

脉搏波传导速度的基础与临床

朱彦琪 储光 吴莹 徐梦丹 张治 戴秋艳

【摘要】 脉搏波传导速度(pulse wave velocity, PWV)是评估血管弹性的指标,高血压指南推荐其用于评估动脉硬化程度,并为早期干预及判断预后提供依据。该文就 PWV 的形成机制、测量方法及临床应用作一简介,包括伴有动脉硬化危险因素或动脉硬化性疾病患者 PWV 的变化,针对动脉硬化的药物或非药物治疗对 PWV 的影响,以及 PWV 对心脑血管疾病发生风险的预测价值。

【关键词】 脉搏波;传导速度;血管硬化

doi:10.3969/j.issn.1673-6583.2015.06.003

脉搏波传导速度(PWV)被广泛应用于无创评估动脉血管弹性,高血压指南将其纳入高血压所致靶器官损害的评估指标。本文主要介绍 PWV 的形成原理、影响因素及其临床应用价值。

1 PWV 的形成原理及测量方法

PWV 是脉搏波在动脉系统的两个既定点之间传播的速度,由传播距离除以时间计算得到。根据 Moens-Korteweg 方程及 Hughes 模型:

$$PWV = \sqrt{\frac{hE}{\rho D} \exp(\alpha P)}$$

其中, h 为血管壁厚度, E 为管壁的杨氏弹性模量(弹性系数), ρ 为流体密度, D 为平衡状态下血管内径, P 为血管跨壁压。因此, PWV 与血管壁厚度、弹性系数、血管壁跨壁压差的平方根成正比,与血管直径、流经的血液密度的平方根成反比^[1]。

现有的测量方法难以获取 Moens-Korteweg 方程中的各项变量。临床上较多采用两点间距离除以脉搏传递时间表示,其数值反映选定的两个测量端点之间血管的弹性。目前常用的测量方法有颈-股动脉 PWV(carotid-femoral PWV, cfPWV)和臂-踝动脉 PWV(brachial-ankle PWV, baPWV)。cfPWV 被认为是评估中心动脉僵硬度的金标准,在欧洲心脏病学会(ESC)高血压指南及主动脉疾病诊治指南中被推荐使用。2013 年 ESC 高血压指南将 cfPWV > 10 m/s 作为动脉顺应性异常的界限,但其测量技术要求较高,不适用于大规模筛查。baPWV 测量方法相对简单,仅需袖带绑测四肢即可,在临

床上应用较广泛。baPWV 的 60% 反映中心动脉僵硬, 40% 反映外周动脉僵硬。Tanaka 等^[2]对来自多中心的 2 287 例患者的研究发现, baPWV 和 cfPWV 有良好的相关性 ($r = 0.73$), 且 baPWV 比 cfPWV 平均高 20%。此外,还可检测颈-桡动脉 PWV、颈-足背动脉 PWV、心脏-肱动脉 PWV、心脏-股动脉 PWV、心脏-颈动脉 PWV 以及冠状动脉 PWV 等,上述方法大多仅用于科研。

2 血管结构对 PWV 的影响

杨氏弹性模量是表征材料性质的一个物理量,其大小取决于材料本身的物理性质。杨氏弹性模量反映材料刚性,其值越大,材料越不易形变、硬度越大。血管的弹性系数仅取决于血管本身的物理性质,值越大,血管顺应性越差。动脉血管壁由内膜、中膜及外膜 3 层结构组成。内皮细胞主要通过一氧化氮等物质调节血管顺应性。Fitch 等^[3]发现,给予大鼠一氧化氮合成阻断剂后,血管 PWV 上升。中膜是决定血管弹性的主要结构,由平滑肌细胞和基质组成。基质的主要成分为胶原和弹力纤维。正常情况下两者维持动态的代谢平衡,但在炎症、血管内压力增大、创伤等状态下,基质金属蛋白酶调节异常,使胶原增加,弹力蛋白排列紊乱或降解,从而导致血管顺应性下降。过度沉积的糖基化终末产物,与胶原及弹力纤维不可逆地结合,使基质变硬,血管硬度增加。钙、磷等矿物质的沉积会破坏弹力纤维之间的交联,使之排列紊乱而力量削弱,引起血管硬度的增加。给大鼠喂食高维生素 D 及尼古丁 2 个月,可造成动脉中膜弹力纤维的钙沉积增加,在血管直径及管壁厚度不变的情况下,血

管的 PWV 明显增加,并引起左室肥厚。平滑肌细胞对血管弹性的调节主要来自细胞本身的拉伸、钙信号改变和旁分泌激素的影响^[4]。

机体衰老的过程中,血管壁发生进行性硬化。盐的过量摄取使平滑肌细胞激活,胶原合成增加^[5]。长期血压升高会刺激平滑肌细胞增生、活化及中膜增厚,使血管顺应性下降。长期高血糖和高胰岛素血症可刺激局部肾素-血管紧张素-醛固酮系统激活,胰岛素抵抗与血管硬化呈正相关。血管紧张素及醛固酮可刺激平滑肌细胞增生及基质纤维化,导致血管顺应性下降。

3 PWV 与心脑血管病危险因素的关系

血压是影响 PWV 的重要因素,高血压患者的 PWV 水平高于血压正常人群。涂燕平等^[6]在 90 例患者中检测 PWV,其中糖耐量正常、糖耐量下降、2 型糖尿病各 30 例,结果发现,随着糖代谢异常的加重,baPWV 逐渐升高。Wilkinson 等^[7]研究表明,低密度脂蛋白胆固醇水平与 PWV 相关。国内一项针对 1 075 名健康体检人群的研究发现,低密度脂蛋白胆固醇的水平与 PWV 明显相关,而且在校正了年龄、血压、高密度脂蛋白胆固醇、尿酸水平等因素后,相关性依然存在^[8]。在 1 型糖尿病患者中,载脂蛋白 B(ApoB)、非高密度脂蛋白胆固醇与 PWV 明显相关^[9]。Scuteri 等^[10]纳入 6 148 名受试者,年龄 14~102 岁,结果发现,体质量指数(BMI)与 cfPWV 明显相关,腰围与 PWV 的相关性更强,且不受年龄、性别和血压水平的干扰。腹型肥胖是动脉硬化重要表象之一^[11]。对弗莱明翰研究第 3 代人群的 4 140 名个体的分析发现,PWV 随尿酸水平上升而升高^[12]。此外,尼古丁亦可引起即刻及慢性 PWV 上升^[13-14]。

4 PWV 在心血管疾病中的变化

在血管硬化性疾病中 PWV 显著上升。baPWV 升高与左心室舒张功能下降存在相关性。Chow 等^[15]测量了 41 例患者的 baPWV、cfPWV、踝臂指数(ankle brachial index, ABI)和脉搏压(pulse pressure, PP),并以超声测量二尖瓣口舒张早期血流峰值速度与舒张晚期峰值速度比值(E/A)、左房直径和左房容积指数。结果显示,baPWV 与 E/A 相关,与年龄及血压无关,其他两两之间均无明显相关。对健康受试者^[16]和射血分数保留心力衰竭患者^[17]进行的研究也发现,baPWV 与二尖瓣舒张早期流速与侧壁瓣环组织多普勒速度比值

(E/E')所反映的左室充盈压有明显相关性。对 133 例疑似冠心病者进行冠状动脉造影,结果发现,PWV 与反映冠状动脉狭窄程度的 Gensin 积分相关性欠佳,但与冠心病患者左室重构及心功能相关参数明显相关^[18-19]。

5 PWV 的预测价值

PWV 对于新发高血压及心脑血管事件有良好的预测价值。Takase 等^[20]测定了 2 496 名血压正常受试者(27~84 岁)的 baPWV,随访 4 年,终点为发生高血压,结果发现,基线 baPWV 值可独立预测新发高血压。Ben-Shlomo 等^[21]纳入 16 项研究、17 635 例患者进行荟萃分析,结果发现在校正了性别和年龄因素后,主动脉 PWV(aorta PWV, aPWV)升高发生冠心病的风险比为 1.35、脑卒中为 1.54、心脑血管病为 1.45,均具有统计学意义;校正了传统的危险因素后,aPWV 仍是冠心病、脑卒中和心脑血管疾病的良好预测因子(风险比分别为 1.23、1.28 和 1.30);在现有的 10 年心血管风险评估系统中加入 aPWV 并重新分组,能更有效地预测事件,有助于更早地甄别高危人群以早期干预。

6 改善 PWV 的手段

一项前瞻性研究对 187 例高血压患者及 296 名正常血压者随访了 6 年,发现高血压患者每年的 PWV 进展速度远高于正常血压者,但血压控制良好的高血压患者的 PWV 进展速度与正常血压者相当^[22]。目前尚缺乏针对血管顺应性的治疗药物。研究表明,氯沙坦除了降压之外,还可以降低 PWV^[23]。高血压患者在原有药物基础上加用比索洛尔,可在降低血压的同时改善 PWV^[24]。与氨氯地平联合阿替洛尔相比,氨氯地平联合缬沙坦可使中心动脉压下降更为明显,但两者的 PWV 相似^[25]。Kanaki 等^[26]进行了一项双盲、随机、安慰剂对照研究,纳入 50 例高血压和高胆固醇血症患者,随机给予 10 mg 阿托伐他汀或安慰剂治疗 26 周。治疗结束时,阿托伐他汀组 aPWV(9.0 ± 1.5) m/s 明显低于安慰剂组(10.9 ± 2.6) m/s, $P < 0.001$ 。说明小剂量阿托伐他汀能够改善动脉僵硬度。Bellien 等^[27]发现,舌下含服硝酸甘油可以降低人肱动脉 PWV,改善血管顺应性。

改善生活方式的一些措施亦被证实有效。Cooper 等^[28]随访了 344 例血压、血糖正常的年轻肥胖受试者(BMI $25 \sim 40$ kg/m²),通过干预生活方式控制体质量。6 个月后,平均体质量下降 7%,

cfPWV 下降 47.5 cm/s ($P < 0.0001$), baPWV 下降 11.7 cm/s ($P = 0.049$); 12 个月时, 体质量下降 6%, cfPWV 较基线时显著下降。校正了平均动脉压和肥胖相关因子如瘦素等的变化后, 发现 BMI 下降与 cfPWV 变化相关, 且 baPWV 下降的同时, 伴有心率减慢和 C 反应蛋白的变化。Ashor 等^[29]分析了 42 项随机对照研究、1 627 例成人受试者, 发现有氧运动可改善 PWV, baPWV、cfPWV 分别下降 1.01 m/s 和 0.39 m/s, 尤其在基础 PWV 较高的患者中, 效果更为显著。此外, 抗阻训练没有改善动脉弹性的效果; 适量饮酒者 PWV 似乎更低^[30]。

综上所述, PWV 是反映动脉血管弹性的敏感指标, 多项心血管危险因素可引起 PWV 升高。PWV 升高可预测心脑血管事件的发生, 临床可以通过检测 PWV 评估血管壁结构的损伤程度, 为判断预后及早期干预提供帮助。

参 考 文 献

- [1] 李章俊, 王 成, 朱 浩, 等. 基于光电容积脉搏波描记法的无创连续血压测量[J]. 中国生物医学工程学报, 2012, 31(4): 607-614.
- [2] Tanaka H, Munakata M, Kawano Y, et al. Comparison between carotid-femoral and brachial-ankle pulse wave velocity as measures of arterial stiffness[J]. J Hypertens, 2009, 27(10): 2022-2027.
- [3] Fitch RM, Vergona R, Sullivan ME, et al. Nitric oxide synthase inhibition increases aortic stiffness measured by pulse wave velocity in rats[J]. Cardiovasc Res, 2001, 51(2): 351-358.
- [4] Cecelja M, Chowienzyk P. Role of arterial stiffness in cardiovascular disease [J]. JRSM Cardiovasc Dis, 2012, 1(4): 1-11.
- [5] Safar ME, Thuilliez C, Richard V, et al. Pressure-independent contribution of sodium to large artery structure and function in hypertension [J]. Cardiovasc Res, 2000, 46(2): 269-276.
- [6] 涂燕平, 雷梦觉, 葛郁芝, 等. 糖代谢异常和臂踝脉搏波传导速度与颈动脉内膜中层厚度间的关系[J]. 中国心血管杂志, 2007, 12(5): 350-351.
- [7] Wilkinson IB, Prasad K, Hall IR, et al. Increased central pulse pressure and augmentation index in subjects with hypercholesterolemia[J]. J Am Coll Cardiol, 2002, 39(6): 1005-1011.
- [8] 李小玲, 李 颖, 王瑞涛. 不同水平的低密度脂蛋白胆固醇人群踝脉搏波传导速度的研究 [J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2012, 10(5): 532-534.
- [9] Bjornstad P, Nguyen N, Reinick C, et al. Association of apolipoprotein B, LDL-C and vascular stiffness in adolescents with type 1 diabetes[J]. Acta Diabetol, 2015, 52(3): 611-619.
- [10] Scuteri A, Orru M, Morrell CH, et al. Associations of large artery structure and function with adiposity: effects of age, gender, and hypertension. The SardiNIA Study [J]. Atherosclerosis, 2012, 221(1): 189-197.
- [11] Strasser B, Arvandi M, Pasha EP, et al. Abdominal obesity is associated with arterial stiffness in middle-aged adults[J]. Nutr Metab Cardiovasc Dis, 2015, 25(5): 495-502.
- [12] Mehta T, Nuccio E, McFann K, et al. Association of uric acid with vascular stiffness in the Framingham Heart Study[J]. Am J Hypertens, 2015, 28(7): 877-883.
- [13] Adamopoulos D, Argacha JF, Gujic M, et al. Acute effects of nicotine on arterial stiffness and wave reflection in healthy young non-smokers[J]. Clin Exp Pharmacol Physiol, 2009, 36(8): 784-789.
- [14] van de Laar RJ, Stehouwer CD, Boreham CA, et al. Continuing smoking between adolescence and young adulthood is associated with higher arterial stiffness in young adults; the Northern Ireland Young Hearts Project [J]. J Hypertens, 2011, 29(11): 2201-2209.
- [15] Chow B, Rabkin SW. Brachial-ankle pulse wave velocity is the only index of arterial stiffness that correlates with a mitral valve indices of diastolic dysfunction, but no index correlates with left atrial size [J]. Cardiol Res Pract, 2013, 2013: 986847.
- [16] Kim HL, Im MS, Seo JB, et al. The association between arterial stiffness and left ventricular filling pressure in an apparently healthy Korean population [J]. Cardiovasc Ultrasound, 2013, 11(1): 2.
- [17] 姜莎莎, 丛 涛, 钟 雷, 等. 臂踝动脉脉搏波速度对射血分数保留心力衰竭的诊断价值[J]. 中国循环杂志, 2014, 29(10): 809-813.
- [18] 孙 冰, 许佳毅, 蒋金法. 无创性动脉硬化检测技术对冠心病早期诊断价值的评估[J]. 国际心血管病杂志, 2013, 40(6): 383-385.
- [19] 毛 雯, 张苗苗, 吴 迪. 冠心病患者动脉僵硬度与左心室重构及心功能的相关性[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2014, 16(8): 811-814.
- [20] Takase H, Dohi Y, Toriyama T, et al. Brachial-ankle pulse wave velocity predicts increase in blood pressure and onset of hypertension[J]. Am J Hypertens, 2011, 24(6): 667-673.
- [21] Ben-Shlomo Y, Spears M, Boustred C, et al. Aortic pulse wave velocity improves cardiovascular event prediction: an individual participant meta-analysis of prospective observational data from 17, 635 subjects [J]. J Am Coll Cardiol, 2014, 63(7): 636-646.
- [22] Benetos A, Adamopoulos C, Bureau JM, et al. Determinants of accelerated progression of arterial stiffness in normotensive subjects and in treated hypertensive subjects over a 6-year period[J]. Circulation, 2002, 105(10): 1202-1207.
- [23] Mahmud A, Feely J. Effect of angiotensin ii receptor blockade on arterial stiffness: beyond blood pressure reduction[J]. Am

- J Hypertens, 2002, 15(12):1092-1095.
- [24] Eguchi K, Hoshida S, Kario K. Effects of celiprolol and bisoprolol on blood pressure, vascular stiffness, and baroreflex sensitivity [J]. Am J Hypertens, 2015, 28 (7): 858-867.
- [25] Boutouyrie P, Achouba A, Trunet P, et al. Amlodipine-valsartan combination decreases central systolic blood pressure more effectively than the amlodipine-atenolol combination; the EXPLOR study[J]. Hypertension, 2010, 55 (6):1314-1322.
- [26] Kanaki AI, Sarafidis PA, Georgianos PI, et al. Effects of low-dose atorvastatin on arterial stiffness and central aortic pressure augmentation in patients with hypertension and hypercholesterolemia[J]. Am J Hypertens, 2013, 26 (5): 608-616.
- [27] Bellien J, Favre J, Iacob M, et al. Arterial stiffness is regulated by nitric oxide and endothelium-derived hyperpolarizing factor during changes in blood flow in humans [J]. Hypertension, 2010, 55(3):674-680.
- [28] Cooper JN, Buchanich JM, Youk A, et al. Reductions in arterial stiffness with weight loss in overweight and obese young adults: potential mechanisms [J]. Atherosclerosis, 2012, 223(2):485-490.
- [29] Ashor AW, Lara J, Siervo M, et al. Effects of exercise modalities on arterial stiffness and wave reflection: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. PLoS One, 2014, 9(10):e110034.
- [30] Sierksma A, Lebrun CE, van der Schouw YT, et al. Alcohol consumption in relation to aortic stiffness and aortic wave reflections: a cross-sectional study in healthy postmenopausal women[J]. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 2004, 24 (2): 342-348.

(收稿:2015-02-15 修回:2015-05-27)

(本文编辑:梁英超)



马上扫一扫

欢迎您访问《国际心血管病杂志》!