 0.132 \times \text{年龄} + 0.001 \times \text{年龄}^2 + 0.001 \times \text{年龄} \times \text{MAP} - 0.000002 \times \text{年龄}^2 \times \text{MAP} + 0.029 \times \text{MAP}$	0.314	612.46	<0.01
风险人群	$ePWV = 10.312 - 0.228 \times \text{年龄} + 0.003 \times \text{年龄}^2 + 0.002 \times \text{年龄} \times \text{MAP} - 0.000017 \times \text{年龄}^2 \times \text{MAP} + 0.015 \times \text{MAP}$	0.390	4681.68	<0.01

表 4. 正常人群中 ePWV 与 baPWV 的分布与比较

Table 4. The distribution and comparison of ePWV and baPWV in normal population

年龄	性别	例数	ePWV/(m/s)	baPWV/(m/s)	二者差值/(m/s)	t	P
<30 岁	合计	670	10.96±0.41	11.80±1.61	1.29±1.18	14.15	<0.01
	男性	355	11.09±0.35	12.30±1.41	1.38±1.18	16.67	<0.01
	女性	315	10.82±0.43	11.25±1.63	1.20±1.16	4.69	<0.01
30~39 岁	合计	2 039	11.01±0.45	12.10±1.68	1.43±1.30	30.94	<0.01
	男性	716	11.20±0.39	12.97±1.61	1.87±1.44	30.02	<0.01
	女性	1 323	10.90±0.45	11.63±1.52	1.19±1.15	17.87	<0.01
40~49 岁	合计	2 516	11.35±0.50	12.77±1.83	1.65±1.51	41.09	<0.01
	男性	742	11.53±0.42	13.59±1.80	2.12±1.69	31.60	<0.01
	女性	1 774	11.27±0.51	12.42±1.74	1.46±1.39	29.53	<0.01
50~59 岁	合计	870	11.82±0.53	13.93±2.39	2.25±2.16	27.07	<0.01
	男性	469	11.92±0.49	14.33±2.63	2.51±2.46	20.43	<0.01
	女性	401	11.71±0.54	13.47±1.97	1.95±1.69	18.55	<0.01
60~69 岁	合计	410	12.35±0.58	15.37±3.07	3.14±2.88	20.24	<0.01
	男性	261	12.37±0.56	15.49±2.97	3.24±2.78	17.25	<0.01
	女性	149	12.31±0.62	15.15±3.24	2.96±3.06	10.89	<0.01
≥70 岁	合计	172	13.33±0.95	17.66±3.51	4.68±2.99	16.30	<0.01
	男性	135	13.42±0.87	17.95±3.57	4.84±3.06	15.04	<0.01
	女性	37	13.01±1.16	16.62±3.12	4.12±2.71	6.50	<0.01
合计	合计	6 677	11.38±0.70	12.90±1.17	1.80±1.81	60.85	<0.01

表 5. 风险人群中 ePWV 与 baPWV 的分布与比较

Table 5. The distribution and comparison of ePWV and baPWV in reference population

年龄	性别	例数	ePWV/(m/s)	baPWV/(m/s)	二者差值/(m/s)	t	P
<30 岁	合计	1 798	11.84±0.57	12.75±1.81	1.39±1.30	23.16	<0.01
	男性	1 612	11.88±0.56	12.89±1.79	1.42±1.31	24.61	<0.01
	女性	186	11.54±0.54	11.58±1.64	1.14±1.09	0.39	0.70
30~39 岁	合计	5 970	12.43±0.74	13.68±2.06	1.65±1.52	51.89	<0.01
	男性	5 118	12.51±0.72	13.91±2.01	1.71±1.55	54.3	<0.01
	女性	852	11.98±0.73	12.33±1.88	1.25±1.21	6.00	<0.01
40~49 岁	合计	10 456	13.52±0.89	14.76±2.60	1.87±1.87	54.31	<0.01
	男性	8 274	13.59±0.87	15.06±2.59	1.98±1.96	56.47	<0.01
	女性	2 182	13.25±0.93	13.62±2.27	1.43±1.42	8.75	<0.01
50~59 岁	合计	9 514	14.64±0.97	16.08±3.15	2.25±2.32	48.72	<0.01
	男性	7 914	14.67±0.96	16.20±3.18	2.31±2.38	46.30	<0.01
	女性	1 600	14.49±1.00	15.50±2.94	1.95±1.99	15.69	<0.01
60~69 岁	合计	6 107	16.05±1.02	17.83±3.60	2.74±2.64	41.30	<0.01
	男性	4 602	16.12±1.03	17.87±3.64	2.75±2.67	34.77	<0.01
	女性	1 505	15.84±0.97	17.70±3.49	2.70±2.54	22.55	<0.01
≥70 岁	合计	2 713	17.85±1.38	20.08±4.15	3.47±3.13	28.30	<0.01
	男性	2 151	17.93±1.41	20.02±4.12	3.37±3.09	23.98	<0.01
	女性	562	17.54±1.23	20.27±4.26	3.84±3.26	15.29	<0.01
合计	合计	36 558	14.29±1.85	15.74±1.76	2.17±2.25	99.51	<0.01

2.4 ePWV 与 baPWV 的线性关联

以 baPWV 为因变量, ePWV 为自变量再次进行线性回归分析, 结果显示, 在总人群、正常人群和风险人群中, ePWV 与 baPWV 均具有较好的线性关联, 线性 R^2 值分别为 0.428、0.279 和 0.388, 直线

斜率分别为 1.14(1.13 ~ 1.15)、1.75(1.68 ~ 1.82) 和 1.19(1.17 ~ 1.20)。在总人群和风险人群中, ePWV 与 baPWV 的线性关联明显优于正常人群(图 1)。

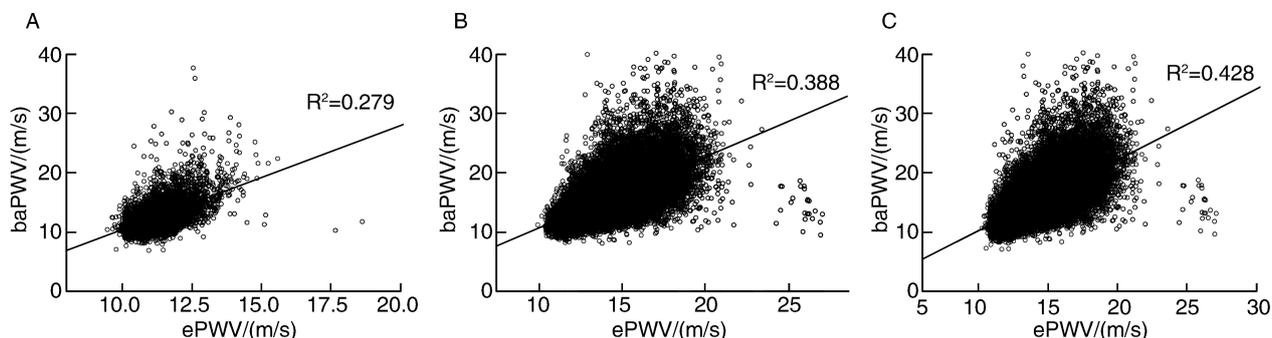


图 1. 不同人群中 ePWV 与 baPWV 关系的散点图及线性趋势

A 为正常人群, B 为风险人群, C 为总人群。

Figure 1. Scatter plots and linear trends of relationships between ePWV and baPWV in different populations

3 讨论

相比于衡量动脉僵硬度的金标准 PWV, 采用年龄和血压计算的 ePWV 省时、省力、无需任何费用, 在欧美人群中已被证实具有良好的一致性和心血管风险预测价值^[9,16-17]。故在无条件的 PWV 检测时, ePWV 也许可作为评估心血管风险、靶器官损害和大动脉僵硬度的首选, 但目前中国尚无相关的研究报道。

本研究利用 baPWV、年龄、血压及其之间的交互作用拟合了 ePWV 在正常人群和风险人群中的计算公式。同时, 本研究也发现, 无论在正常人群还是风险人群中, ePWV 与 baPWV 分布相似, 均随年龄的增加而增加, 男性均高于女性。同时, baPWV 略高于 ePWV, 在正常人群和风险人群中, 二者差值仅为 1.80 m/s 和 2.17 m/s。线性回归分析结果也显示, 二者具有良好的线性关联, 尤其在风险人群中(线性 R^2 为 0.388, 直线斜率为 1.19)。因此可以认为, 二者具有良好的一致性。

与本研究结论一致, Greve 等^[9]对丹麦 MONICA10 队列的观察性研究结果也发现, 无论在正常人群、风险人群还是存在已知心血管疾病的人群中, 通过年龄、血压计算的 ePWV 均与 cfPWV 具有良好的一致性, 三个人群中的 ePWV 与 cfPWV 的线性 R^2 值分别为 0.268、0.448 和 0.374, 直线斜率分别为 0.57、0.76 和 0.95。Bland-Altman 散点图也显

示二者的相对差值(95% 一致性界限) 仅分别为 1.3% (-13% ~ 15%)、0.3% (-15% ~ 16%) 和 0.3% (-15% ~ 20%)。该研究样本量相对较大 ($n=2366$), 对正常人群、风险人群和心血管疾病患者分别进行了分析, 并且得出了一致结论, 这也充分证实了 ePWV 可作为 cfPWV 的良好替代指标。

本研究还发现, 相比于正常人群, 风险人群中 ePWV 与 baPWV 关联性更好。这与 Greve 等^[9]研究结果一致。但具体的机制尚不明确, 不排除与风险人群样本量大有关。此外, 本研究结果也显示, 在风险人群中, ePWV 与 baPWV 的差值明显高于正常人群(分别为 2.17 m/s 和 1.8 m/s)。无论在正常人群还是风险人群, 随着年龄的递增, 二者差值均逐渐增大, 而且在同一年龄组的男性人群中, 二者差值高于女性人群。这些结果提示, 相比风险人群、老年人群和男性人群, ePWV 与 baPWV 的差异在正常人群、年轻人群和女性人群中更小。

来自欧美的几项大规模队列研究结果还证实, 与 PWV 相比, ePWV 对未来心血管事件和全因死亡具有同样的预测价值, 这种预测价值既独立于欧洲的冠状动脉风险评分, 也独立于美国的弗莱明翰风险评分^[9,16-17]。但目前尚缺少其他人群的相关研究。

本研究具有一定的临床意义: 第一, 与 PWV 相比, ePWV 更容易获取, 在 PWV 检测尚未在中国推广的情况下, 采用 ePWV 估测动脉僵硬度的既可节约

国家的医疗资源,又可减少公众的医疗负担;第二,ePWV可能是心血管风险的潜在评估指标,未来可帮助临床医生迅速区分心血管高危者;第三,研究人员更加容易获取ePWV大数据,并以此为依据对动脉硬化进行更加深入的科学研究,最终服务于临床。

本研究为大样本、横断面研究,首次在国内阐述了ePWV的概念、计算方法及分布,数据丰富。但同时也存在一定的局限性:研究对象以男性为主,结果可能无法扩展至其他人群。但与结果相比,提出一种估算PWV的新思路、新方法可能更加重要。本研究同时期待国内其他的大规模、多中心研究提出一个全民可用的ePWV计算公式,并且对ePWV与心血管风险之间的关联进行系统性研究。

[参考文献]

- [1] VLACHOPOULOS C, AZNAOURIDIS K, STEFANADIS C. Prediction of cardiovascular events and all-cause mortality with arterial stiffness: a systematic review and Meta-analysis [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 55 (13): 1318-1327.
- [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.
- [3] TOMIYAMA H, SHIINA K. State of the art review: brachial-ankle PWV [J]. *J Atheroscler Thromb*, 2020, 27 (7): 621-636.
- [4] KIM J M, KIM S S, KIM I J, 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.
- [5] MANCIA G, FAGARD R, NARKIEWICZ K, et al. 2013 ESH/ESC guidelines for the management of arterial hypertension: the task force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC) [J]. *Eur Heart J*, 2013, 34(28): 2159-2219.
- [6] VLACHOPOULOS C, XAPLANTERIS P, ABOYANS V, et al. The role of vascular biomarkers for primary and secondary prevention: a position paper from the European society of cardiology working group on peripheral circulation; endorsed by the association for research into arterial structure and physiology (ARTERY) society [J]. *Atherosclerosis*, 2015, 241(2): 507-532.
- [7] WILLIAMS B, MANCIA G, SPIERING W, et al. 2018 ESC/ESH guidelines for the management of arterial hypertension [J]. *Kardiol Pol*, 2019, 77(2): 71-159.
- [8] Reference Values for Arterial Stiffness' Collaboration. Determinants of pulse wave velocity in healthy people and in the presence of cardiovascular risk factors: establishing normal and reference values [J]. *Eur Heart J*, 2010, 31 (19): 2338-2350.
- [9] GREVE S V, BLICHER M K, KRUGER R, et al. Estimated carotid-femoral pulse wave velocity has similar predictive value as measured carotid-femoral pulse wave velocity [J]. *J Hypertens*, 2016, 34(7): 1279-1289.
- [10] JIA Z, ZHOU Y, LIU X, et al. Comparison of different anthropometric measures as predictors of diabetes incidence in a Chinese population [J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2011, 92(2): 265-271.
- [11] 中华医学会糖尿病学分会. 中国2型糖尿病防治指南(2017年版) [J]. *中国实用内科杂志*, 2018, 38(4): 292-344.
- [12] ZHENG X, ZHANG R, LIU X, et al. Association between cumulative exposure to ideal cardiovascular health and arterial stiffness [J]. *Atherosclerosis*, 2017, 260: 56-62.
- [13] SUN L, NING C, LIU J, et al. The association between cumulative C-reactive protein and brachial-ankle pulse wave velocity [J]. *Aging Clin Exp Res*, 2020, 32(5): 789-796.
- [14] 王洁蕊, 胡玉琴, 石慧婧, 等. 累积尿酸暴露与臂踝动脉脉搏波传导速度的关系 [J]. *中华风湿病学杂志*, 2019, 23(4): 220-227.
- [15] 杨慧, 葛明, 安利杰, 等. 累积甘油三酯暴露与臂踝动脉脉搏波传导速度的关联 [J]. *中国动脉硬化杂志*, 2017, 25(6): 618-622.
- [16] VLACHOPOULOS C, TEREANTES-PRINTZIOS D, LAURENT S, et al. Association of estimated pulse wave velocity with survival: a secondary analysis of SPRINT [J]. *JAMA Netw Open*, 2019, 2(10): e1912831.
- [17] VISHRAM-NIELSEN J, LAURENT S, NILSSON P M, et al. Does estimated pulse wave velocity add prognostic information: MORGAM prospective cohort project [J]. *Hypertension*, 2020, 75(6): 1420-1428.

(此文编辑 文玉珊)