

累积心率暴露对臂踝脉搏波传导速度的影响

杨慧¹, 刘颖², 姜宇³, 李晓芳⁴, 晏小坤⁴, 吴寿岭⁵

(开滦总医院 1.肿瘤科, 2.神经内科, 3.手术室, 4.急诊科, 5.心内科, 河北省唐山市 063000)

[关键词] 心率; 累积心率暴露; 臂踝脉搏波传导速度; 偏相关分析; 回归分析

[摘要] **目的** 探讨累积心率暴露(cumHR)与臂踝脉搏波传导速度(baPWV)的关系。**方法** 选择开滦研究人群中卒中队列和老年人群队列 7904 例组成观察人群,最终纳入研究队列的为 5153 例。根据 cumHR 将研究对象进行四分位分组。采用偏相关分析 cumHR 与 baPWV 的相关性,多因素线性回归和多因素 Logistic 回归分析 cumHR 对 baPWV 的影响。**结果** 随着 cumHR 的增加,平均 baPWV 水平和 baPWV ≥ 1400 cm/s 的检出率均呈上升趋势。偏相关分析结果表明,cumHR 与 baPWV 呈正相关($r=0.35, P<0.05$);校正了年龄、性别后 cumHR 与 baPWV 仍呈正相关($r=0.24, P<0.05$)。多因素线性回归分析显示,cumHR 每增加 1 次/分,baPWV 增加 1.071 cm/s。Logistic 回归分析表明,校正了其他混杂因素后,与 cumHR 第一分位组相比,cumHR 第二分位组、第三分位组、第四分位组均是 baPWV ≥ 1400 cm/s 的危险因素,OR 值(95%CI)分别为 1.432(1.121~1.829)、1.738(1.371~2.204)、2.475(1.949~3.143)。**结论** cumHR 与 baPWV 呈正相关关系。cumHR 是脉搏波传导速度增加的危险因素。

[中图分类号] R54

[文献标识码] A

Effect of cumulative heart rate exposure on brachial-ankle pulse wave velocity

YANG Hui¹, LIU Ying², JIANG Yu³, LI Xiao-Fang⁴, YAN Xiao-Kun⁴, WU Shou-Ling⁵

(1.Department of Oncology, 2.Department of Neurology, 3.Operation Room, 4.Department of Emergency, 5.Department of Cardiology, Kailuan General Hospital, Tangshan, Hebei 063000, China)

[KEY WORDS] Heart rate; Cumulative heart rate exposure; Brachial-ankle pulse wave velocity; Partial correlation analysis; Regression analysis

[ABSTRACT] **Aim** To explore the relationship between cumulative heart rate exposure (cumHR) and brachial-ankle pulse wave velocity (baPWV). **Methods** A total of 7904 participants were selected from Kailuan Study stroke cohort and elderly population cohort to compose observation population, and finally 5153 cases were included in the study cohort. According to cumHR, the research subjects were divided into four groups. The correlation between cumHR and baPWV was analyzed by partial correlation analysis. The effects of cumHR on baPWV were analyzed by multivariate linear regression and multivariate Logistic regression. **Results** With the increase of cumHR, the average level of baPWV and the detection rate of baPWV ≥ 1400 cm/s were on the rise. The results of partial correlation analysis showed that cumHR was positively correlated with baPWV ($r=0.35, P<0.05$), and after adjusting age and sex, cumHR was still positively correlated with baPWV ($r=0.24, P<0.05$). Multivariate linear regression analysis showed that cumHR increased by 1 beat/minute, baPWV increased 1.071 cm/s. Logistic regression analysis showed that after correction of other confounding factors, compared with the cumHR first group, cumHR second group, third group and fourth group were risk factors for baPWV ≥ 1400 cm/s, and OR values (95%CI) were respectively 1.432 (1.121-1.829), 1.738 (1.371-2.204) and 2.475 (1.949-3.143). **Conclusions** cumHR is positively correlated with baPWV. cumHR is a risk factor for the increase of pulse wave velocity.

已有研究报道,心率增快不仅是心脑血管疾病^[1-3]、肾脏损害^[4]、代谢综合征^[5]和全因死亡^[2,6]的危险因素,近年来有研究发现心率与脉搏波传导

速度(pulse wave velocity, PWV)之间存在正相关性,即随着心率增快, PWV 逐渐增加^[7-9],心率升高增加动脉硬化的患病风险^[10];但也有小样本研究发现安

[收稿日期] 2016-05-24

[修回日期] 2016-08-28

[作者简介] 杨慧,硕士,副主任医师,研究方向为心血管内科, E-mail 为 12687978@qq.com。通讯作者吴寿岭,博士,教授,博士研究生导师, E-mail 为 drwusl@163.com。

装起搏器的住院病人, PWV 并未随着心率的加快而增加, 研究结果显示二者并无相关性^[11-13]。上述关于心率与 PWV 的研究结果不同可能是因为所用的心率均为单次测量, 且样本量小, 不足以代表个体长时间内的心率水平。

累积暴露是按暴露剂量与暴露时间乘积之和计算的, 可以更准确地反映某一危险因素对个体的长期影响。目前国内外关于累积暴露的研究相对较少。Grantham 等^[14]首次提出累积焦油暴露作为评估吸烟者肺癌发病危险的指标; Carnethon 等^[15]提出累积高血脂暴露会增加冠心病的发病风险; 另有研究发现, 在动脉粥样硬化人群中更高的血压累积暴露会增加其肾脏损害危险^[16]。但国内外尚无关于累积心率暴露 (cumulative heart rate exposure, cumHR) 对 PWV 影响的研究。为此, 我们根据开滦研究 (注册号: ChiCTR-TNC-1100 1489) 资料, 分析了心率累积暴露与 PWV 的关系。

1 资料和方法

1.1 研究对象

观察对象来自开滦研究^[17-18], 由两部分人群组成: (1) 卒中队列: 2009 年 12 月由首都医科大学附属天坛医院脑卒中临床实验和研究中心的人员根据 2005 年全国 1% 人口抽样调查所得的 40 岁以上全国人口性别和年龄的比例^[19], 以每两岁为一个年龄段在参加开滦集团 2006-2007 年度健康体检的 101510 名职工中分层随机抽取观察对象, 共抽取 5852 人, 符合入选标准的为 5440 人; (2) 老年人群队列: 在 2010-2011 年第 3 次开滦健康体检后采用整群抽样的方法抽取在开滦总医院、开滦林西医院、开滦赵各庄医院进行健康体检且年龄 ≥ 60 岁的开滦集团离退休员工作为备选人群, 按 25% 比例抽取 2464 例。共 7904 例组成观察人群。

1.2 入选标准和排除标准

入选标准: (1) 随访期间均参加体检的开滦集团在职及离退休职工; (2) 身体无严重残疾, 能自立行走接受检查; (3) 认知能力无缺陷, 能完成问卷; (4) 同意参加本研究并签署知情同意书。排除标准: (1) 不同意参加本研究; (2) 心率和 PWV 资料缺失; (3) 有心房颤动、心肌梗死病史或正在服用 β 受体阻滞剂。

1.3 流行病学调查、人体测量指标

流行病学调查及人体测量指标、生物化学指标

检测见本课题组已发表文献^[17-18]。

1.4 心率测量及 cumHR 的计算

受试者在安静状态下, 休息至少 5 min 后取平卧位, 采用日本光电公司 ECG-9130P 心电图机记录其 12 导联心电图, 选择 II 导联连续描记至少 5 个 QRS 波群, 以平均 RR 间期计算得出静息心率 (resting heart rate, RHR)。

cumHR 计算: 参考累积血压暴露的计算方法^[14], $\text{cumHR} = [(\text{HR}_1 + \text{HR}_2) / 2 \times \text{time}_{1,2}] + [(\text{HR}_2 + \text{HR}_3) / 2 \times \text{time}_{2,3}]$, 其中 HR_1 、 HR_2 、 HR_3 分别为第 1 次 (2006-2007 年度)、第 2 次 (2008-2009 年度)、第 3 次 (2010-2011 年度) 查体所测心率, $\text{time}_{1,2}$ (第 1 次查体与第 2 次查体的间隔时间)、 $\text{time}_{2,3}$ (第 2 次查体与第 3 次查体的间隔时间) 为相邻两次心率测量的时间间隔。 $\text{time}_{1,2}$ 、 $\text{time}_{2,3}$ 平均值分别为 1.93 年、2.04 年。

1.5 臂踝脉搏波传导速度测定

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臂踝脉搏波传导速度 (brachial-ankle pulse wave velocity, baPWV) 数值, 通过网络连接, 直接读取数据。检查室室温保持在 22~25℃ 之间, 测量前嘱受试者不吸烟, 休息 5 min 以上, 录入受试者性别、年龄、身高、体重后嘱其穿薄衣。检测开始时受试者保持安静, 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, 心音采集装置放于受检者心前区, 左右腕部夹好心电采集装置, 对每位受试者重复测量 2 次, 取第 2 次数据为最后结果。参考美国心脏病学会医学科学报告 (1993 年) 的判断标准, $\text{baPWV} < 1400 \text{ cm/s}$ 为周围动脉硬化正常, $\text{baPWV} \geq 1400 \text{ cm/s}$ 为周围动脉硬化, 本研究取左、右两侧 baPWV 中的较大值进行分析。

1.6 统计学方法

2006-2007 年度、2008-2009 年度、2010-2011 年度的健康体检数据由各体检医院终端录入, 通过网络上传至开滦总医院计算机室服务器, 形成 Oracle 10.2g 数据库; 由开滦医院心血管实验室核实, baPWV 资料建立 EpiData 数据库, 应用 SPSS 13.0 统计软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 两组以上比较采用方差分析。计数资料用百分数 (%) 表示, 率的比较采用 χ^2 检验。采用偏相关分析 cumHR 与 baPWV 的相关性。采用

多因素线性回归与多因素 Logistic 回归模型分析 cumHR 与 baPWV 的关联。 $P<0.05$ (双侧检验) 为差异有统计学意义。

2 结 果

在 7904 例观察人群中,排除两队列中重复人群 346 例,排除任一次心率缺失 1308 例,排除 baPWV 缺失 835 例,最终心率和 baPWV 资料均完整者 5415 例,排除心房颤动、心肌梗死、服用 β 受体阻断剂者 262 例,最终纳入研究队列的为 5153 例。

2.1 研究对象的一般情况

在 5153 例研究对象中,年龄平均为 56.76 ± 11.56 岁。其中,男性 3291 例 (63.9%),女性 1862 例 (36.1%)。根据 cumHR 将研究对象进行四分位分组:第一分位组: $\text{cumHR} \leq 261.10$ 次/分 \times 年;第二分位组: $261.10 \text{ 次/分} \times \text{年} < \text{cumHR} \leq 290.64$ 次/分 \times 年;第三分位组: $290.64 \text{ 次/分} \times \text{年} < \text{cumHR} \leq 320.89$ 次/分 \times 年;第四分位组: $\text{cumHR} > 320.89$ 次/分 \times 年,结果发现随 cumHR 增加,年龄、体质指数 (body mass index, BMI)、收缩压 (systolic blood pressure, SBP)、舒张压 (diastolic blood pressure, DBP)、RHR、空腹血糖 (fasting blood glucose, FBG)、总胆固醇 (total cholesterol, TC)、低密度脂蛋白胆固醇 (low

density lipoprotein cholesterol, LDLC) 及吸烟、饮酒均呈增加趋势 ($P<0.05$; 表 1), 体育锻炼则呈减少趋势。

2.2 cumHR 与 baPWV 的偏相关分析

偏相关分析结果显示, cumHR 与 baPWV 之间呈正相关 ($r=0.35, P<0.05$); 校正了年龄、性别后 cumHR 与 baPWV 仍呈正相关 ($r=0.24, P<0.05$)。

2.3 cumHR 与 baPWV 的多因素线性回归分析

多因素线性回归分析显示, 校正年龄、性别、SBP、BMI、TC、FBG 以及吸烟、饮酒、体育锻炼、高血压后, cumHR 每增加 1 次/分, baPWV 增加 1.071 cm/s (95%CI $1.018 \sim 1.121$) (表 2)。

2.4 不同 cumHR 影响 baPWV 的 Logistic 回归模型分析

以 baPWV (任一侧 $\text{baPWV} \geq 1400 \text{ cm/s}$ 赋值为 1, 两侧 $\text{baPWV} < 1400 \text{ cm/s}$ 赋值为 0) 为因变量, 以不同 cumHR 分位组为自变量 (以 cumHR 第一分位组为对照组), 在校正了年龄、性别、SBP、FBG、TC、BMI、吸烟、饮酒、体育锻炼、高血压后, 结果显示与 cumHR 第一分位组相比, cumHR 第二分位组、第三分位组、第四分位组均是 $\text{baPWV} \geq 1400 \text{ cm/s}$ 的危险因素, OR 值 (95% CI) 分别为 $1.432 (1.121 \sim 1.829)$ 、 $1.738 (1.371 \sim 2.204)$ 、 $2.475 (1.949 \sim 3.143)$ (表 3)。

表 1. 研究对象的一般情况

Table 1. The general information of study subjects

项 目	第一分位组 (<i>n</i> = 1288)	第二分位组 (<i>n</i> = 1337)	第三分位组 (<i>n</i> = 1242)	第四分位组 (<i>n</i> = 1286)	<i>F</i> / χ^2	<i>P</i> 值
年龄 (岁)	54.03 ± 10.98	56.36 ± 11.40^a	57.24 ± 11.27^{ab}	58.20 ± 11.91^{abc}	32.605	<0.001
男性 (例)	668 (50.2%)	770 (57.9%)	886 (66.6%)	967 (61.8%)	165.46	<0.001
SBP (mmHg)	124.50 ± 19.50	130.44 ± 20.38^a	134.52 ± 19.56^{ab}	138.39 ± 19.16^{abc}	118.11	<0.001
DBP (mmHg)	79.42 ± 10.61	82.48 ± 10.63^a	85.26 ± 10.76^{ab}	85.88 ± 10.78^{abc}	98.76	<0.001
RHR (次/分)	76.77 ± 7.40	84.11 ± 9.51^a	88.16 ± 8.80^{ab}	90.00 ± 10.64^{abc}	102.82	<0.001
cumHR (次/分)	235.47 ± 20.83	276.44 ± 8.41^a	305.04 ± 8.62^{ab}	353.74 ± 31.86^{abc}	112.82	<0.001
BMI (kg/m^2)	24.64 ± 3.19	24.89 ± 3.25^a	25.28 ± 3.22^{ab}	25.32 ± 3.36^{abc}	12.64	<0.001
baPWV (cm/s)	1464.59 ± 362.13	1567.81 ± 374.08	1631.05 ± 368.51	1752.52 ± 426.55^{abc}	388.5	<0.001
baPWV $\geq 1400 \text{ cm/s}$ (例)	240 (18.1%)	376 (28.2%)	471 (35.4%)	621 (46.7%)	264.3	<0.001
TC (mmol/L)	5.00 ± 0.92	5.05 ± 1.00^a	5.15 ± 1.63^{ab}	5.30 ± 2.19^{abc}	9.87	<0.001
HDLc (mmol/L)	1.68 ± 0.41	1.60 ± 0.44^a	1.56 ± 0.42^{ab}	1.61 ± 0.43^a	18.19	0.002
LDLC (mmol/L)	2.49 ± 0.75	2.57 ± 0.72^a	2.75 ± 0.95^{ab}	2.80 ± 0.73^{abc}	45.75	<0.001
FBG (mmol/L)	5.27 ± 1.11	5.50 ± 1.39^a	5.66 ± 1.36^{ab}	6.08 ± 1.85^{abc}	70.39	<0.001
饮酒 [例 (%)]	51 (1.0)	63 (1.2)	76 (1.5)	115 (2.4)	32.66	<0.001
吸烟 [例 (%)]	343 (25.8)	397 (29.8)	430 (32.3)	482 (36.2)	36.01	<0.001
经常锻炼 [例 (%)]	448 (33.7)	426 (32.0)	408 (30.7)	327 (24.6)	30.41	<0.001

HDLc: 高密度脂蛋白胆固醇 (high density lipoprotein cholesterol)。a 为 $P<0.05$, 与第一分位组相比; b 为 $P<0.05$, 与第二分位组相比; c 为 $P<0.05$, 与第三分位组相比。

表 2. 影响 baPWV 的多因素线性回归分析

Table 2. Multivariate linear regression analysis of affecting baPWV

模型	因素	β 值	S.E.	Beta	P 值	95%CI
模型一	cumHR	2.352	0.110	0.281	<0.001	2.136~2.568
模型二	cumHR	1.640	0.092	0.196	<0.001	1.461~1.822
	性别	-28.680	9.023	-0.035	<0.001	-46.370~10.390
	年龄	19.110	0.379	0.553	<0.001	18.370~19.857
模型三	cumHR	1.071	0.088	0.114	<0.001	1.018~1.121
	性别	23.380	10.593	0.029	0.027	2.622~44.154
	年龄	15.360	0.389	0.444	<0.001	14.602~16.127
	收缩压	5.978	0.274	0.307	<0.001	5.440~6.516
	BMI	-10.050	1.262	0.830	<0.001	12.528~7.581
	空腹血糖	23.810	2.733	0.089	<0.001	18.452~29.169
	总胆固醇	4.892	2.608	0.019	0.061	0.220~10.040
	吸烟	-13.700	10.483	0.016	0.191	-34.252~6.852
	饮酒	48.397	10.522	0.057	<0.001	27.770~69.025
	体育锻炼	8.287	8.862	0.010	0.339	-8.695~25.269
	高血压	60.436	10.886	0.076	<0.001	39.095~81.770

表 3. 影响 baPWV 的多因素 Logistic 回归分析

Table 3. Multivariate Logistic regression analysis of affecting baPWV

模型	危险因素	B 值	S.E.	Wald	P 值	OR 值	95%CI
模型一	第二分位组	0.582	0.094	38.547	<0.001	1.790	1.489~2.151
	第三分位组	0.913	0.091	99.549	<0.001	2.493	2.083~2.982
	第四分位组	1.380	0.090	235.140	<0.001	3.975	3.333~4.743
模型二	第二分位组	0.458	0.110	17.250	<0.001	1.580	1.273~1.961
	第三分位组	0.806	0.108	56.010	<0.001	2.240	1.814~2.767
	第四分位组	1.301	0.107	147.120	<0.001	3.672	2.976~4.531
	年龄	0.118	0.040	1095.930	<0.001	1.126	1.118~1.134
	性别	-0.027	0.070	0.126	0.732	0.974	0.839~1.129
模型三	第二分位组	0.359	0.125	8.252	0.004	1.432	1.121~1.829
	第三分位组	0.553	0.121	20.882	<0.001	1.738	1.371~2.204
	第四分位组	0.906	0.122	55.335	<0.001	2.475	1.949~3.143
	年龄	0.114	0.040	706.860	<0.001	1.121	1.111~1.130
	性别	0.286	0.107	7.089	0.008	1.331	1.078~1.642
	SBP	0.041	0.030	194.980	<0.001	1.042	1.036~1.048
	BMI	-0.051	0.013	16.052	<0.001	0.950	0.927~0.974
	TC	0.094	0.036	6.653	0.010	1.099	1.023~1.180
	FBG	0.191	0.026	52.387	<0.001	1.211	1.150~1.275
	吸烟	-0.185	0.105	3.093	0.079	0.831	0.677~1.021
	饮酒	0.486	0.108	20.350	<0.001	1.626	1.317~2.009
	高血压	0.472	0.109	18.895	<0.001	1.603	1.296~1.983
	体育锻炼	-0.190	0.086	0.046	0.830	0.982	0.829~1.162

3 讨 论

国外多项研究^[20-24]已经证实传统动脉硬化的危险因素如男性、年龄、SBP、FBG、TC 与 baPWV 相关。心率作为反映自主神经系统的粗略指标,与 baPWV 的关系各研究结果尚不一致,可能是因为单次心率测量值受饮食、温度、生活方式等多种因素影响,不足以代表个体长时间的心率水平。本研究克服了单次心率测量的局限性,采用多次心率计算的累积暴露值,这样能更准确地分析其对 baPWV 的影响。

我们的研究发现,随着 cumHR 的增加,平均 baPWV 水平和 baPWV ≥ 1400 cm/s 的检出率均呈上升趋势,4 个四分位组平均 baPWV 分别为 1464.59、1567.81、1631.05、1752.52 cm/s,baPWV ≥ 1400 cm/s 的检出率分别为 18.1%、28.2%、35.4%、46.7%。Lantelme 等^[7]研究发现 PWV 随心率加快而增加,心率每增加 10 次/分,PWV 平均增加 1.36 ± 2.90 m/s。

偏相关分析结果表明,cumHR 与 baPWV 呈正相关($r = 0.35, P < 0.05$),在校正了年龄、性别后,cumHR 与 baPWV 仍呈正相关($r = 0.24, P < 0.05$)。多因素线性回归分析显示,校正年龄、性别等传统心脑血管疾病危险因素后,cumHR 每增加 1 次/分,baPWV 增加 1.071 cm/s(95%CI 1.018~1.121)。这与以往关于 cumHR 与 baPWV 关联的研究结果一致。Liang 等^[25]对 825 例研究对象进行 20 年随访研究发现,RHR 增快与随访期间 PWV 增加密切相关,其标准回归系数为 0.33(95%CI 0.13~0.53)。

在影响 baPWV 多因素 Logistic 回归模型中,校正了其他混杂因素后结果显示,与 cumHR 第一分位组相比,cumHR 第二分位组、第三分位组、第四分位组均是 baPWV ≥ 1400 cm/s 的危险因素,OR 值(95%CI)分别为 1.432(1.121~1.829)、1.738(1.371~2.204)、2.475(1.949~3.143)。陶杰^[26]研究发现,RHR 加快与 baPWV 增加有显著且独立的关联,RHR 增加,动脉硬化风险加大。

随着 RHR 的增加,动脉壁回缩时间变短,管壁顺应性下降和机械张力增加,最终导致动脉壁僵硬增加^[27]。RHR 升高还可直接导致血管内皮功能损伤,减少血管顺应性,增加外周阻力和血管壁剪切力,从而促进粥样斑块的形成发展,甚至导致斑块破裂,形成急性血栓^[22-24]。此外,RHR 增加还与致动脉硬化性血脂及炎症因子改变相关,而血脂及

炎症因子在动脉硬化过程中扮演着重要的角色^[26]。

累积暴露与暴露的水平、暴露时间的长短有关,可以预测机体的慢性损害。本研究的优势在于采用 3 次(随访 6 年)RHR 计算 cumHR,因此与单次心率相比能更准确地估计心率对 baPWV 的预测作用。cumHR 数据易于采集,是一个评估 baPWV 的比较好的指标。

[参考文献]

- [1] Cooney M, Vartiainen E, Laatikainen T, et al. Elevated resting heart rate is an independent risk factor for cardiovascular disease in healthy men and women[J]. Am Heart, 2010, 159(4): 612-619.
- [2] Custodis F, Roggenbuck U, Lehmann N, et al. Resting heart rate is an independent predictor of all-cause mortality and myocardial infarction in the middle-aged general population[J]. Clin Res Cardiol, 2016, 105(7): 601-612.
- [3] Woodward M, Webster R, Murakami Y, et al. The association between resting heart rate, cardiovascular disease and mortality: evidence from 112,680 men and women in 12 cohorts[J]. Eur J Prev Cardiol, 2014, 21(6): 719-726.
- [4] Ushigome E, Fukui M, Hamaguchi M, et al. Home-measured heart rate is associated with albuminuria in patients with type 2 diabetes[J]. Hypertens Res, 2014, 37(6): 533-537.
- [5] Wang S, Liu K, Zhang X, et al. Elevated resting heart rate predisposes metabolic syndrome in women rather than in men: a 15-year prospective study[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2015, 5(1): 110-111.
- [6] Paul O, Lepper M, Phelan WH, et al. A longitudinal study of coronary heart disease[J]. Circulation, 1963, 28(1): 20-31.
- [7] Lantelme P, Mestre C, Lievre M, et al. Heart rate: an important confounder of pulse wave velocity assessment[J]. Hypertension, 2002, 39(6): 1 083-087.
- [8] 林清飞,邱长胜,黄丽芳,等. 正常高值血压人群血糖和血脂水平及对脉搏波的影响[J]. 中国慢性病预防与控制, 2014, 1(1): 46-49.
- [9] Ohnishi H, Saitoh S, Takagi S, et al. Pulse wave velocity as an indicator of atherosclerosis in impaired fasting glucose: the Tanno and Sobetsu study[J]. Diabetes Care, 2003, 26(2): 437-440.
- [10] Whelton SP, Blankstein R, Al-Mallah MH, et al. Association of resting heart rate with carotid and aortic arterial stiffness: multiethnic study of atherosclerosis[J]. Hypertension, 2013, 62(3): 477-484.
- [11] Wilkinson IB, MacCallum H, Flint L, et al. The influence of heart rate on augmentation index and central

- arterial pressure in humans [J]. *J Physiol*, 2000, 525 (1): 263-270.
- [12] Albaladejo P, Challande P, Kakou A, et al. Selective reduction of heart rate by ivabradine: effect on the viscoelastic arterial properties in rats [J]. *Hypertension*, 2004, 22(9): 1 739-745.
- [13] Albaladejo P, Copie X, Boutouyrie P, et al. Heart rate, arterial stiffness, and wave reflections in paced patients [J]. *Hypertension*, 2001, 38(38): 949-952.
- [14] Grantham NM, Magliano DJ, Tanamas SK, et al. Higher heart rate increases risk of diabetes among men: The Australian diabetes obesity and lifestyle [J]. *Diabet Med*, 2013, 30(4): 421-427.
- [15] Carnethon MR, Yan L, Greenland P, et al. Resting heart rate in middle age and diabetes development in older age [J]. *Diabetes Care*, 2008, 31(2): 335-339.
- [16] UK Prospective Diabetes Study Group. UK prospective diabetes study 16--Overview of 6 years' therapy of type II diabetes: A progressive disease [J]. *Diabetes*, 1995, 44 (11): 1 249-258.
- [17] 王希柱, 张彩凤, 陈朔华, 等. 性别对人群肱踝脉搏波传导速度的影响 [J]. *中国动脉硬化杂志*, 2014, 22 (10): 1 023-029.
- [18] 李晓庆, 刘 星, 李 雯, 等. 开滦集团职工中老年人群心血管健康行为和因素对颈动脉内膜中膜厚度的影响 [J]. *中国动脉硬化杂志*, 2016, 24(1): 85-91.
- [19] 国家统计局人口和就业统计司. 中国人口统计年鉴 (2006) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2006; 74-76.
- [20] Tomiyama H, Yamashina A, Arai T, et al. Influences of age and gender on results of noninvasive brachial-ankle pulse wave velocity measurement--a survey of 12 517 subjects [J]. *Atherosclerosis*, 2003, 166(2): 303-309.
- [21] Woodard GA, Brooks MM, Barinas-Mitchell E, et al. Lipids, menopause, and early atherosclerosis in study of women's health across the nation heart women [J]. *Menopause*, 2011, 18(4): 376-384.
- [22] Nagano M, Nakamura M, Sato K, et al. Association between serum C-reactive protein levels and pulse wave velocity: a population-based cross-sectional study in a general population [J]. *Atherosclerosis*, 2005, 180(1): 189-195.
- [23] Taquet A, Bonithon-Kopp C, Simon A, et al. Relations of cardiovascular risk factors to aortic pulse wave velocity in asymptomatic middle-aged women [J]. *Eur J Epidemiol*, 2003, 9(3): 298-306.
- [24] Pannier BM, Cambillau MS, Vellaud V, et al. Abnormalities of lipid metabolism and arterial rigidity in young subjects with borderline hypertension [J]. *Clin Invest Med*, 1994, 17(1): 42-51.
- [25] Liang YL, Gatzka CD, Du XJ, et al. Effects of heart rate on arterial compliance in men [J]. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 1999, 26(4): 342-346.
- [26] 陶 杰. 静息心率与臂踝脉搏波传导速度的关系 [D]. 唐山: 华北理工大学, 2015; 55-60.
- [27] Mangoni A, Mircoli L, Giannattasio C, et al. Heart rate-dependence of arterial distensibility in vivo [J]. *Hypertension*, 1996, 20(4): 897-901.
- (此文编辑 曾学清)