

◆ 综述

Application progresses of pulse wave velocity in
evaluation of arterial stiffness

REN Bo, HE Peng, GU Peng*

(Department of Ultrasound, the Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College,
Nanchong 637000, China)

[Abstract] Arterial pulse wave velocity (PWV) is a reliable indicator of arterial stiffness, and can provide important information for clinical evaluation of the arterial stiffness. In recent years, with the development of science and technology, PWV as an index to quantitatively evaluate the elasticity of arterial wall has been recognized by more and more clinical workers, for its detection efficiency and application research value have been continuously improved. The application progresses of PWV in evaluation of arterial stiffness were reviewed in this article.

[Key words] Arteriosclerosis; Arterial stiffness; Pulse wave velocity

DOI:10.13929/j.1003-3289.2016.11.036

脉搏波传导速度评价动脉僵硬度的应用进展

任 波, 贺 鹏, 顾 鹏*

(川北医学院附属医院超声科, 四川 南充 637000)

[摘 要] 动脉脉搏波传导速度(PWV)是反映动脉僵硬度的可靠指标,为临床评估动脉硬化提供了重要信息。近年来,随着科学技术的发展,PWV 作为能够定量评价动脉僵硬度的指标,其检测效能和应用价值得到不断的提升,已被越来越多的临床工作者所认可。本文就 PWV 评价动脉僵硬度的研究进展进行综述。

[关键词] 动脉硬化;动脉僵硬度;脉搏波传导速度

[中图分类号] R543; R445.1 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2016)11-1761-04

动脉硬化是危害人类健康的常见外周血管疾病,是各类慢性心血管疾病及急性心脑血管事件的主要病因之一。研究^[1]表明,动脉僵硬度是心血管疾病的独立预测因子。脉搏波传导速度(pulse wave velocity, PWV)可量化评价动脉僵硬度,已成为检测动脉弹性的指标^[2]。本文就 PWV 评价动脉僵硬度的研究进展进行综述。

1 动脉硬化与 PWV

动脉硬化包括动脉粥样硬化、小动脉硬化和动脉

中层钙化。动脉硬化早期管壁出现局部脂质沉积、纤维组织增生、平滑肌细胞增生及内皮下泡沫细胞形成等多种复杂的病理生理改变,后期形成纤维斑块及粥样斑块,可继发斑块内出血、斑块破裂、局部血栓形成、动脉夹层及动脉瘤等。动脉硬化是各类慢性心血管疾病及急性心脑血管事件的主要病因之一,这些疾病的早期即有血管结构和功能的改变,并伴随动脉僵硬度的改变^[2]。目前动脉僵硬度的检测方式主要有动脉 PWV 检测、血管膨胀压-内径检测及动脉脉冲波形分析等,由于 PWV 检测的临床实用性和可操作性较好,目前已得到普遍应用。

动脉脉搏波指心脏收缩时伴随着主动脉瓣开放,血液由心脏泵入外周动脉并产生沿管壁传播的压力波,而 PWV 检测即通过捕获传播路径中两点间脉搏波的传播速度来间接反映动脉弹性。PWV 检测系统

[基金项目] 四川省科技支持计划项目(2012SZ0072)。

[第一作者] 任波(1990—),女,四川成都人,在读硕士,医师。研究方向:心血管疾病的超声诊断。E-mail: renbo0308@163.com

[通信作者] 顾鹏,川北医学院附属医院超声科,637000。

E-mail: linda2621@sina.com

[收稿日期] 2016-06-27 [修回日期] 2016-08-29

主要有光电传感器检测系统^[3]、压敏传感器检测系统^[4]及多普勒超声检测^[5]等。光电传感器检测系统主要通过检测心电信号、桡动脉脉搏波和手指脉搏波信号获得多段 PWV 参数。压敏传感器检测系统的原理是张力测量法,通过将压力敏感探头器置于受测者的体表,利用压力传感器采集脉搏波信号。多普勒超声检测的应用原理是多普勒频移,近年来超声极速脉搏波技术(ultrafast pulse wave velocity, UFPWV)的发展较为迅速,其临床价值也逐步受到关注^[6]。PWV 检测项目主要有颈-股动脉 PWV(carotid to femoral PWV, CF-PWV)、颈-踝动脉 PWV(carotid-ankle pulse wave velocity, CA-PWV)、踝-臂动脉 PWV(brachial to ankle PWV, BA-PWV)及颈动脉 PWV(Carotid pulse wave velocity, C-PWV)等^[7-8]。

2 PWV 在临床疾病中的应用

2.1 高血压 高血压是动脉粥样硬化、急性心肌梗死、脑卒中及充血性心力衰竭等疾病的危险因素。血压的波动与动脉僵硬度存在紧密而复杂的联系,长期动脉血压的改变是动脉管壁弹性改变的预兆^[9]。若在高血压疾病早期及时进行临床干预可延缓病情发展并改善高血压及合并其他心血管疾病的临床预后。2007 年的欧洲高血压指南已推荐高血压患者将 PWV 检测作为动脉僵硬度评估的指标^[10]。张光华等^[6]应用 UFPWV 技术对 76 例无内中膜增厚及斑块形成的原发性高血压患者进行 C-PWV 测量,发现在早期颈动脉无明显形态学改变之前即出现颈动脉僵硬度和功能的改变,该研究证实了 PWV 可用于检测高血压的早期动脉硬化。PWV 也可作为高血压控制及高血压合并其他疾病患者临床预后的评估指标。Celik 等^[11]认为,有效控制血压可降低高血压合并终末期肾病血液透析患者的动脉僵硬度,从而改善预后,并通过实验验证了 PWV 作为评估指标的可行性。Kim 等^[12]也通过实验证实了 PWV 作为评估指标在血压控制疗法延缓高血压合并糖尿病患者动脉硬化中的可靠性。

2.2 冠状动脉性心脏病 冠状动脉性心脏病(coronary artery disease, CAD)指冠状动脉粥样硬化所致管腔狭窄或冠状动脉功能性改变而导致的心肌缺血、缺氧或局部坏死的心血管疾病。目前,CAD 的确诊仍然以冠状动脉造影为金标准,但由于其费用高、有创、有辐射的特点并不利于 CAD 患者的筛查、预后评估及随访观察。外周动脉 PWV 与冠状动脉粥样硬化密切相关,可作为冠心病的预测指标^[13]。Nam 等^[14]通过回顾性分析隐匿性 CAD 患者动脉 PWV 和冠状动

脉造影检查结果发现,BA-PWV 与冠状动脉钙化积分呈正相关,CAD 患者的 BA-PWV 明显高于正常人,BA-PWV 评估冠状动脉存在狭窄的敏感度和特异度分别为 77%和 63%,该研究认为 PWV 有望成为筛选隐匿性 CAD 的无创检测手段。Zhang 等^[7]在探讨动脉硬化与 CAD 患病风险的研究中发现高水平的 CF-PWV 和 CA-PWV 增加了 CAD 患病风险。CAD 患者冠状动脉病变程度与疾病的临床预后密切相关,Chae 等^[8]根据冠状动脉造影检测结果将 CAD 患者进行严重程度分层,并将接受经皮冠状动脉介入治疗和冠状动脉旁路移植术的患者归为血运重建组,然后对各组进行动脉 PWV 检测,结果显示 BA-PWV 增高能够作为 CAD 的独立危险因素,但在评估冠状动脉狭窄程度和血运重建疗效上具有局限性。CAD 患者冠状动脉的病变范围、狭窄程度与外周动脉 PWV 的关系以及 PWV 能否作为血运重建后的疗效评估手段还有待进一步研究。

2.3 糖尿病 糖尿病(diabetes mellitus, DM)是一组以慢性血糖水平升高为特征的代谢性疾病,与胰岛素抵抗、胰岛素分泌不足、感染及药物等诸多因素有关。随着人类生活水平的提高、人口老龄化及人类生活方式改变,DM 呈逐渐增长的趋势。DM 患者动脉硬化的主要机制是慢性持续性高血糖水平使肾素-血管紧张素-醛固酮系统活性增加和血管内皮生长因子信号系统调节异常以及慢性炎症反应^[15],而动脉硬化是 DM 患者动脉硬化性闭塞、心脑血管慢性病变、视网膜病变及糖尿病足等并发症的始动因素。DM 前期阶段动脉僵硬度即出现改变,Loehr 等^[16]通过临床实验发现 DM 前期患者 BA-PWV 明显高于正常人,而 Bradley 等^[17]也发现 DM 青少年患者早期即出现外周血管僵硬度和功能的改变。DM 患者动脉僵硬度的改变随着病情进展而变化,对已有并发症的患者应给予更加严密的 PWV 监测和临床疾病控制。目前动脉 PWV 检测大多数应用于表浅大中动脉,仅仅是对大动脉僵硬度的一种评估,针对有细小动脉并发症糖尿病患者的细动脉 PWV 检测的研究报道较少,期待随着科技的迅速发展,细小动脉的 PWV 检测能够做到定位、定性和定量评估。

2.4 脑卒中 脑卒中分为缺血性脑卒中和出血性脑卒中,是临床常见的脑血管意外,具有高发病率、高致残率和高死亡率特点,全球每年有近 500 万人死于脑卒中事件^[18]。动脉僵硬度增加和脑血管反应性降低是脑卒中的重要危险因素^[19]。Wohlfahrt 等^[20]认为

脑卒中患者动脉僵硬度增加后血管反应性降低,对血流冲击的缓冲作用下降,致使血流对小血管的冲击力和压强增加,从而引起颅内小血管损害。由于脑卒中的高发病率、高致残率和高死亡率特点,其危险因素的早期筛查十分重要。Gasecki 等^[21]通过实验研究发现,动脉 PWV 增加与急性缺血性脑卒中事件密切相关,而且 PWV 检测还可评估亚临床血管性脑损伤。复发性脑卒中相当普遍,可导致患者已有的神经功能障碍进一步加重,同时也是影响死亡率的重要因素。美国心脏协会在脑卒中预防指南中建议对脑卒中患者进行常规心血管筛查以防止复发性脑卒中的发生^[22]。Gasecki 等^[23]通过对脑卒中患者进行长期的随访观察发现动脉 PWV 较低的患者比动脉 PWV 升高的患者临床预后较好。PWV 检测可为脑卒中患者的临床预后和随访观察提供可靠的动脉僵硬度评估手段,如果能够纳入复发性脑卒中防治的常规检测项目将有助于提高患者生存质量。

2.5 慢性肾病 慢性肾病(chronic kidney disease, CKD)指各种原因造成慢性肾脏结构的改变及功能障碍,晚期可发展为肾功能衰竭,是心力衰竭、致命性心律失常及脑卒中等心脑血管疾病的危险因素。动脉僵硬度增加是 CKD 病理生理改变的标志之一,不管在终末期肾病还是在早中期 CKD 均可出现^[24]。Tomiyama 等^[25]通过对肾功能正常及有早期 CKD 的职业人群进行研究发现动脉硬化与肾功能下降有关,BA-PWV 每增高 1 m/s,肾小球滤过率下降的概率增加 36%。研究^[26]报道,CKD 患者更多死于 CAD、致命性心律失常及充血性心力衰竭等心血管疾病而非 CKD 本身。有学者^[27]认为大动脉硬化是 CKD 患者心力衰竭的独立预测因子。Sulemane 等^[28]在关于 CKD 患者左心室扭转力学与主动脉硬度关系的研究中发现左心室射血分数正常而左心室扭转角度增大的患者动脉 PWV 升高,可见动脉 PWV 能反映早期左心室后负荷及动脉僵硬度。对于进展为终末期肾病需持续血液透析的 CKD 患者,动脉 PWV 监测已成为疗效评估和心血管死亡率预测的关注点。Di Micco 等^[29]研究发现,长期维持性血液透析患者动脉 PWV 可降低,而 PWV 检测可量化评估血液透析的疗效。近年来研究^[30]也表明,动脉 PWV 作为 CKD 患者肾移植术后心血管事件和移植肾功能衰竭的预测因子有着相当重要的作用。

2.6 其他 非酒精性脂肪性肝病(non-alcoholic fatty liver disease, NAFLD)是包括非酒精性单纯性脂肪肝、非酒精性脂肪性肝炎及其相关的肝硬化和肝细胞

癌的一组疾病,影响着全球近 20% 人口^[31]。NAFLD 与动脉硬化之间可通过炎症反应和胰岛素抵抗等机制相互影响,NAFLD 可加速动脉硬化进展,而动脉僵硬度增加会促使 NAFLD 患者向晚期肝纤维化方向发展^[32]。Sunbul 等^[33]通过研究证实 NAFLD 患者的动脉僵硬度较正常人明显升高,该研究还发现 NAFLD 患者的肝纤维化严重程度和心外膜脂肪厚度与大动脉 PWV 高度相关。此外, PWV 检测还可应用于高尿酸血症^[34]、类风湿性关节炎^[35]及系统性红斑狼疮^[36]等疾病的研究。

3 展望

越来越多的研究证实, PWV 量化评估动脉僵硬度为临床各种动脉相关性疾病的监测、疗效评估、预后评价及并发症风险预测等提供了重要信息, PWV 检测还有望为研发逆转血管早期病变的药物提供影像学支持,以期降低心脑血管事件的发病率和死亡率。

临床应用较多的 PWV 检测技术是压敏传感器检测系统,近年来超声领域新发展起来的 UFPWV 技术操作简便且干扰因素少,越来越受到关注。目前 UFPWV 技术主要是用于 C-PWV 检测,能否替代传统压敏感受器还有待进一步科学验证。如果 UFPWV 能应用于中小型动脉及体内脏器动脉的弹性检测,将是超声弹性检测技术的飞跃。

[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 Am Coll Cardiol*, 2010, 55(13):1318-1327.
- [2] Fortier C, Agharazii M. Arterial stiffness gradient. *Pulse (Basel)*, 2016, 3(3-4):159-166.
- [3] 杜晓兰, 张永军, 陈林, 等. 基于光电传感器的多段脉搏波传播速度检测系统的研制. *中国组织工程研究与临床康复*, 2007, 11(26):5167-5169.
- [4] Tsai JP, Wang JH, Chen ML, et al. Association of serum leptin levels with central arterial stiffness in coronary artery disease patients. *BMC cardiovasc disord*, 2016, 16:80.
- [5] Huang C, Ren TL, Luo J. Effects of parameters on the accuracy and precision of ultrasound-based local pulse wave velocity measurement: A simulation study. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control*, 2014, 61(12):2001-2018.
- [6] 张光华, 安静, 洪林巍. 极速成像技术检测脉搏传导速度早期评价原发性高血压患者颈动脉弹性的研究. *中国临床医学影像杂志*, 2016, 27(4):297-299.
- [7] Zhang Y, Ye P, Luo L, et al. Association between arterial stiff-

- ness and risk of coronary artery disease in a community-based population. *Chin Med J (Engl)*, 2014, 127(22):3944-3947.
- [8] Chae MJ, Jung IH, Jang DH, et al. The brachial ankle pulse wave velocity is associated with the presence of significant coronary artery disease but not the extent. *Korean Circ J*, 2013, 43(4):239-245.
 - [9] Lim J, Pearman ME, Park W, et al. Impact of blood pressure perturbations on arterial stiffness. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2015, 309(12):R1540-R1545.
 - [10] Shirai K, Saiki A, Nagayama D, et al. The role of monitoring arterial stiffness with cardio-ankle vascular index in the control of lifestyle-related diseases. *Pulse (Basel)*, 2015, 3(2):118-133.
 - [11] Celik G, Demirci MS, Tumuklu M, et al. Factors related to pulse wave velocity and augmentation index in chronic hemodialysis patients. *Ren Fail*, 2011, 33(10):957-963.
 - [12] Kim G, Kim JH, Moon KW, et al. The control of blood pressure might be important in delaying progression of arterial aging in patients with type 2 diabetes mellitus. *Clin Interv Aging*, 2014, 9:1321-1325.
 - [13] Pereira T, Maldonado J, Polonia J, et al. Aortic pulse wave velocity and HeartSCORE: Improving cardiovascular risk stratification. A sub-analysis of the EDIVA (Estudo de Distensibilidade Vascular) project. *Blood Press*, 2014, 23(2):109-115.
 - [14] 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. *Int J Cardiol*, 2012, 157(2):227-232.
 - [15] Zhang JY, Gong YL, Li CJ, et al. Circulating MiRNA biomarkers serve as a fingerprint for diabetic atherosclerosis. *Am J Transl Res*, 2016, 8(6):2650-2658.
 - [16] Loehr LR, Meyer ML, Poon AK, et al. Prediabetes and diabetes are associated with arterial stiffness in older adults: The ARIC study. *Am J Hypertens*, 2016, 29(9):1038-1045.
 - [17] Bradley TJ, Slorach C, Mahmud FH, et al. Early changes in cardiovascular structure and function in adolescents with type 1 diabetes. *Cardiovasc Diabetol*, 2016, 15:31.
 - [18] Sonderer J, Katan Kahles M. A etiological blood biomarkers of ischaemic stroke. *Swiss Med Wkly*, 2015, 145:w14138.
 - [19] Rucka D, Marek J, Rucklova Z, et al. Arterial stiffening contributes to impairment of cerebrovascular reactivity in patients with coronary artery disease without carotid stenosis. *Physiol Res*, 2015, 64(3):335-343.
 - [20] Wohlfahrt P, Krajcoviechova A, Jozifova M, et al. Large artery stiffness and carotid flow pulsatility in stroke survivors. *J Hypertens*, 2014, 32(5):1097-1103.
 - [21] Gasecki D, Kwarcianny M, Kowalczyk K, et al. 4C.08: Aortic stiffness is an independent biomarker of subclinical brain damage in acute ischemic stroke. *J Hypertens*, 2015, 33(Suppl 1):e58.
 - [22] Kernan WN, Ovbiagele B, Black HR, et al. Guidelines for the prevention of stroke in patients with stroke and transient ischemic attack: A guideline for healthcare professionals from the American heart association/American stroke association. *Stroke*, 2014, 45(7):2160-2236.
 - [23] Gasecki D, Rojek A, Kwarcianny M, et al. Pulse wave velocity is associated with early clinical outcome after ischemic stroke. *Atherosclerosis*, 2012, 225(2):348-352.
 - [24] Garnier AS, Briet M. Arterial stiffness and chronic kidney disease. *Pulse (Basel)*, 2016, 3(3-4):229-241.
 - [25] Tomiyama H, Tanaka H, Hashimoto H, et al. Arterial stiffness and declines in individuals with normal renal function/early chronic kidney disease. *Atherosclerosis*, 2010, 212(1):345-350.
 - [26] Chue CD, Townend JN, Steeds RP, et al. Arterial stiffness in chronic kidney disease: Causes and Consequences. *Heart*, 2010, 96(11):817-823.
 - [27] Chirinos JA, Khan A, Bansal N, et al. Arterial stiffness, central pressures, and incident hospitalized heart failure in the chronic renal insufficiency cohort study. *Circ Heart Fail*, 2014, 7(5):709-716.
 - [28] Sulemane S, Panoulas VF, Konstantinou K, et al. Left ventricular twist mechanics and its relation with aortic stiffness in chronic kidney disease patients without overt cardiovascular disease. *Cardiovasc Ultrasound*, 2016, 14:10.
 - [29] Di Micco L, Torraca S, Sirico ML, et al. Daily dialysis reduces pulse wave velocity in chronic hemodialysis patients. *Hypertens Res*, 2012, 35(5):518-522.
 - [30] Seibert FS, Behrendt C, Pagonas N, et al. Prediction of cardiovascular events after renal transplantation. *Transplant Proc*, 2015, 47(2):388-393.
 - [31] Younossi ZM, Koenig AB, Abdelatif D, et al. Global epidemiology of non-alcoholic fatty liver disease-meta-analytic assessment of prevalence, incidence, and outcomes. *Hepatology*, 2016, 64(1):73-84.
 - [32] Villela-Nogueira CA, Leite NC, Cardoso CR, et al. NAFLD and increased aortic stiffness: Parallel or common physiopathological mechanisms? *Int J Mol Sci*, 2016, 17(4):E460.
 - [33] Sunbul M, Agirbasli M, Durmus E, et al. Arterial stiffness in patients with non-alcoholic fatty liver disease is related to fibrosis stage and epicardial adipose tissue thickness. *Atherosclerosis*, 2014, 237(2):490-493.
 - [34] Bae JS, Shin DH, Park PS, et al. The impact of serum uric acid level on arterial stiffness and carotid atherosclerosis: The Korean Multi-Rural Communities Cohort study. *Atherosclerosis*, 2013, 231(1):145-151.
 - [35] Ilter A, Kiris A, Karkucak M, et al. Arterial stiffness is associated with left ventricular dysfunction in patients with rheumatoid arthritis. *Clin Rheumatol*, [2016-06-07]. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10067-015-3163-z>
 - [36] Sabio JM, Martinez-Bordonado J, Sánchez-Berná I, et al. Nighttime blood pressure patterns and subclinical atherosclerosis in women with systemic lupus erythematosus. *J Rheumatol*, 2015, 42(12):2310-2317.