·综 述·

无创臂踝脉搏波速度在心血管疾病及其危险因素分析中的应用

隗 玮[1,2],张存泰[1*],刘 彧[1]
([1]华中科技大学同济医学院附属同济医院综合科,武汉 430030;[2]解放军第161医院干部病房,武汉 430000)

【摘 要】 无创臂踝脉搏波速度(baPWV)作为反映动脉硬化的指标,已广泛应用于临床。目前,由于国内相关baPWV的流行病学资料较为缺乏,现有资料差异较大。本文就baPWV在心血管疾病及其危险因素分析中的应用作一综述,为临床提供参考。

【关键词】 臂踝脉搏波传导速度;心血管疾病;心血管危险因素
【中图分类号】 R541 【文献标志码】 A 【DOI】 10.11915/j.issn.1671-5403.2017.05.091

Application of non-invasive brachial ankle pulse wave velocity in cardiovascular disease and analysis of risk factors for the diseases

WEI Wei[1,2], ZHANG Cun-Tai[1*], LIU Yu[1]
([1]Department of General Medicine, Tongji Hospital, Tongji Medical College of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China; [2]Cadre's Ward, Chinese PLA Hospital No. 161, Wuhan 430000, China)

【Abstract】 Non-invasive brachial ankle pulse wave velocity (baPWV), as an indicator of atherosclerosis, has been widely used in clinical practice. In present, there are no enough epidemiological data on baPWV in China, and the existing data vary wildly. This article reviewed the value of baPWV in cardiovascular diseases and analysis of the risk factors for the diseases in order to provide references for its clinical application.

【Key words】 brachial ankle pulse wave velocity; cardiovascular diseases; cardiovascular risk factors

Corresponding author: *ZHANG Cun-Tai*, *E-mail*: *ctzhang0425@163.com*

动脉粥样硬化引起的心血管疾病及其并发症已经成为危及人类健康的主要疾病。动脉僵硬度升高不仅是心血管疾病发病和死亡的独立危险因子,也是恶性心血管事件的预测因子[1]。高危人群更容易发生心血管疾病和恶性心血管事件,动脉硬化检测对心血管疾病的早期筛查、防治和评估具有重要意义[2]。

脉搏波传导速度(pulse wave velocity,PWV)指的是左心室收缩产生的搏动沿动脉血管和血流向外周传播的速度,反映的是部分动脉的弹性。通常可以在任何一段动脉的两端测得脉搏波,随动脉僵硬度的增加而加大,血管壁增厚和管腔的狭窄也可以增加PWV。目前,PWV的"金指标"是检测颈股动脉PWV(carotid femoral PWV,cfPWV),其次是检测臂踝PWV(brachial ankle PWV,baPWV)[3]。现有研究表明,baPWV与cfPWV具有良好相关性,是冠状动脉疾病、心肌损伤和心血管事件的独立预测因子。同时,baPWV具有良好的可靠性和重复性[4],因而在人群血管病筛查、预测、诊断、诊治等方面有较大的潜在价值和用途。

1 baPWV和心血管疾病危险因素相关分析

1.1 baPWV的测量方法及局限性

近些年来,国内外对脉搏波相关检测产品投入了较大的科研力量和经费支持,也陆续应用在市场、医院等领域,为开展脉搏波研究提供了有效的途径和方法。采用日本Colin公司生产的全自动动脉僵硬度检测仪(OMRON动脉硬化检测仪VP-1000)测定双侧的baPWV,由技术熟练的专业人员进行检查。研究对象需要平卧安静休息≥5 min,依据被检者的上臂围和踝部腿围选择合适的血压袖带传感器绑好,安装心电、心音传感器,按照仪器操作规程进行操作,等到信号清晰、基线稳定后进行数据采集。检测仪同时记录baPWV、血压、心率、心电图和心音

收稿日期:2016-11-19;修回日期:2016-12-27
通信作者:张存泰,E-mail:ctzhang0425@163.com

图,并计算踝臂压力指数(ankle brachial pressure index,ABI)。重复检测3次,仪器自动取平均值并保存。应避免有心房颤动、频繁心律失常和明显动脉狭窄的人群。例如,ABI <0.95可引起不准确的脉搏波录音,baPWV的绝对值也会大大高于实测值[5]。

1.2 影响baPWV的已知心血管疾病的相关风险因素

1.2.1 年龄和血压 年龄是动脉硬化的主要决定因素,baPWV也随着年龄增加而增加。研究显示[6],相较于年龄和血压对baPWV的影响,其他常规心血管风险性因素是微不足道的。此外,高血压引起动脉壁张力的增加,也会改变血管壁的结构和功能,加速动脉硬化的过程。研究表明,高值血压即可导致血管损害[7],难治性高血压患者的baPWV比一般高血压患者更高[8]。可见,血管硬化的改变,始终贯穿高血压疾病的发生发展,并随着高血压病情的进展,血管僵硬度也增加。还有一些前瞻性的研究表明,血压持续升高会加速大中型动脉血管壁的硬化,年龄在其中起协同作用[7]。

1.2.2 葡萄糖、脂质代谢、肥胖及代谢综合征 研究表明,baPWV在糖尿病受试者和葡萄糖耐量异常的人群中均升高[9],血糖升高加速了与年龄相关的baPWV的增加。糖尿病可损害血管内皮细胞的功能,高血糖产生的糖基化终末产物可以通过炎症因子损伤血管壁,而后导致全身动脉结构和功能的改变,这是动脉僵硬度增加的主要原因[10]。因而,在疾病的初期,予以干预治疗,可以减轻动脉硬化。

脂质代谢异常促进动脉僵硬度的发生发展,高血脂直接损伤血管内皮功能。如在亚洲人群中,日本研究显示,baPWV与血清总胆固醇水平无明显相关性,与血清甘油三酯水平相关[11];我国研究显示,baPWV与低密度脂蛋白胆固醇和高密度脂蛋白胆固醇的比值有关[12],高密度脂蛋白胆固醇升高提示对血管有一定保护。脂质代谢可能与饮食生活习惯相关联。肥胖是早发心血管疾病的危险因素之一,尤其是腹型肥胖与baPWV呈独立相关[13],体脂率与baPWV呈弱相关[14]。

代谢综合征是以胰岛素抵抗为基础的一组代谢异常症候群,主要表现为肥胖、高血糖、高血压、血脂异常等多组分聚集发病,可引起全身大小动脉功能和结构改变。研究表明,具有代谢综合征受试者的baPWV年增长率要比无症状受试者高[15],即使在血压变化调整后,仍能明显观察到这一特点,因此,代谢综合征可加速老年结构动脉僵硬度的增加。

1.2.3 睡眠呼吸暂停、肾病、系统性红斑狼疮和其他危险因素 许多研究表明,睡眠呼吸暂停与心血管疾病密切相关,是baPWV增长的风险因子[16]。睡眠呼吸暂停通过激活一系列神经内分泌因素,促进氧化应激反应、血管内皮损伤、血管活性物质和炎性介质异常释放,加速动脉粥样硬化进程[17],尤其对于合并原发性高血压的青年人群,并不会因为年龄因素减弱影响。

目前,关于动脉弹性功能与肾功能的关系尚无定论,但有明确证据表明肾动脉硬化后血流加速会导致肾组织损伤,并引起肾小球功能和结构的异常[18]。研究显示[19],动脉僵硬度的增加与早期肾损害显著相关,在患终末期肾病的人群中,透析开始前baPWV的加速增长,提示预后不良。

系统性红斑狼疮(systemic lupus erythematosus,SLE)容易并发肺动脉高压(pulmonary arterial hypertension,PAH),病理变化包括微血管和大血管病变。baPWV可作为监测SLE病情活动程度及PAH进展程度的参考指标[20]。

还有研究发现,baPWV与吸烟、同型半胱氨酸、C反应蛋白、早发心血管家族史等危险因素呈正相关[21-24],骨质疏松或肌肉萎缩的患者baPWV也会增加[24-26]。

2 baPWV和心血管疾病的相关分析

2.1 动脉硬化机制及对心血管疾病的影响

动脉粥样硬化是一种多因性疾病,涉及到基因环境代谢等多种因素的相互作用。如内皮功能障碍、血压升高、心率加快、以及交感神经兴奋等,都能增加功能性动脉硬度。已知的危险因子可通过其非特异性炎症过程参与动脉粥样硬化的发生与发展,这些化学成分与他们之间的相互作用是结构性动脉硬化的主要决定因素。

心血管主要起缓冲压力、弹性贮器和同步转化心脏泵出血流的作用,为周围组织供氧。动脉粥样硬化将直接增加心脏的后负荷,而且会加快动脉内压力波的行进速度。因此,在心脏收缩期,可观察到主动脉中正向压力波和反射波的总和[27],这种现象可能会进一步增加心脏后负荷。动脉粥样硬化将减少舒张期冠状动脉血流灌注量,从而引起冠状动脉供血的心肌细胞出现缺血缺氧。而大动脉的缓冲效应降低,放大了搏动压力,增加了搏动能量向周围小血管和微循环的传递,容易出现微血管损伤。尤其是在较高血流量灌注的器官中,如大脑和肾脏,形成所谓的搏动性肾病和脑病[28]。已经有研究表明[29],增加的baPWV是肾功能进展和认知功能下降的风险因素。在各种可能因素的作用下,血流切

应力改变内皮细胞形态、增加细胞间隙、改变力学信号的传递和传导，同时直接损伤内皮细胞。随着时间的延长，血管细胞黏附分子（vascular cell adhesion molecule，VCAM）的表达增强，抑制补体[30]。损伤导致血管炎症反应，内皮功能紊乱，形成脂纹与斑块，进一步形成不稳定的斑块和破裂血栓，引起心肌缺血与坏死，导致左心室重构与心力衰竭[31]。此外，局部动脉硬化也可能会引起动脉易脱落斑块的形成[32]。

2.2 baPWV在心血管疾病中的意义

对于心血管疾病来说，动脉硬化并不是一种特殊现象，baPWV可能不适用于冠心病的筛查。但更多的研究表明，baPWV与心血管疾病的发展和预后相关[33]，同时可以评估心血管病的治疗情况，以便及时调整治疗方案。

2.2.1 冠心病 指冠状动脉病变引起的一系列综合征。baPWV与冠状动脉病变和其钙化的严重程度相关，与临床症状无关[34]。随着冠状动脉病变支数的增加，baPWV值逐渐增加，而且冠状动脉两支病变时baPWV均值高于正常[35]。同时，baPWV值较高的冠心病患者，冠状动脉钙化程度更高、狭窄程度更窄，动脉粥样硬化的部位更广泛[36]。

2.2.2 心力衰竭 动脉硬化导致左心室后负荷增大、冠状动脉灌注障碍会严重影响心脏功能，增加心力衰竭风险。研究发现[3]，baPWV增加，舒张早期二尖瓣血流速度与舒张晚期二尖瓣血流速度比值（E/A）减小、舒张早期二尖瓣血流速度与舒张早期二尖瓣环运动速度的比值（E/E'）增大，且随舒张功能的减退而变大，同时baPWV与左心室舒张功能等级相关，baPWV越快，左心室舒张功能越差。

2.2.3 心血管疾病事件风险 现有的研究结果表明[1]，PWV是未来心血管事件和全因死亡的强预测因子，PWV的预测能力和基础心血管事件风险正相关；高PWV患者比低PWV患者的总心血管事件、心血管死亡和全因死亡风险比例高；PWV每升高1个标准差，总心血管事件、心血管死亡和全因死亡风险分别升高47%、47%和42%。研究显示[37]，在没有心脏疾病的4164例普通人群中，随访6.5年，baPWV > 1800 cm/s的患者出现了心脑血管疾病（校正了年龄、性别、饮酒等风险因素）。在有冠心病[38]、糖尿病[39]的患者中，baPWV是预后的重要预测因子，独立于颈动脉内－中膜厚度（carotid intima-media thickness，CIMT）。对于接受血液透析的患者，在发生心血管疾病死亡的人群中也可以看到baPWV增加[40]。

2.2.4 心血管综合征病因的治疗 高血压是动脉硬化最重要的影响因素，也称为“心血管综合征”。对高血压患者予以常规降压治疗，分别服用培哚普利、氨氯地平和替米沙坦，治疗1个月和3个月后，baPWV值均有一定程度降低，提示上述3种降压药均能改善大血管弹性[41]。降压治疗均有一定的改善血管僵硬度作用，目前认为血管紧张素受体拮抗剂（angiotensin receptor blocker，ARB）和血管紧张素转换酶抑制剂（angiotensin converting enzyme inhibitor，ACEI）的疗效优于利尿剂和硝酸酯类药物[42]；具有舒张血管功能的β受体阻滞剂较普通的β受体阻滞剂效果好，内皮素受体阻滞剂也有一定效果[43]。他汀类药物可改善内皮功能和血管弹性，稳定动脉粥样斑块，有研究证明对冠心病合并高血脂症患者给予阿托伐他汀后baPWV值较治疗前明显降低[44]。也有研究分析认为[45]，他汀类药物改善血管僵硬度需要更多的验证。已知抽烟、酗酒、久坐不动、以及体质量增加都能加剧动脉硬化，在这些因素引起的动脉硬化增加的情况下，患者生活方式的改变对改善动脉硬化有明显效果。此外，良好的作息、心态平和、适度的锻炼、限盐、饮食多摄入水果、蔬菜、发酵奶也可以改善血管僵硬度。值得注意的是，持续的高强度锻炼可增加动脉僵硬度[46]。

综上所述，baPWV对心血管疾病的筛查、诊断、评估、治疗等都有着积极的现实意义，建议baPWV值异常者应早日改变生活方式及采取一定的治疗措施，以减低发生心血管疾病的风险、改善预后。

【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. DOI: 10.1016/j.jacc.2009.10.061.

[2] 王志广，党爱民. 脉搏波传导速度检测在心血管疾病中的意义及其研究进展[J]. 中华高血压杂志，2013，21(3)：223－226.
Wang ZG, Dang AM. The significance and research progress of pulse wave velocity in cardiovascular disease [J]. Chin J Hypertens, 2013, 21(3): 223－226.

[3] 朱辰蕊，龚艳君，洪 涛，等. 心内科住院患者脉搏波传导速度与左心室舒张功能的相关性[J]. 中国动脉硬化杂志，2014，22(9)：949－953.
Zhu CR, Gong YJ, Hong T, *et al*. Relationship between pulse wave velocity and left ventricular diastolic function of hospitalized patients in department of cardiology [J]. Chin J Arteriosclerosis, 2014, 22(9): 949－953.

[4] 王梦琴，顾东风，曹 杰，等. 臂踝脉搏波速度测量的重复性研究[J]. 中华老年多器官疾病杂志，2008，7(5)：368－371.

DOI: 10.3969/j.issn.1671-5403.2008.05.005.
Wang MQ, Gu DF, Cao J, *et al*. Repeatability of brachial ankle pulse wave velocity measurement[J]. Chin J Mult Organ Dis Elderly, 2008, 7(5): 368-371. DOI: 10.3969/j.issn.1671-5403.2008.05.005.

[5] Van Bortel LM, Laurent S, Boutouyrie P, *et al*. Expert consensus document on the measurement of aortic stiffness in daily practice using carotid-femoral pulse wave velocity[J]. J Hypertens, 2012, 30(3): 445-458. DOI: 10.1097/HJH.0b013e32834fa8b0.

[6] Cecelja M, Chowienczyk P. Dissociation of aortic pulse wave velocity with risk factors for cardiovascular disease other than hypertension: a systematic review[J]. Hypertension, 2009, 54(6): 1328-1336. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.109.137653.

[7] Tomiyama H, Hashimoto H, Matsumoto C, *et al*. Effects of aging and persistent prehypertension on arterial stiffening[J]. Atherosclerosis, 2011, 217(1): 130-134. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2011.03.028.

[8] Pabuccu T, Baris N, Ozpelit E, *et al*. The relationship between resistant hypertension and arterial stiffness[J]. Clin Exp Hypertens, 2011, 34(1): 57-62. DOI: 10.3109/10641963.2011.618203.

[9] Prenner SB, Chirinos JA. Arterial stiffness in diabetes mellitus[J]. Atherosclerosis, 2015, 238(2): 370-379. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2014.12.023.

[10] Zieman SJ, Melenovsky V, Kass DA. Mechanisms, pathophysiology, and therapy of arterial stiffness[J]. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 2005, 25(5): 932-943. DOI: 10.1161/01.ATV.0000160548.78317.29.

[11] Fujiwara Y, Chaves P, Takahashi R, *et al*. Relationships between brachial-ankle pulse wave velocity and conventional atherosclerotic risk factors in community-dwelling people[J]. Prev Med, 2004, 39(6): 1135-1142. DOI: 10.1016/j.ypmed.2004.04.026.

[12] Zhao W, Gong W, Wu N, *et al*. Association of lipid profiles and the ratios with arterial stiffness in middle-aged and elderly Chinese[J]. Lipids Health Dis, 2014, 13: 37. DOI: 10.1186/1476-511X-13-37.

[13] Czernichow S, Bertrais S, Oppert JM, *et al*. Body composition and fat repartition in relation to structure and function of large arteries in middle-aged adults (the SU. VI. MAX study)[J]. Int J Obes (Lond), 2005, 29(7): 826-832. DOI: 10.1038/sj.ijo.0802986.

[14] 黄晖明, 陶宏军, 李 森, 等. 脉搏波传导速度(PWV)在体质综合评价中的应用[J]. 中国体育科技, 2011, 47(4): 91-94. DOI: 10.3969/j.issn.1002-9826.2011.04.016.
Huang HM, Tao HJ, Li S, *et al*. Application of pulse wave velocity in comprehensive evaluation of physical fitness[J]. China Sport Sci, 2011, 47(4): 91-94. DOI: 10.3969/j.issn.1002-9826.2011.04.016.

[15] Tomiyama H, Hirayama Y, Hashimoto H, *et al*. The effects of changes in the metabolic syndrome detection status on arterial stiffening: a prospective study[J]. Hypertens Res, 2006, 29(9): 673-678. DOI: 10.1291/hypres.29.673.

[16] Saito T, Saito T, Sugiyama S, *et al*. Effects of long-term treatment for obstructive sleep apnea on pulse wave velocity[J]. Hypertens Res, 2010, 33(8): 844-849. DOI: 10.1038/hr.2010.77.

[17] 邓 峥, 孙 睿, 樊重阳, 等. 睡眠呼吸暂停与睡眠前后血管内皮功能变化关系的研究[J]. 昆明医科大学学报, 2012, 33(11): 42-48. DOI: 10.3969/j.issn.1003-4706.2012.11.011.
Deng Z, Sun R, Fan CY, *et al*. Relationship between obstructive sleep apnea hypopnea syndrome and vascular endothelial function variation before and after sleeping[J]. J Kunming Med Univ, 2012, 33(11): 42-48. DOI: 10.3969/j.issn.1003-4706.2012.11.011.

[18] Bian SY, Guo HY, Ye P, *et al*. Association of glomerular filtration rate with arterial stiffness in Chinese women with normal to mildly impaired renal function[J]. J Geriatr Cardiol, 2012, 9(2): 158-165. DOI: 10.3724/SP.J.1263.2012.03051.

[19] Verbeke F, Van Biesen W, Honkanen E, *et al*. Prognostic value of aortic stiffness and calcification for cardiovascular events and mortality in dialysis patients: outcome of the calcification outcome in renal disease (CORD) study[J]. Clin J Am Soc Nephrol, 2011, 6(1): 153-159. DOI: 10.2215/CJN.05120610.

[20] 韩 丹, 刘恒亮, 史丽璞. 系统性红斑狼疮并肺动脉高压患者脉搏波速度的变化[J]. 中国医药导报, 2015, 12(10): 27-30.
Han D, Liu HL, Shi LP. Changes of pulse wave velocity in systemic lupus erythematosus patients with pulmonary arterial hypertension[J]. China Med Herald, 2015, 12(10): 27-30.

[21] Doonan RJ, Hausvater A, Scallan C, *et al*. The effect of smoking on arterial stiffness[J]. Hypertens Res, 2010, 33(5): 398-410. DOI: 10.1038/hr.2010.25.

[22] Levy D, Hwang SJ, Atilla K, *et al*. Associations of plasma natriuretic peptide, adrenomedullin, and homocysteine levels with alterations in arterial stiffness: the Framingham Heart Study[J]. Circulation, 2007, 115(24): 3079-3085. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.652842.

[23] Mulders TA, van den Bogaard B, Bakker A, *et al*. Arterial stiffness is increased in families with premature coronary artery disease[J]. Heart, 2012, 98(6): 490-494. DOI: 10.1136/heartjnl-2011-300999.

[24] Tomiyama H, Okazaki R, Koji Y, *et al*. Elevated C-reactive protein: a common marker for atherosclerotic cardiovascular risk and subclinical stages of pulmonary dysfunction and osteopenia in a healthy population[J]. Atherosclerosis, 2005, 178(1): 187-192. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2004.08.014.

[25] Hirose K, Tomiyama H, Okazaki R, *et al*. Increased pulse wave velocity associated with reduced calcaneal quantitative osteo-sono index: possible relationship between atherosclerosis and osteopenia[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2003, 88(6): 2573-2578. DOI: 10.1210/jc.2002-021511.

[26] Ochi M, Kohara K, Tabara Y, *et al*. Arterial stiffness is associated with low thigh muscle mass in middle-aged to elderly men[J]. Atherosclerosis, 2010, 212(1): 327-332. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2010.05.026.

[27] O'Rourke MF, Hashimoto J. Mechanical factors in arterial aging: a clinical perspective[J]. J Am Coll Cardiol, 2007, 50(1): 1-13. DOI: 10.1016/j.jacc.2006.12.050.

[28] O'Rourke MF, Safar ME, Dzau V. The cardiovascular continuum

extended: aging effects on the aorta and microvasculature [J]. Vasc Med, 2010, 15(6): 461 - 468. DOI: 10.1177/1358863X10382946.

[29] Tomiyama H, Tanaka H, Hashimoto H, *et al*. Arterial stiffness and declines in individuals with normal renal function/early chronic kidney disease[J]. Atherosclerosis, 2010, 212(1): 345 - 350. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2010.05.033.

[30] 贾伟华，田桂玲. 颈动脉粥样硬化斑块形成及其血管重塑的力学机制[J]. 国外医学脑血管疾病分册, 2005, 13(1): 63 - 65. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4165.2005.01.015.
Jia WH, Tian GL. Mechanism of carotid atherosclerotic plaque formation and vascular remodeling [J]. Foreign Med Sci Cerebrovasc Dis, 2005, 13(1): 63 - 65. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4165.2005.01.015.

[31] 李建军. 心血管病进展与2011回顾炎症与冠状动脉粥样硬化性疾病研究进展[J]. 心血管病学进展, 2012, 33(1): 10 - 13. DOI: 10.3969/j.issn.1004-3934.2012.01.004.
Li JJ. Advances in cardiovascular disease and 2011 review of research progress in inflammation and coronary artery disease[J]. Adv Cardiovasc Dis, 2012, 33(1): 10 - 13. DOI: 10.3969/j.issn.1004-3934.2012.01.004.

[32] Beaussier H, Masson I, Collin C, *et al*. Carotid plaque, arterial stiffness gradient, and remodeling in hypertension[J]. Hypertension, 2008, 52(4): 729 - 736. DOI:10.1161/HYPERTENSIONAHA.108.115972.

[33] Orlova IA, Nuraliev EY, Yarovaya EB, *et al*. Prognostic value of changes in arterial stiffness in men with coronary artery disease[J]. Vasc Health Risk Manag, 2010, 6: 1015 - 1021. DOI: 10.2147/VHRM.S13591.

[34] Nam HJ, Jung IH, Kim J, *et al*. Association between brachial-ankle pulse wave velocity and occult coronary artery disease detected by multi-detector computed tomography[J]. Int J Cardiol, 2012, 157(2): 227 - 232. DOI: 10.1016/j.ijcard.2011.01.045.

[35] 赵迅冉，江 杰，韩 丹，等. ABI联合baPWV与双源CT冠状动脉成像的相关性研究[J]. 临床放射学杂志, 2015, 34(3): 376 - 379.
Zhao XR, Jiang J, Han D, *et al*. Study of the correlation between ABI, baPWV and coronary artery lesions with dual source CT coronary angiography [J]. J Clin Radiol, 2015, 34(3): 376 - 379.

[36] Kwon JE, Mintz GS, Kim SW, *et al*. Relationship between coronary artery plaque composition by virtual histology intravascular ultrasound analysis and brachial-ankle pulse wave velocity in patients with coronary artery disease[J]. Coron Artery Dis, 2011, 22(8): 565 - 569. DOI: 10.1097/MCA.0b013e32834c5e6f.

[37] Takashima N, Turin TC, Matsui K, *et al*. The relationship of brachial-ankle pulse wave velocity to future cardiovascular disease events in the general Japanese population: the Takashima Study[J]. J Hum Hypertens, 2014, 28(5): 323 - 327. DOI: 10.1038/jhh.2013.103.

[38] Sugamata W, Nakamura T, Uematsu M, *et al*. The combined assessment of flow mediated dilation of the brachial artery and brachial ankle pulse wave velocity improves the prediction of future coronary events in patients with chronic coronary artery disease[J]. J Cardiol, 2014, 64(3): 179 - 184. DOI: 10.1016/j.jjcc.2014.01.004.

[39] Katakami N, Osonoi T, Takahara M, *et al*. Clinical utility of brachial-ankle pulse wave velocity in the prediction of cardiovascular events in diabetic patients[J]. Cardiovasc Diabetol, 2014, 13: 128. DOI: 10.1186/s12933-014-0128-5.

[40] Kato A, Takita T, Furuhashi M, *et al*. Brachial-ankle pulse wave velocity and the cardio-ankle vascular index as a predictor of cardiovascular outcomes in patients on regular hemodialysis[J]. Ther Apher Dial, 2012, 16(3): 232 - 241. DOI: 10.1111/j.1744-9987.2012.01058.x.

[41] Ait-OufellaH, Collin C, Bozec E, *et al*. Long-term reduction in aortic stiffness: a 5.3-year follow-up in routine clinical practice[J]. J Hypertens, 2010, 28(11): 2336 - 2341. DOI: 10.1097/HJH.0b013e32833da2b2.

[42] Boutouyrie P, Lacolley P, Briet M, *et al*. Pharmacological modulation of arterial stiffness [J]. Drugs, 2011, 71(13): 1689 - 1701. DOI: 10.2165/11593790-000000000-00000.

[43] Dhaun N, Macintyre IM, Kerr D, *et al*. Selective endothelin — a receptor antagonism reduces proteinuria, blood pressure, and arterial stiffness in chronic proteinuric kidney disease [J]. Hypertension, 2011, 57(4): 772 - 779. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.110.167486.

[44] Meng X, Qie L, Wang Y, *et al*. Assessment of arterial stiffness affected by atorvastatin in coronaty artery disease using pulse wave velocity[J]. Clin Invest Med, 2009, 32(6): E238.

[45] Rizos EC, Agouridis AP, Elisaf MS. The effect of statin therapy on arterial stiffness by measuring pulse wave velocity: a systematic review[J]. Curr Vasc Pharmacol, 2010, 8(5): 638 - 644.

[46] Miyachi M. Effects of resistance training on arterial stiffness: a meta-analysis[J]. Br J Spots Med, 2013, 47(6): 393 - 396. DOI: 10.1136/bjsports-2012-090488.

（编辑：吕青远）