

论著·临床研究 doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2018.20.014

640 层容积 CT 评价原发性高血压患者升主动脉弹性变化的可行性和临床意义

王晓灿¹, 杨飞², 朱月香², 崔书君^{2△}

(1. 河北北方学院, 河北张家口 075000; 2. 河北北方学院附属第一医院 CT 室, 河北张家口 075000)

[摘要] **目的** 探讨利用 640 层容积 CT 评价原发性高血压患者升主动脉弹性特点的可行性。**方法** 选取临床确诊为原发性高血压并拟行冠脉 CT 血管造影(CTA)检查的患者 90 例, 设定为高血压组, 按年龄分为 40~<50 岁、50~60 岁、>60 岁 3 组, 同时选取血压正常者 60 例作为对照组。对原始数据 0%~100% 每间隔 10% RR 间期进行数据重建, 根据软件生成的左心室收缩-舒张曲线, 测量升主动脉感兴趣层面管腔在收缩期与舒张期的横截面积, 分析比较在不同年龄组高血压组与对照组弹性参数的差异及年龄与动脉弹性的相关性, 弹性参数包括动脉扩张度(AD)、顺应性(AC)、僵硬度(β)。**结果** 高血压组的 AD、AC 值低于对照组, β 值明显高于对照组, 差异均有统计学意义($P < 0.01$), 年龄与动脉弹性明显相关, 随着年龄的升高, 两组的 AD、AC 值呈下降趋势, β 呈明显上升趋势, 且各年龄组之间弹性差异均有统计学意义($P < 0.01$)。**结论** 随着年龄增长而降低, 高血压患者动脉弹性的降低, 预示着高血压是动脉弹性降低的重要因素。640 层容积 CT 作为一种无创的检查方法, 评价动脉弹性的可行性较好, 有一定的临床价值。

[关键词] X 线计算机; 心电门控技术; 原发性高血压; 动脉弹性; 动脉顺应性**[中图分类号]** R445.3**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1671-8348(2018)20-2695-05

The feasibility and clinical significance of 640-slice volume CT in evaluating the elastic change of ascending aorta in patients with essential hypertension

WANG Xiaocan¹, YANG Fei², ZHU Yuexiang², CUI Shujun^{2△}

(1. Hebei North University, Zhangjiakou, Hebei 075000, China; 2. The First Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou, Hebei 075000, China)

[Abstract] **Objective** To explore the feasibility of using 640-slice volume CT to evaluate the elasticity of ascending aorta in patients with primary hypertension. **Methods** 90 patients with primary hypertension and undergoing coronary artery (CTA) were enrolled in the hypertension group, and were divided into three groups, according to the age (40 - <50 years old, 50 - 60 years old, >60 years old), and 60 normal blood pressure people were selected as the control group at the same time. Reconstructed the data from 0% to 100% of the original data at intervals of 10% of the RR interval. According to the left ventricular systolic-diastolic curve generated by the software, the vascular systolic and diastolic cross-sectional areas of the ascending aorta were measured. Compared the difference in elastic parameters and arterial elasticity between the hypertension group and the control group in different age groups, elastic parameters included arterial distensibility (AD), arterial compliance (AC), and arterial stiffness (β). **Results** AD and AC values in the hypertension group were lower than those in the control group, and β value was significantly higher than that in the control group ($P < 0.01$). Age was significantly related to arterial elasticity, AD and AC decreased while the age increased, β showed a significant upward trend, and the differences in elastic parameters among all the age groups were statistically significant ($P < 0.01$). **Conclusion** With age increasing, arterial elasticity decreases in hypertensive patients, indicating that hypertension is an important factor in the reduction of arterial elasticity. 640-slice volume CT is a non-invasive examination, it is feasible to evaluate arterial elasticity, and has clinical value.

[Key words] X-ray computed; ECG gating; essential hypertension; arterial elasticity; arterial compliance

高血压作为导致心血管事件发生的因素之一, 发病率及病死率极高, 因此及早地预防和治疗高血压显得尤为重要^[1]。随着对高血压生理病理的研究, 高血压病变的实质就是血管的病变结果^[2], 同时血管弹性

的自然老化进程和高血压的进展, 导致血管的硬化, 从而弹性减低影响其功能。对于早期检测血管弹性功能的降低, 可以通过药物或者改变生活习惯来及时逆转动脉弹性的持续降低。国内外已有相关研究, 利

表 1 两组一般资料比较

项目	40~<50 岁 (男/女, n/n)	50~60 岁 (男/女, n/n)	>60 岁 (男/女, n/n)	BMI ($\bar{x} \pm s, \text{kg/m}^2$)	是否吸烟 (是/否, n/n)	是否高血脂 (是/否, n/n)
高血压组	8/14	14/16	17/21	24.1 \pm 3.9	46/44	26/65
血压正常组	12/6	7/9	11/15	23.9 \pm 4.0	29/31	12/48
t/χ^2	0.040	0.036	0.037	2.325	0.111	1.172
P	0.842	0.853	0.847	0.086	0.739	0.279

用 CT 血管造影(CTA)结合心电门控技术来评价血管弹性^[3-4]。通过测量心动周期中主动脉管径变化,认为 CTA 血管成像可以作为主动脉管腔测量的有效方法,有较好的可行性。但是目前很少有关于高血压患者动脉弹性特点的研究,本研究利用 640 层容积 CT 回顾性分析原发性高血压患者升主动脉弹性的变化特点及临床价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2016 年 1 月至 2017 年 4 月拟行冠脉 CTA 检查的受检者的影像资料及相关临床资料,从中筛选 90 例临床确诊为原发性高血压患者,定为高血压组,平均年龄(55.71 \pm 8.8)岁;60 例血压正常者,作为对照组,均按照年龄分为 40~<50 岁、50~60 岁、>60 岁 3 组,所有入选的受检者均仔细询问身高、体质量、吸烟史、是否饮酒、是否高血脂、心率、高血压病程、血压控制情况等一般资料。所有入选的高血压患者均符合中国高血压防治指南 2010 高血压诊断标准,并经临床证实诊断为原发性高血压。排除标准:碘对比剂过敏者、贫血、严重肾脏功能不全、甲状腺疾病患者、心功能不全者及屏气不能配合者。见表 1。本研究患者均签署知情同意书,并经医院伦理委员会批准通过。

1.2 方法

1.2.1 扫描技术 采用日本东芝公司 Aquilion ONE 320 排容积 CT 结合心电门控技术进行扫描,使用双筒高压注射器,经外周静脉注射等渗低浓度对比剂碘克沙醇(320 mg I/mL) 50~70 mL,速率为 5 mL/s,以相同速率注入生理盐水 30 mL,并在检查期间测量患者收缩压及舒张压,采用手动触发扫描,扫描范围为气管分叉处至膈肌水平,扫描体位为足先进、仰卧位,扫描参数:管电压 120 kV,管电流为自动毫安秒,重建层厚 0.5 mm,重建技术为自适应迭代降噪算法(AIDR),层间距 0.25 mm,FOV 32 cm \times 32 cm,矩阵 512 \times 512,机架旋转速度 0.35 s/r。

1.2.2 图像处理与测量 原始数据 0%~100% 每隔 10%RR 间期进行数据重建,一共得到 10 个时相数据,并将所有容积数据传输至 Vitrea FX 图像后处理工作站,根据软件自动生成的左心室收缩-舒张曲线(图 1),选取最佳收缩期、舒张期图像,进行曲面重建,生成与主动脉走行一致的中心曲线,选取主动脉根部

上 2.5 cm 为兴趣层面,测量出该层面主动脉官腔在收缩期和舒张期的面积大小(图 2),为了测量的准确性,测量层面尽量一致,由 2 人对同一层面进行测量,最后取其平均值,来降低测量的误差。

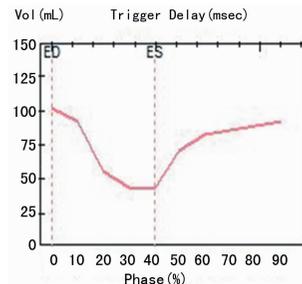


图 1 软件自动生成的左室收缩-舒张曲线

1.2.3 动脉弹性的评价 根据文献^[5-7],采用较常用的 3 个参数进行评价,包括动脉扩张性(artery distensibility, AD)、动脉顺应性(artery compliance, AC)、动脉僵硬度 β ,公式 $AD = (\Delta S/Sd)/PP$, $AC = \Delta S/PP$, $\beta = \ln(Ps/Pd)/(\Delta S/Sd)$ 。其中 ΔS 为管腔截面积最大值与最小值的差值, Sd 为管腔截面积的最大值, Ps, Pd 为外周收缩压与舒张压, PP 为收缩压与舒张压的差值, \ln 为对数。

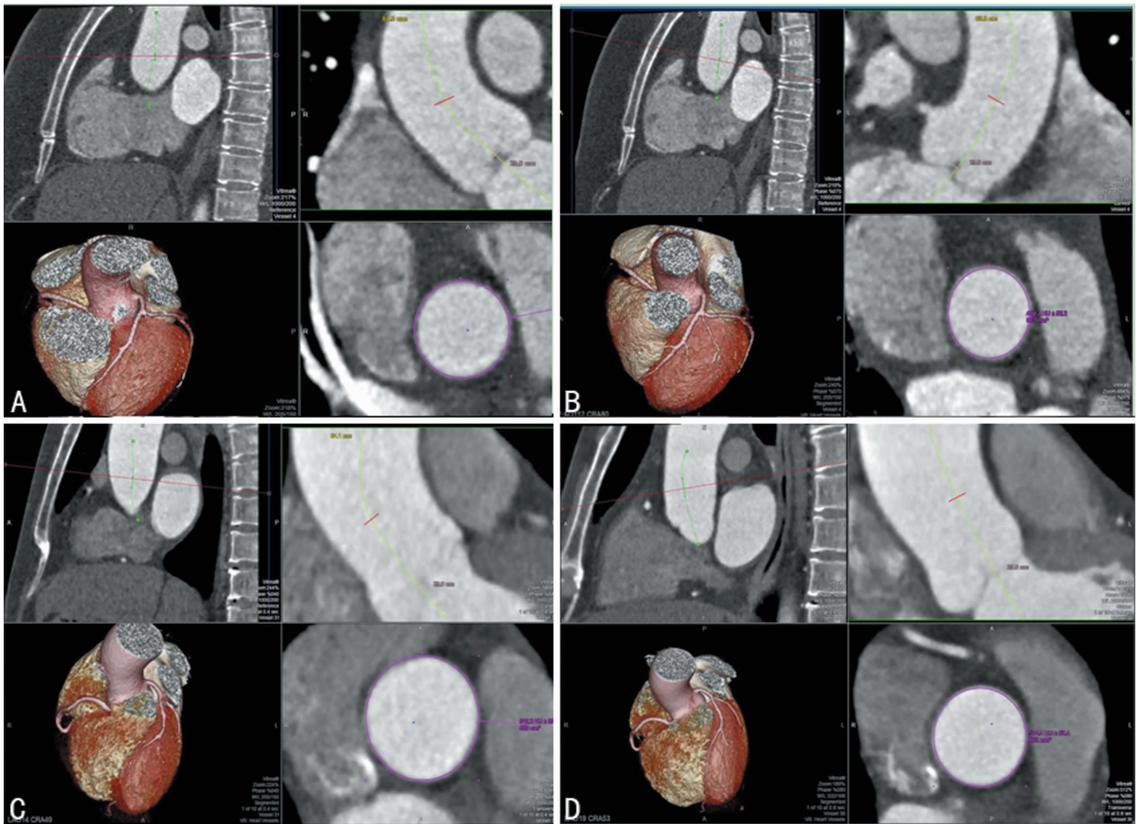
1.3 统计学处理 采用 SPSS17.0 统计软件包进行统计学处理,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,两组间比较采用独立样本 t 检验,多重组间比较采用 One-Way-ANOVA 方差检验,相关性分析采用 Pearson 或 Spearman 相关分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 高血压组升主动脉弹性变化特点 两组所有受检者的不同弹性参数在不同年龄段的分析对比(表 2、3)。高血压组的 AD、AC 明显低于对照组, β 明显高于对照组,且两组间弹性参数 AD、AC、 β 在不同年龄段间均差异有统计学意义($P < 0.05$)。

2.2 动脉弹性和年龄的关系

2.2.1 动脉弹性与年龄的显著性分析 动脉弹性与年龄显著相关,AD、AC 值与年龄呈负相关(高血压组:AD, $r = -0.883$, AC, $r = -0.0872$;血压正常组:AD, $r = -0.886$, AC, $r = -0.892$),随着年龄的升高而逐渐下降, β 值与年龄呈正相关(高血压组: $r = 0.823$;血压正常组: $r = 0.849$),随着年龄的升高而逐渐升高。两组年龄与不同参数间的拟合曲线见图 3,



A: 高血压组一受检者最佳收缩期(30%)图像; B: 高血压组同一受检者最佳舒张期(90%)图像; C: 对照组一受检者最佳收缩期(30%)图像; D: 对照组同一受检者最佳舒张期(80%)图像

图 2 测量方法

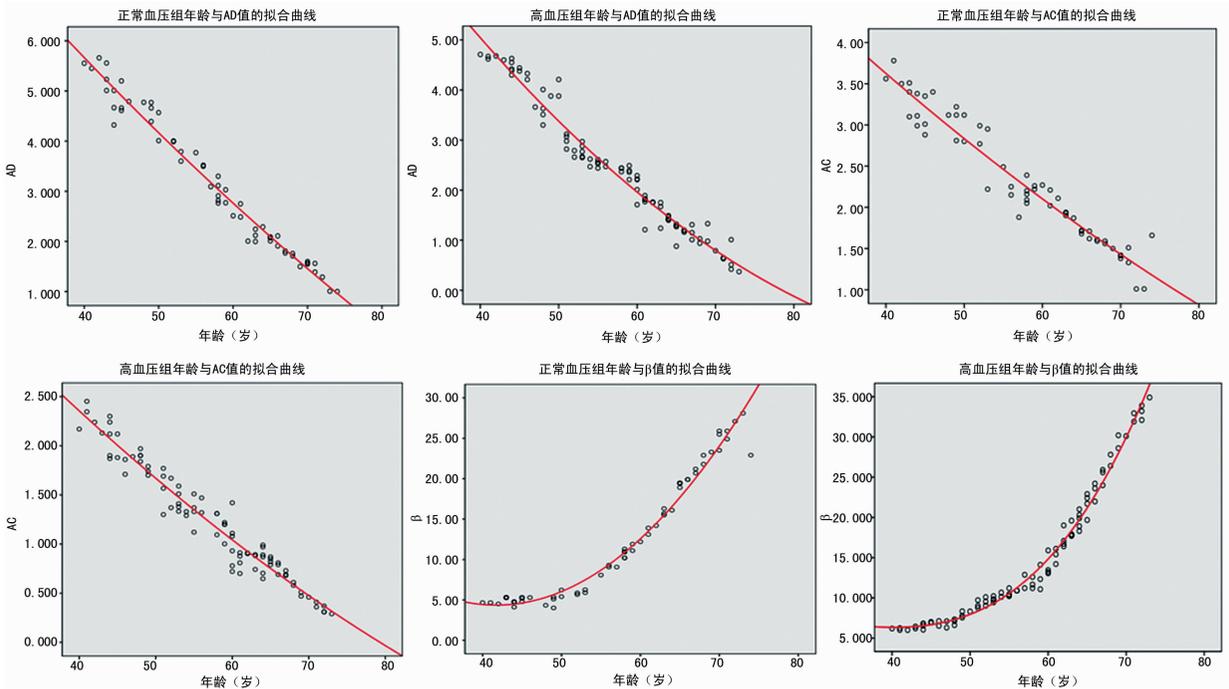


图 3 对照组与高血压组各动脉弹性参数与年龄之间的曲线拟合

AD、AC 值二次拟合最佳, β 值三次拟合最佳。

2.2.2 血压正常组与高血压组在不同年龄段的动脉弹性参数的对比分析 正常血压组中不同年龄段间动脉弹性参数有显著性差异(AD: $F=288.443, P<0.01$; AC: $F=118.108, P<0.01$; $\beta: F=132.691, P<$

0.01 , 高血压组不同年龄段间动脉弹性参数有显著性差异(AD: $F=291.953, P<0.01$; AC: $F=133.546, P<0.01$; $\beta: F=72.248, P<0.01$, 进一步两两比较, 高血压组与对照组不同年龄段间动脉弹性的 S-N-K 检验见表 4, 各年龄组之间均差异有统计学意义($P<0.01$)。

表 2 高血压组与对照组不同年龄段间的 AD、AC、 β 比较($\bar{x} \pm s$)

参数	40~<50 岁		50~60 岁		>60 岁	
	血压正常组 (n=18)	高血压组 (n=22)	血压正常组 (n=16)	高血压组 (n=30)	血压正常组 (n=26)	高血压组 (n=38)
AD($\times 10^3$ mm Hg)	5.03 \pm 0.33	4.36 \pm 0.22	3.36 \pm 0.37	2.59 \pm 0.24	2.09 \pm 0.51	1.26 \pm 0.43
AC(mm ² /mm Hg)	3.38 \pm 0.28	2.03 \pm 0.19	2.49 \pm 0.43	1.49 \pm 0.18	1.74 \pm 0.34	0.79 \pm 0.27
β	4.89 \pm 0.45	6.65 \pm 0.43	8.88 \pm 2.24	10.47 \pm 0.68	19.23 \pm 4.77	23.04 \pm 5.99

表 3 高血压组和对照组不同年龄段间动脉弹性的 t 检验分析

组别	AD		AC		β	
	t	P	t	P	t	P
40~<50 岁	7.295	0.000	17.063	0.000	-12.574	0.000
50~60 岁	10.080	0.000	8.834	0.000	-2.780	0.013
>60 岁	7.055	0.000	12.381	0.000	-2.701	0.009

表 4 高血压组与血压正常组不同年龄段间动脉弹性的 S-N-K 检验

不同年龄段间	正常血压组			高血压组		
	AD	AC	β	AD	AC	β
40~<50 岁与 50~60 岁	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
40~<50 岁与 >60 岁	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
50~60 岁与 >60 岁	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

3 讨论

高血压表现为体循环脉压的异常增高,动脉弹性是动脉血管机械特性的主要评价指标,代表了动脉本身的舒缩功能,正常的动脉弹性有利于维持正常的血压,保持组织充分的血液供应,并协调整个心血管系统的活动,大动脉弹性的降低是高血压发生、发展及并发症发生的促进因素。动脉弹性是指在单位压力作用下血管直径、面积或体积的变化,它由 AD、AC、 β 等特性反映。

随着年龄增加,弹性自然下降,这是一种正常的生理变化过程,多种心血管危险因素比如高血压、高血脂、吸烟等也会加速这一进程的发展,从而导致一系列心血管疾病的发生。其中高血压是心血管事件的独立预测因子^[8],长期血压的升高,会导致血管结构改变与重塑,在血管还未发生器质性改变时即可发生功能的异常,但由于本身的代偿机制,大部分患者表现为亚临床现象,因此早期对动脉弹性的检测和评估,能使临床更早地干预及治疗。随着影像技术的发展,功能成像已然成为国内外的研究热点,各种检测技术对于评估动脉弹性发挥着各自的优势,超声新技术血管回声跟踪技术(ET)是近几年研究的热点^[9-10],但由于超声技术对于深部血管存在局限性,而且受患者自身条件和测量者本身技术影响因素较大,以及设备自身的局限性不能很好地全面显示大血管结构,因此降低了结果的准确性和重复性。文献^[11-12]利用

MRE 技术,首次用猪主动脉模拟人类大血管,研究离体的猪主动脉不同区域主动脉壁弹性的变化,最终证实根据测量主动脉管腔的横截面积的变化,可以很好地去评价动脉弹性并且有较好的可重复性。

本研究是利用 640 层容积 CT 结合心电门控技术,可以完成对整个心动周期的图像进行重建,实现对大动脉的动态观察,同时有较高的空间分辨率和超快速扫描,避免了血管搏动影响也保证了图像的清晰度,这也是评价动脉弹性的基础。有国外研究者 GANTEN 等^[13]利用心电门控 MSCT 对腹主动脉瘤弹性进行初步研究,认为动脉瘤处的血管壁较正常腹主动脉弹性下降,并且瘤体近端的正常血管壁弹性也有所下降,并且在早期弹性就开始下降,因此动脉弹性的定量评价可以预防主动脉瘤的发生和发展,为评价动脉弹性提供了方便可行的方法。本研究中将得到的全心动周期的动态图像,通过强大的后处理功能,可以得到垂直与升主动脉中心任何位置的横截面,测量感兴趣层面在不同 RR 间期的面积变化,计算出评价动脉弹性的相关参数,这种方法目前应用较成熟,且可重复性很好,国外学者 LI 等^[8]运用这种方法评价大样本正常人的胸主动脉弹性,得出年龄是动脉弹性的独立影响因子,进一步证实了 MSCT 评价动脉弹性的可行性。

随着心脏的收缩舒张,主动脉的管腔也会有规律的变化,根据左室收缩-舒张曲线的提示(图 1),最佳收缩期在 30%~45%,左心室的容积达到最小值,最佳舒张期在 70%~90%,左心室的容积达到最大值,在这两个时相主动脉管腔横截面积达到最大值和最小值,从升主动脉窦管结合部上大约 25 mm 处转折为主动脉弓的位置,受到的血流的冲击最大,能够较好地代表弹性变化的能力,因此选取这个位置作为感兴趣层面,可以较好地评价主动脉的收缩性,本研究中,在正常血压组,动脉弹性随着年龄的增长而降低,这与李亮等^[14]对健康人胸主动脉弹性的测量结果一致,从图 2 可以看出,随着年龄的增长,AD、AC 呈现降低趋势,曲线的下降坡度很陡,因此两者的敏感性很高,会随着年龄的升高而很快下滑,对于 β 而言,在 40~<50 岁,变化比较平缓,超过 50 岁后, β 才会明显升高,因此在评价年轻者的血管弹性时 β 不够敏感,对于年轻者而言,年龄是动脉弹性下降的主导因

素,年长者由于身体各方面机能的衰退,会加速血管的硬化,弹性下降, β 的急速升高,有研究表明人体体内内皮细胞氧化亚氮(NO)可以调节大动脉僵硬度,随着年龄的增长,内皮细胞 NO 会减少,逐渐导致内皮功能的异常,导致大动脉的弹性下降,单纯性收缩期高血压是血管自然“衰老”的结果^[15]。

高血压各年龄组的 AD、AC 均明显低于对照组, β 均高于对照组,且均差异有统计学意义($P < 0.05$),高血压患者较血压正常者的主动脉收缩性具有一定的差异,在高血压病理状态下,弹力纤维和胶原蛋白的比例失调,内膜脂类物质沉积,导致血管的纤维性硬化,僵硬度增加,导致了血管弹性的进一步降低,从而高血压患者的弹性功能明显低于血压正常者,有相关的研究指出,主动脉弹性的减退,会导致冠脉血流储备下降,引起冠脉循环障碍,从而引发冠心病等一系列的心血管疾病^[16]。进一步国内学者研究,利用 128 层 CT 冠脉成像评价冠状动脉的狭窄程度与的冠状动脉弹性变化的相关性,不仅证实了两者间的负相关也说明了 MSCT 评价血管弹性的可行性^[17]。

综上所述,640 层容积 CT 评价原发性高血压患者升主动脉弹性特点可行性较好,高血压患者较血压正常者的主动脉弹性明显降低,且主动脉弹性随年龄的增长而降低,不同的评估参数灵敏度也不同。

本研究的局限性与展望:(1)由于年轻人尤其是 40 岁以下的 CTA 病例较难收集,不能全面地评价动脉弹性随年龄升高的变化特点;(2)有研究表明,肥胖者由于心输出量较大,左室负荷也会相应的增加,对血管弹性也会有一定的影响^[18-19],应该进一步分析比较肥胖者与正常者的弹性差异;(3)动脉弹性下降是多重因素的综合结果,应该分析其与不同临床资料的相关性,这也是笔者下一步研究的方向。

参考文献

- [1] GLASSER S P, ARNETT D K, MCVEIGH G E, et al. The importance of arterial compliance in cardiovascular drug therapy[J]. *J Clin Pharmacol*, 1998, 38(3): 202-212.
- [2] 梁文倩. 升主动脉弹性功能的双源 CT 评价初步研究[D]. 广东:南方医科大学, 2013.
- [3] GANTEN M, BOESE J M, LEITERMANN D, et al. Quantification of aortic elasticity: development and experimental validation of a method using computed tomography[J]. *Eur Radiol*, 2005, 15(12): 2506-2512.
- [4] 李宁, 赵鹏, 柳澄. 双源 CT 评估主动脉弹性的初步研究[J]. *中国医学影像技术*, 2011, 27(5): 953-957.
- [5] LIANG W, CHEN D, CHEN W, et al. The ascending aortic elasticity feature in normotensive subjects: evaluation coronary with CT angiography[J]. *Clin Imag*, 2014, 35(5): 686-692.
- [6] 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.

- [7] LI N, BECK T, CHEN J, et al. Assessment of thoracic aortic elasticity: a preliminary study using electrocardiographically gated dual-source CT[J]. *Eur Radiol*, 2011, 21(7): 1564-1572.
- [8] VLACHOPOULOS C, AZNAOURIDIS K, STEFANADIS C, et al. 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.
- [9] NIKI K, SUGAWARA M, CHANG D, et al. A new non-invasive measurement system for intensity: evaluation of carotid wave intensity and reproducibility[J]. *Heart Vessel*, 2002, 17(1): 12-21.
- [10] 马琳, 阚艳敏, 张淑华, 等. 超声血管回声跟踪技术检测高血压患者治疗前后颈总动脉弹性的变化[J]. *中国全科医学*, 2014, 17(21): 2536-2542.
- [11] XU L, CHEN J, YIN M, et al. Assessment of stiffness changes in the ex vivo porcine aortic wall using magnetic resonance elastography[J]. *Magn Reson Imag*, 2012, 30(1): 122-127.
- [12] ZHANG N, CHEN J, YIN M, et al. Quantification of regional aortic stiffness using MR elastography: A phantom and ex-vivo porcine aorta study[J]. *Magn Reson Imaging*, 2016, 34(2): 91-96.
- [13] GANTEN M, KRATTER U, VON TENGG-KOBIGK H, et al. Quantification of aortic distensibility in abdominal aortic aneurysm using ECG-Gated multi-detector computed tomography[J]. *Eur Radiol*, 2008, 18(5): 966-973.
- [14] 李亮, 查云飞, 杨春英, 等. 心电门控技术 64 排 CT 测量正常胸主动脉弹性的初步研究[J]. *临床放射学杂志*, 2011, 30(3): 341-344.
- [15] SCHMITT M, AVOLIO A, QASEM A, et al. Basal NO locally modulates human iliac artery function in vivo[J]. *Hypertension*, 2005, 46(1): 227-231.
- [16] 巢胜吾, 樊济海, 王丽娜, 等. 高血压患者升主动脉弹性与冠脉血流储备的相关性[J]. *心血管康复医学杂志*, 2016, 25(2): 126-129.
- [17] 王晓泉, 李跃华, 张佳胤, 等. 冠状动脉 CT 血管造影评价冠状动脉弹性的临床研究[J]. *疑难病杂志*, 2016, 15(4): 331-334.
- [18] HO M, GOW M, BAUR L A, et al. Effect of fat loss on arterial elasticity in obese adolescents with clinical insulin resistance: RESIST study[J]. *Clin Endocrinol Metab*, 2014, 99(10): 1846-1853.
- [19] HUSSEIN O, ZIDAN J, PLICH M, et al. Arterial elasticity in obese subjects with coronary slow flow phenomenon[J]. *Isr Med Assoc J*, 2013, 15(11): 753-757.