

• 综述 •

Research advancements of noninvasive imaging evaluation on arterial stiffness

HUANG Shaomin¹, CHEN Xiaodong², LUO Zebin^{2*}

(1. The First Clinical Medical College, Guangdong Medical University, Zhanjiang 524002, China;

2. Department of Radiology, Guangdong Medical University Affiliated Hospital,
Zhanjiang 524002, China)

[Abstract] Arterial stiffness, which reflecting the systolic and diastolic functions of blood vessels, is the key factor of maintaining activity of overall cardiovascular system, and is closely related to the occurrence and development of cardiovascular diseases. Early assessment of arterial elasticity is helpful to prevention and treatment of cardiovascular diseases. The relevant research advancements of noninvasive imaging evaluation on arterial stiffness were reviewed in this article.

[Keywords] arteries; elasticity; cardiovascular diseases; diagnostic imaging

DOI: 10.13929/j.issn.1672-8475.2022.11.014

影像学无创评估动脉弹性研究进展

黄少敏¹, 陈晓东², 罗泽斌^{2*}

(1. 广东医科大学第一临床医学院, 广东 湛江 524002; 2. 广东医科大学附属医院放射科,
广东 湛江 524002)

[摘要] 动脉弹性反映血管收缩及舒张功能, 是维持整体心血管系统活动的关键因素, 并与心血管疾病的发生发展密切相关; 早期评估动脉弹性有助于预防和治疗心血管疾病。本文就影像学检查无创评估动脉弹性研究进展进行综述。

[关键词] 动脉; 弹性; 心血管疾病; 诊断显像

[中图分类号] R543.5; R445 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8475(2022)11-0725-04

近年来, 我国心血管疾病发病率和死亡率持续上升, 已跃居城乡居民疾病死亡原因首位^[1-2]。动脉弹性是心血管疾病风险的独立预测因子^[3-4]。影像学无创评估动脉弹性是近年的研究热点。本文对影像学无创评估动脉弹性研究进展进行综述。

1 概述

1.1 动脉结构与功能 动脉壁包括内膜、中膜及外膜。中膜由弹性蛋白和胶原蛋白组成, 弹性蛋白使动脉保持柔韧性与延展性, 而胶原蛋白则维持动脉刚度,

限制其扩张、延展; 二者含量相对平衡, 有利于动脉收缩与舒张并保持血压稳定, 维持心血管系统正常活动。年龄是动脉弹性的主要影响因素^[5]。随着年龄增长, 弹性蛋白在压力负荷作用下断裂、降解, 内皮细胞功能受损并出现脂类物质积聚和内膜钙化, 导致动脉硬化而弹性减低。动脉弹性亦与血压有关: 血压升高则管壁压力负荷增加, 弹性蛋白受到破坏, 管壁纤维化, 动脉硬度增加; 同时, 动脉硬化使动脉缓冲作用减弱、顺应性减低而使血压升高。此外, 高血糖、高血脂、不良饮食结构、吸

[基金项目] 广东医科大学附属医院院内资助类临床研究项目(LCYJ2020B010)。

[第一作者] 黄少敏(1993—), 女, 广东清远人, 在读硕士。研究方向: 心血管疾病影像学诊断。E-mail: 917162119@qq.com

[通信作者] 罗泽斌, 广东医科大学附属医院放射科, 524002。E-mail: gdmcfjsjd@qq.com

[收稿日期] 2022-05-03 [修回日期] 2022-06-13

烟及遗传等因素亦可加速动脉硬化进展^[6]。

1.2 动脉弹性定义及相关参数 动脉弹性定义为单位压力下血管直径、面积或体积的变化,反映血管形变能力。可通过脉搏波速度(pulse wave velocity, PWV)或压力作用下血管的局部变化评估动脉弹性: $PWV = \Delta L / \Delta t$, ΔL 为两点之间的距离, Δt 为通过两点之间距离的时间;后者基于图像(超声、CT 和 MRI)衍生参数如动脉扩张性(aortic distensibility, AD)、动脉顺应性(aortic compliance, AC)及动脉僵硬度 β 等, $AD = (\Delta S / S_d) / PP$, $AC = \Delta S / PP$, ΔS 为动脉管腔截面积最大值与最小值差值, S_d 为管腔截面积最大值,PP 为脉压(pulse pressure),即收缩压与舒张压之差。

1.3 动脉弹性与相关疾病的关系 动脉弹性减低可引发一系列心血管疾病。动脉粥样硬化好发于大、中动脉,其病理改变为内皮细胞功能受损,脂质、炎症细胞和纤维成分积聚,弹性蛋白破坏、减少,致动脉弹性降低及管腔狭窄。主动脉管壁结构与功能易受血流动力学影响而受损,使其弹性减低、管腔扩张,局部膨胀则可形成动脉瘤;动脉瘤发生于血流压力较大部位时,受损的内膜产生破口,血流经其进入中膜,可致主动脉夹层形成。动脉弹性减低与动脉粥样硬化、动脉瘤及动脉夹层明显相关^[7-9]。此外,主动脉壁僵硬使心脏后负荷增加,导致左心室肥大和纤维化,可引发急性冠状动脉综合征。NAGAYAMA 等^[10]认为动脉弹性是复发急性冠状动脉事件的有效预测因子。动脉弹性不仅与心血管疾病相关,还可用于评估外周血管病变。HASHIMOTO 等^[11]报道,动脉弹性减低是慢性肾病的主要影响因素。

2 无创评估动脉弹性方法

2.1 功能参数 目前临床常用动脉弹性功能参数包括 PP、脉搏波传导速度(pulse wave velocity, PWV)及反射波增强指数(augmentation index, AI)等。PP 简单且易获取,但易受心脏搏出量和左心室收缩速度影响,对早期动脉弹性改变不敏感。 $PWV = \text{脉搏波行进距离} / \text{通过时间}$ 。颈动脉-股动脉 PWV(carotid-femoral PWV, cfPWV)和肱动脉-踝动脉 PWV(brachial-ankle PWV, baPWV)广泛用于临床,二者评估动脉弹性的一致性较好,可用于识别心血管疾病高风险个体^[12-13]。PWV 预测心血管疾病风险的价值较高,但因需以特定仪器进行测量,且仅反映节段动脉平均弹性而非局部动脉弹性,并易受血压、心率等影响而临床应用较少。

AI 为主动脉收缩期产生重叠的两种反射波高度差与压力波高度(即主动脉脉压)的比值,是评估整个动脉系统弹性的有效参数,缺点是无法区分大、小动脉,且易受心率影响。

2.2 影像学方法

2.2.1 超声 超声操作简便、成本低廉,已广泛用于显示心脏、血管形态及评估其功能。超声可直接显示浅表血管形态,如内膜及中膜厚度、斑块等信息;通过测量心动周期血管直径及血流速度计算动脉顺应性、扩张性和 PWV 等参数,可较好地评估局部动脉弹性^[14]。近年来,极速脉搏波速度(ultrafast pulse wave velocity, UFPWV)和血管回声跟踪(echo-tracking, ET)等技术成为研究热点。UFPWV 图像采样率高,能够直接测量心脏收缩期起始及结束时的 PWV,可用于定量评估慢性肾病患者颈动脉弹性,预测其发生动脉粥样硬化的风险^[15]。作为动脉弹性评估方法,UFPWV 技术临床应用前景较好,但目前缺乏统一测量标准及参考值。既往建立 PWV 参考值多基于欧洲人群。YIN 等^[16]以 UFPWV 技术评估我国健康人群颈动脉弹性,并建立相应参考值,为临床早期识别颈动脉弹性异常提供了依据。焦新宇等^[17]采用 ET 技术评估颈动脉弹性。有学者^[18]提出,可通过公式将超声获取的动脉顺应性、扩张性等参数转换为局部 PWV,且转换后的 PWV 与 cfPWV 显著相关。对于不同评估方法所获结果的一致性有待更多研究加以进一步观察。总体而言,超声观察血管形态及评估血管功能存在图像分辨率较低、显示深部大血管效果欠佳,需采用特定仪器进行分析,且缺乏统一测量标准及参考值使结果的重复性较低等缺点,使其临床应用受到一定限制。

2.2.2 MRI MRI 无辐射、空间分辨率及软组织分辨率均高,对显示心脏、血管具有独特优势,可评估血管结构变化,但费用高、时间长,且对患者自身条件要求较高。现有 MRI 技术,包括电影 MRI、二维相位对比 MRI(two-dimensional phase contrast MRI, 2D PC MRI)及四维血流 MRI(four-dimensional flow MRI, 4D flow MRI)均等可用于评估动脉弹性,而评估方式有所不同。电影 MRI 通过获取心动周期内血管直径变化,计算血管扩张性、顺应性等参数而评估血管弹性,多用于大、中动脉^[19]。2D PC MRI 和 4D flow MRI 采集心动周期内血流数据,经后处理获得 PWV,以此评估动脉弹性;二者所获 PWV 无明显差异,并与 cfPWV 具有良好的一致性,故均可用于评估动脉弹性^[20]。采用 4D flow MRI 获取的主动脉 PWV 与

电影 MRI 及超声所测数据的一致性亦较高^[21-22]。4D flow MRI 较 2D PC MRI 更具优势,更适用于脑血管及血流较复杂血管如动脉夹层、动脉瘤等,但其成像时间长,且后处理步骤更为繁琐。目前,4D flow MRI 已用于评估脑血管弹性^[23],所示脑动脉弹性减低与脑小血管疾病密切相关。MRI 评估动脉弹性前景可观,但因已有临床研究多为单中心、小样本试验,未能采用统一扫描参数,后处理流程繁杂且工作量大等而尚未广泛用于临床。

2.2.3 CT 随着技术和设备的不断发展,CT 的时间和空间分辨率进一步提高,经后处理可获取心血管任意方位图像,结合心电门控技术能对心血管进行多时相动态观察,以实现从形态学观察到综合评价形态与功能的转变。

动脉随心脏搏动规律性收缩、舒张,通过测量其直径变化可评估局部血管弹性。体外模型^[24]及临床研究^[25]结果均证实 CT 结合心电门控技术评估动脉弹性具有可行性。CT 结合心电门控技术可测量正常人、腹主动脉瘤及主动脉夹层患者动脉弹性^[9,26-27];亦可用于评估小动脉弹性^[28],以及评估心血管以外其他动脉的弹性,如胰腺炎患者脾动脉弹性^[29];后者有助于实现一站式评价胰腺形态及脾动脉功能,为临床选择治疗方案提供更多信息。

CT 评估动脉弹性的优势在于无创、成像速度快、价格适中,能在不额外增加辐射剂量情况下满足展示血管形态与评估其功能的需求,具有较好临床应用前景。目前相关研究尚处于起步阶段,尚未建立规范、统一的测量标准及动脉弹性参考值。

3 小结与展望

相比功能参数,采用影像学方法无创评估动脉弹性的重要性逐渐凸现。由于评估方法众多,尚未形成统一标准,后处理程序繁琐且缺乏相应参考值等因素,目前评估动脉弹性尚未广泛用于临床。未来需通过多中心、大样本研究建立统一、规范的测量标准,简化后处理流程,并建立临床适用弹性参考值,以帮助临床医师了解相关疾病早期动脉弹性改变,及早择优选择干预手段,改善患者预后。

〔参考文献〕

- [1] TSAO C W, ADAY A W, ALMARZOOQ Z I, et al. Heart disease and stroke statistics-2022 update: A report from the American Heart Association[J]. Circulation, 2022, 145(8):e153-e639.

- [2] 国家心血管病中心.《中国心血管健康与疾病报告》2020[J].心肺血管病杂志,2021,40(10):1005-1009.
- [3] OJIMA S, KUBOZONO T, KAWASOE S, et al. Association of risk factors for atherosclerosis, including high-sensitivity C-reactive protein, with carotid intima-media thickness, plaque score, and pulse wave velocity in a male population [J]. Hypertens Res, 2020, 43(5):422-430.
- [4] BARADARAN H, DELIC A, MCNALLY J S, et al. Carotid compliance and parahippocampal and hippocampal volume over a 20-year period[J]. Dement Geriatr Cogn Dis Extra, 2021, 11(3): 227-234.
- [5] KUCHARSKA-NEWTON A M, STONER L, MEYER M L. Determinants of vascular age: An epidemiological perspective[J]. Clin Chem, 2019, 65(1):108-118.
- [6] LAROCCA T J, MARTENS C R, SEALS D R. Nutrition and other lifestyle influences on arterial aging[J]. Ageing Res Rev, 2017, 39:106-119.
- [7] 戴萍,朱正球,高慧,等.超极速脉搏波技术在定量评估早期动脉粥样硬化中的应用价值[J].血管与腔内血管外科杂志,2021,7(11):1323-1328.
- [8] YAO L, FOLSOM A R, ALONSO A, et al. Association of carotid atherosclerosis and stiffness with abdominal aortic aneurysm: The atherosclerosis risk in communities (ARIC) study [J]. Atherosclerosis, 2018, 270:110-116.
- [9] 赵晓莹,孙勇.MSCT 评估 Stanford B 型急性主动脉夹层动脉弹性[J].放射学实践,2019,34(12):1332-1336.
- [10] NAGAYAMA D, FUJISHIRO K, NAKAMURA K, et al. Cardio-ankle vascular index is associated with prevalence and new-appearance of atrial fibrillation in Japanese urban residents: A retrospective cross-sectional and cohort study [J]. Vasc Health Risk Manag, 2022, 18:5-15.
- [11] HASHIMOTO J, O'ROURKE M F. Inflammation and arterial stiffness in chronic kidney disease: Cause or consequence? [J]. Am J Hypertens, 2017, 30(4):350-352.
- [12] VALENCIA-HERNANDEZ C A, LINDBOHM J V, SHIPLEY M J, et al. Aortic pulse wave velocity as adjunct risk marker for assessing cardiovascular disease risk: Prospective study [J]. Hypertension, 2022, 79(4):836-843.
- [13] LIM J, PEARMAN M, PARK W, et al. Interrelationships among various measures of central artery stiffness [J]. Am J Hypertens, 2016, 29(9):1024-1028.
- [14] GU W, WU J, PEI Y, et al. Evaluation of common carotid stiffness via echo tracking in hypertensive patients complicated by acute aortic dissection[J]. J Ultrasound Med, 2021, 40(5): 929-936.
- [15] 黄辉,朱正球,吴意簪,等.超极速脉搏波传导速度技术实时定量评估慢性肾病患者颈动脉弹性减退[J].中国医学影像技术,2021,37(11):1650-1655.
- [16] YIN L X, MA C Y, WANG S, et al. Reference values of carotid ultrafast pulse-wave velocity: A prospective, multicenter, population-based study [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2021, 34

- (6):629-641.
- [17] 焦新宇, 杜启亘, 杜昕苓. 血管回声跟踪技术评估多囊卵巢综合征合并胰岛素抵抗患者早期颈动脉粥样硬化[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(9):1327-1330.
- [18] ALHALIMI T, LIM J, GOURLEY D, et al. Converting and standardizing various measures of arterial stiffness to pulse wave velocity[J]. Pulse (Basel), 2021, 9(3-4):72-82.
- [19] 郭立, 郭皓, 周晓雯, 等. MR电影法监测高血压主动脉扩张度的可行性研究[J]. 实用放射学杂志, 2021, 37(7):1086-1089.
- [20] SOULAT G, GENCER U, KACHENOURA N, et al. Changes in segmental pulse wave velocity of the thoracic aorta with age and left ventricular remodelling. An MRI 4D flow study[J]. J Hypertens, 2020, 38(1):118-126.
- [21] HOURIEZ-GOMBAUD-SAINTONGE S, MOUSSEAU E, BARGIOTAS I, et al. Comparison of different methods for the estimation of aortic pulse wave velocity from 4D flow cardiovascular magnetic resonance [J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2019, 21(1):75.
- [22] WEHRUM T, GÜNTHER F, KAMS M, et al. Quantification of aortic stiffness in stroke patients using 4D flow MRI in comparison with transesophageal echocardiography [J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2018, 34(10):1629-1636.
- [23] RIVERA-RIVERA L A, CODY K A, EISENMENGER L, et al. Assessment of vascular stiffness in the internal carotid artery proximal to the carotid canal in Alzheimer's disease using pulse wave velocity from low rank reconstructed 4D flow MRI[J]. J Cereb Blood Flow Metab, 2021, 41(2):298-311.
- [24] ZHANG J, FLETCHER J G, VRTISKA T J, et al. Large-vessel distensibility measurement with electrocardiographically gated multidetector CT: Phantom study and initial experience [J]. Radiology, 2007, 245(1):258-266.
- [25] 徐鹏, 张岩, 郑红秋, 等. 冠状动脉 CTA 在降主动脉弹性功能研究中的价值[J]. 临床放射学杂志, 2018, 37(7):1112-1115.
- [26] KONTOPODIS N, METAXA E, PAGONIDIS K, et al. Deformation and distensibility distribution along the abdominal aorta in the presence of aneurysmal dilatation[J]. J Cardiovasc Surg (Torino), 2017, 58(1):72-79.
- [27] 杨飞, 崔书君, 王大伟, 等. 640 层容积 CT 评估肺动脉弹性及其与主动脉弹性的相关性[J]. 中国医学影像学杂志, 2019, 27(1):11-14.
- [28] 敬婷, 斯光晏, 王文渊, 等. 冠状动脉 CT 血管成像中冠状动脉弹性研究及其在糖尿病患者冠状动脉评价中的应用[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2020, 26(3):271-275.
- [29] 宋健, 苏云杉, 毛崇文, 等. 640 层动态容积 CT 心电门控技术评估急性胰腺炎脾动脉血管壁弹性变化[J]. 中国医学影像学杂志, 2020, 28(4):260-263.

《中国介入影像与治疗学》投稿须知(二)

3 稿件修改 本刊编辑部通过网站编辑系统给作者发修改意见, 同时会有邮件提醒。一般情况下, 作者应于 7 天内将修改后稿件上传编辑系统。1 个月内未修回的稿件将以退稿处理。依照《著作权法》有关规定, 本刊编辑部可对来稿做文字修改、删节, 凡有涉及原意的修改, 请作者在寄回校样时提出。

4 稿件查询 ①作者投稿后 1 周未收到 E-mail 回复的稿号即为本期刊社未收到投稿, 请重新投稿; ②收到稿号后可登录本刊网站实时查询稿件处理状态, 1 个月内未查询到稿件审理进展可以发邮件咨询; ③本刊收费通知一律以 E-mail 形式发出, 如需出具纸质通知另行联系; ④作者交纳发表费后 1 个月内未查到发票信息或者未收到发票请及时发邮件与期刊社联系。

5 版权 来稿文责自负, 凡投稿者, 即视为同意本刊编辑部将稿件以纸质载体、光盘载体及网络版形式出版。寄回校样的同时请从本刊主页“下载中心”栏目中下载“版权转让协议”, 签字并寄回。

6 收费 作者在收到交纳审理费通知后须及时交纳审稿费 100 元。稿件一经录用, 即收取发表费, 刊印彩图者, 需加付彩图印制工本费。1 个月内不寄款者, 本刊将按退稿处理。

7 赠刊及稿酬 论文见刊后, 本刊将向第一作者邮寄两本赠刊。本刊按国家规定向作者支付稿酬, 为一次性稿酬, 纸质载体、光盘载体及网络版形式刊载文章的稿酬合并计算。如第一作者变更通信地址, 请及时更改注册信息同时邮件通知编辑部。

8 本刊邮箱 cjiit@mail. ioa. ac. cn

9 本刊网址 www. cjiit. com

10 地址 北京市海淀区北四环西路 21 号(中科院声学所)大猷楼 502 室, 《中国医学影像技术》期刊社, 邮政编码 100190。电话: 010-82547901/2, 传真: 010-82547903