

## ·血管介入 Vascular intervention·

## 主动脉弓形态与胸主动脉瘤形成相关性分析

郝伟丽, 申 静, 张学敬, 李彩英, 高不郎

**【摘要】 目的** 测量胸升主动脉瘤(ATAA)、胸降主动脉瘤(DTAA)患者心脏、主动脉弓形态学参数,探讨胸主动脉瘤形成与主动脉形态学改变的相关性。**方法** 纳入 2016 年 3 月至 2017 年 9 月在石家庄市人民医院及合作医院接受胸主动脉 CTA 检查的 199 例患者,其中 ATAA 组患者 46 例,DTAA 组患者 35 例,无主动脉病变正常对照组患者 118 例。Amira 软件重建 CTA 图像后,分别测量心形角度、心形高度、主动脉弓宽度、高度、角度等形态学参数,比较 ATAA 组、DTAA 组患者与对照组形态学参数的差异。**结果** 单因素分析结果显示,ATAA 组、DTAA 组弓宽和弓高均大于对照组( $P<0.01$ ),ATAA 组弓角小于对照组( $P=0.028$ );logistic 回归分析显示,弓角是 ATAA、DTAA 发生的保护因素( $b<0, P<0.05$ ),弓宽是危险因素( $b>0, P<0.01$ );受试者工作特征曲线(ROC)分析显示,弓宽、弓高对胸主动脉瘤形成有良好预测价值。**结论** 主动脉弓部形态学改变是胸主动脉瘤形成后的重要特征。弓角较大不利于胸主动脉瘤发生,弓宽、弓高可能成为胸主动脉瘤影像学诊断的预测指标。

**【关键词】** 胸主动脉瘤;主动脉弓宽度;主动脉弓高度;主动脉弓角;形态学

中图分类号:R564.2 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2022)-02-0135-04

**Correlation between aortic arch morphology and thoracic aortic aneurysm formation: a clinical study**

HAO Weili, SHEN Jing, ZHANG Xuejing, LI Caiying, GAO Bulang. Department of Medical Research, Shijiazhuang Municipal People's Hospital, Shijiazhuang, Hebei Province 050011, China

Corresponding author: GAO Bulang, E-mail: browngao@163.com

**【Abstract】 Objective** To measure the morphological parameters of the heart and aortic arch in patients with ascending thoracic aortic aneurysm(ATAA) or with descending thoracic aortic aneurysm(DTAA), and to explore the correlation between aortic arch morphology and thoracic aortic aneurysm formation. **Methods** A total of 199 consecutive subjects, who received thoracic aortic CTA examination at the Shijiazhuang Municipal People's Hospital of China between March 2016 and September 2017, were enrolled in this study. Of the 199 patients, 46 had ATAA(ATAA group), 35 had DTAA(DTAA group), and 118 had no aortic aneurysm(control group). Amira software was used to reconstruct CTA images, then, the morphological parameters, including angle of heart, height of heart, arch width, arch height and arch angle, were measured. The results were compared between each other among the three groups. **Results** Univariate analysis showed that both arch width and arch height in ATAA group and in DTAA group were larger than those in the control group( $P<0.01$ ), and the arch angle in ATAA group was smaller than that in the control group( $P=0.028$ ). Logistic regression analysis indicated that the arch angle was a protective factor for both ATAA and DTAA( $b<0, P<0.05$ ), while the arch width was a risk factor( $b>0, P<0.01$ ). Receiver operating characteristic(ROC) curve analysis revealed that both arch width and arch height were of great value in predicting the formation of thoracic aortic aneurysm. **Conclusion** The morphological changes of aortic arch are important features of thoracic aortic aneurysm formation. A larger arch angle is not conducive to the occurrence of thoracic aortic aneurysm, and both arch width and arch height may become the predicting indexes for imaging diagnosis of thoracic aortic aneurysm. (J Intervent Radiol, 2022, 31: 135-138)

**【Key words】** thoracic aortic aneurysm; aortic arch width; aortic arch height; aortic arch angle; morphology

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2022.02.004

基金项目:河北省医学科学研究重点课题计划项目(20190163)

作者单位:050011 石家庄市人民医院科研中心(郝伟丽、张学敬、高不郎);河北省胸科医院放射科(申 静);河北医科大学第二医院放射科(李彩英)

通信作者:高不郎 E-mail: browngao@163.com

主动脉瘤是主动脉病理状态之一,其特征是主动脉管径永久扩张超过正常值 50%<sup>[1]</sup>。胸主动脉瘤大多无明显症状而不易发现,直到压迫邻近组织、破裂出血或在其他疾病检查中偶然发现,但满足诊断标准和首次有效诊断的时间窗可以是数年<sup>[2]</sup>。目前主动脉瘤临床研究重点是识别无症状(未破裂)和有症状动脉瘤,主动脉瘤破裂预防和治疗方案仅限于开放手术或血管腔内修复术<sup>[3]</sup>。胸主动脉具有的复杂解剖结构和特殊位置使该部位血流动力学变得非常复杂<sup>[4-5]</sup>。研究发现血流动力学参数如压力、壁面剪切力等异常,可触发细胞信号级联,导致血管内皮细胞形态异常和功能改变,最终引起动脉瘤等血管疾病,而血流动力学特征与血管几何形状密切相关<sup>[6-9]</sup>,血管形态改变伴随着血流动力学改变。本研究通过分析正常主动脉和胸主动脉瘤患者心脏和主动脉形态学参数心形角度,心形高度,主动脉弓宽度、高度、角度的差异,探讨胸主动脉瘤形成与主动脉形态学改变的相关性。

## 1 材料与方法

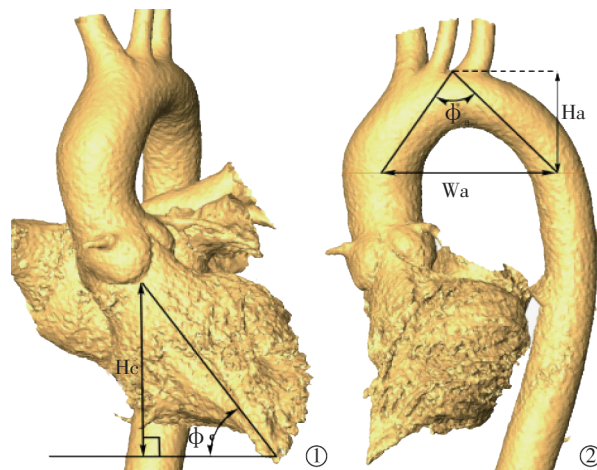
### 1.1 研究对象

收集 2016 年 3 月至 2017 年 9 月在石家庄市人民医院及合作医院接受胸主动脉 CTA 检查患者影像学资料。入组影像标准:图像质量高,心脏大小、形态正常,血管显示良好,边缘清晰,无伪影。排除标准:主动脉瓣疾病、马方综合征患者,图像不清晰。最终筛选出 199 例纳入本研究,其中胸升主动脉瘤(ascending thoracic aortic aneurysms, ATAA)患者 46 例(ATAA 组),胸降主动脉瘤(descending thoracic aortic aneurysms, DTAA)患者 35 例(DTAA 组),无主动脉病变患者 118 例(正常对照组)。ATAA 组中男 26 例,女 20 例,年龄为(58.8±13.2)岁,DTAA 组中男 28 例,女 7 例,年龄为(55.7±13.1)岁,对照组中男 72 例,女 46 例,年龄为 57.5(45.8~66.0)岁。本研究遵循公开、透明原则,获得医院医学伦理委员会批准,所有患者均签署知情同意书。

### 1.2 模型建立与形态学参数测量

采用 5.2.2 版 Amira 软件对所有患者原始 CTA 数据进行表面重建,去掉影响观察的结构部分,形态学参数测量方法如图 1 所示。先采用二维方法测量心形角度( $\phi_c$ ):主动脉口(主动脉基底环)中心和心尖的连线与水平面形成的夹角。再采用改进的三维测量方法获取如下参数(主动脉弓宽、弓高和弓角测量方法参考已有文献报道<sup>[5,10]</sup>),①心形高度

(Hc):主动脉口中心与心尖的垂直高度;②主动脉弓宽度(弓宽, Wa):取肺动脉分叉处横断面分别与升、降主动脉相交的矢、冠状径的中心点之间的距离;③主动脉弓高度(弓高, Ha):取主动脉弓部最高点至肺动脉分叉处横断面的垂直高度;④主动脉弓角度(弓角,  $\phi_a$ ):顶点取主动脉弓部最高点,下端两点各取肺动脉分叉处横断面分别与升、降主动脉相交的矢、冠状径的中心点。



①心形角度  $\phi_c$ , 心形高度 Hc; ②主动脉弓宽 Wa, 弓高 Ha, 弓角  $\phi_a$

图 1 形态学参数测量示意图

### 1.3 统计学分析

采用 SPSS 22.0 版统计学软件分析数据。正态分布的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,组间比较用独立样本  $t$  检验;不符合正态分布的计量资料以  $M(P_{25}, P_{75})$  表示,组间比较用 Mann-Whitney  $U$  检验。计数资料组间比较用卡方检验。logistic 回归分析各测量指标与胸主动脉瘤的关系,受试者工作特征曲线下面积(AUC)判断各测量参数指标对胸主动脉瘤诊断的灵敏度与特异度。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

ATAA 组、DTAA 组和对照组性别组成和年龄差异无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。形态学参数测量结果显示,ATAA 组、DTAA 组心形角度、心形高度与对照组相比,差异无统计学意义(均  $P > 0.05$ );ATAA 组弓宽( $U=57.98, P < 0.01$ )、弓高( $U=60.58, P < 0.01$ )和弓角( $t=2.213, P=0.028$ ),DTAA 组弓宽( $U=59.24, P < 0.01$ )和弓高( $U=60.76, P < 0.01$ )均大于正常对照组,差异有统计学意义。3 组形态学参数测量结果见表 1。

采用 logistic 回归方法筛选与胸主动脉瘤形成

相关因素(自变量有年龄、心形角度、心形高度、弓宽、弓高、弓角),结果显示弓角和弓宽进入模型,ATAA 组弓角是 ATAA 发生的保护因素,弓宽是危险因素;DTAA 组弓角是 DTAA 发生的保护因素,弓宽是危险因素,见表 2。

ROC 曲线评估各测量参数指标对胸主动脉瘤诊断的预测价值,结果显示年龄、心形角度、心形高度、弓角对诊断预测价值不大(AUC 均<0.7)。

ATAA 组弓宽(AUC=0.816,95%CI=0.745~0.887,最佳截断点为 87.40 mm,灵敏度为 71.1%,特异度为 79.8%)、弓高(AUC=0.811,95%CI=0.740~0.882,最佳截断点为 46.75 mm,灵敏度为 82.2%,特异度为 67.5%),DTAA 组弓宽(AUC=0.776,95%CI=0.676~0.876,最佳截断点为 88.82 mm,灵敏度为 66.7%,特异度为 83.3%)、弓高(AUC=0.804,95%CI=0.724~0.885,最佳截断点为 45.88 mm,灵敏度为 87.9%,特异度为

表 1 ATAA 组、DTAA 组 and 对照组形态学参数测量结果比较

组别	例数	心形角度/°	心形高度/mm	弓宽/mm	弓高/mm	弓角/°
ATAA 组	46	37.1±11.0	38.49(32.0,51.7)	92.7(85.9,105.2)*	52.3(48.0,61.4)*	75.8±9.7*
DTAA 组	35	36.0±9.7	38.7±11.1	96.0±16.8*	55.4±9.3*	76.8±11.7
对照组	118	37.8±10.6	38.1±12.4	80.1±10.9	43.4(41.0,49.8)	79.4±9.2

\* 与对照组比较,  $P<0.05$

表 2 胸主动脉瘤发生的 logistic 回归分析结果

组别	系数值	标准误	卡方值	$P$ 值	OR 值	95%CI
ATAA 组						
弓角	-0.225	0.088	6.488	0.011	0.799	0.672~0.950
弓宽	0.215	0.059	13.050	<0.01	1.239	1.103~1.393
DTAA 组						
弓角	-0.326	0.106	9.554	0.002	0.722	0.587~0.888
弓宽	0.277	0.071	15.202	<0.01	1.319	1.148~1.516

62.3%)对胸主动脉瘤形成有良好的预测价值。

### 3 讨论

主动脉瘤破裂可引起内出血,病死率高<sup>[1]</sup>。主动脉血流是高度不均匀的,主要是受左心室血液搏动性流入、主动脉弓弯曲等的影响,血管形态学和血流动力学参数改变在动脉瘤生成、发展过程中有重要作用<sup>[11]</sup>。为了描述解剖、血流动力学和药物作用于主动脉壁压力的相对重要性,Poullis 等<sup>[12]</sup>构建升主动脉和近端弓的稳态一维流动模型,发现主动脉弯曲度比主动脉直径、年龄、血压等因素更重要。Liu 等<sup>[13]</sup>研究分析 114 例中国主动脉夹层患者升主动脉形态,发现其主动脉弓曲度显著大于对照组。Alhafez 等<sup>[10]</sup>研究发现,双尖主动脉瓣患者主动脉弓曲度显著增加,并可作为识别胸主动脉扩张及急性主动脉夹层风险加剧的双尖主动脉瓣患者的生物标记。一项 A 型主动脉夹层撕裂前壁面剪切力数值分析发现,主动脉夹层组壁面剪切力显著大于对照组;认为此差异归因于两组间升主动脉直径、分支血管分叉角及主动脉弓弯曲度差异均有统计学意义<sup>[14]</sup>。这些研究均提示主动脉弯曲程度与主动脉病变有重要联系。因此,本研究对比胸主动脉瘤形成后的主动脉弓部形态与正常对照组形态改变,

结果发现 ATAA、DTAA 组弓宽和弓高均大于对照组,ATAA 组弓角小于对照组,差异均有统计学意义;进一步 logistic 回归分析表明,弓角是胸主动脉瘤发生的保护因素,即弓角越大,越不利于胸主动脉瘤的发生。这可能是由于较大的弓角能减少涡流、稳定血流、降低剪切力,从而减少血流冲击对主动脉管壁的损伤。

对于无症状未破裂动脉瘤,临床治疗重点是预防其破裂<sup>[15-16]</sup>。然而在破裂与治疗相关并发症风险之间进行权衡后,选择开放手术或腔内修复术则取决于患者特定的主动脉形态学特征、年龄和其他可能影响治疗的因素<sup>[16-17]</sup>。血管腔内修复术现代报告标准也强调应用三维重建 CT 图像数据对主动脉形态学进行精确分析的必要性<sup>[18]</sup>。对于主动脉夹层瘤和主动脉瘤患者,向定成等<sup>[19]</sup>研究分析 CT 断层图像、三维重建图像、主动脉造影在腔内隔绝术前评估中的价值,认为在确定适应证和选择覆膜支架时应以三维重建测量结果为准,以便清楚地观察主动脉走行和曲度,准确测量各种横向距离和径向距离。因此,有必要对胸主动脉瘤患者受检 CTA 行三维重建,准确获取个体形态学数据,分析评估动脉瘤发展趋势,最终制定高效、安全的治疗方案。但主动脉弓形态很难定量描述,因为它是倾斜的空



间立体结构<sup>[20]</sup>。以往研究中对主动脉弓形态学参数获取虽经由三维图像,但测量方法多于二维视角下进行,与三维实体真实数值有很大偏差<sup>[10,21-22]</sup>。本研究经多次反复试验,在重建的三维图像中采用改进的三维测量方法,各测量标准点均落在三维实体上,由此获得更为客观、准确的形态学数据,在此基础上统计分析结果也更为可靠;ROC 曲线分析结果显示弓宽、弓高的 AUC 较大,说明弓宽和弓高对胸主动脉瘤发生均有良好的预测价值,可能是潜在的胸主动脉瘤发生影像学诊断提示标志。

主动脉瘤发生与主动脉慢性扩张有关<sup>[2]</sup>,主动脉随压力增大而扩张,可作为左心室高压血流的缓冲室。这种持续的扩张和收缩,与左心室流出压力有关<sup>[5]</sup>。但本研究中无论是单因素还是多因素分析,均未发现心形角度、心形高度在胸主动脉瘤组与对照组间差异有统计学意义,部分原因可能与普通 CTA 检查图像难以判断心动周期有关,此外作为回顾性研究,未对入组患者进行临床症状分析,这也是下一步研究要丰富的内容。

#### [参 考 文 献]

- [1] Salameh MJ, Black JH 3rd, Ratchford EV. Thoracic aortic aneurysm[J]. Vasc Med, 2018, 23: 573-578.
- [2] Yin K, Li H. Aortic aneurysm is not a rapidly expanding balloon [J]. Am Coll Cardiol, 2019, 73: 382.
- [3] Swerdlow NJ, Wu WW, Schermerhorn ML. Open and endovascular management of aortic aneurysms[J]. Circ Res, 2019, 124: 647-661.
- [4] Allen BD, Barker AJ, Kansal P, et al. Impact of aneurysm repair on thoracic aorta hemodynamics[J]. Circulation, 2013, 128: e341-e343.
- [5] Vasava P, Jalali P, Dabagh M. Computational study of pulsatile blood flow in aortic arch: effect of blood pressure[J]. IFMBE Proceedings, 2009, 25: 1198-1201.
- [6] Guzzardi DG, Barker AJ, van Ooij P, et al. Valve-related hemodynamics mediate human bicuspid aortopathy: insights from wall shear stress mapping[J]. J Am Coll Cardiol, 2015, 66: 892-900.
- [7] Metaxa E, Tremmel M, Natarajan SK, et al. Characterization of critical hemodynamics contributing to aneurysmal remodeling at the basilar terminus in a rabbit model[J]. Stroke, 2010, 41: 1774-1782.
- [8] Youssefi P, Sharma R, Figueroa CA, et al. Functional assessment of thoracic aortic aneurysms: the future of risk prediction?[J]. Br Med Bull, 2017, 121: 61-71.
- [9] Gao B, Baharoglu MI, Malek AM. Angular remodeling in single stent-assisted coiling displaces and attenuates the flow impingement zone at the neck of intracranial bifurcation aneurysms[J]. Neurosurgery, 2013, 72: 739-748.
- [10] Alhafez BA, Truong VTT, Ocasionez D, et al. Aortic arch tortuosity, a novel biomarker for thoracic aortic disease, is increased in adults with bicuspid aortic valve[J]. Int J Cardiol, 2019, 284: 84-89.
- [11] Lauric A, Safain MG, Hippelheuser J, et al. High curvature of the internal carotid artery is associated with the presence of intracranial aneurysms[J]. J Neurointerv Surg, 2014, 6: 733-739.
- [12] Poullis MP, Warwick R, Oo A, et al. Ascending aortic curvature as an independent risk factor for type A dissection, and ascending aortic aneurysm formation: a mathematical model[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2008, 33: 995-1001.
- [13] Liu L, Wang W, Lu QS, et al. Morphology of the ascending aorta: a study on 114 Chinese patients[J]. J Intervent Med, 2018, 1: 22-27.
- [14] Chi Q, He Y, Luan Y, et al. Numerical analysis of wall shear stress in ascending aorta before tearing in type A aortic dissection[J]. Comput Biol Med, 2017, 89: 236-247.
- [15] Sugiyama H, Tohma R, Misato T, et al. Right heart failure caused by direct pressure of distal arch aneurysm[J]. Gen Thorac Cardiovasc Surg, 2019, 67: 263-265.
- [16] Investigators IT. The effect of aortic morphology on peri-operative mortality of ruptured abdominal aortic aneurysm[J]. Eur Heart J, 2015, 36: 1328-1334.
- [17] Raut SS, Chandra S, Shum J, et al. Biological, geometric and biomechanical factors influencing abdominal aortic aneurysm rupture risk: a comprehensive review[J]. Recent Pat Med Imag, 2013, 3: 44-59.
- [18] Karthikesalingam A, Holt PJ, Vidal-Diez A, et al. Predicting aortic complications after endovascular aneurysm repair[J]. Br J Surg, 2013, 100: 1302-1311.
- [19] 向定成, 曹惠霞, 段克修, 等. CT 断层图像和三维重建在主动脉腔内隔绝术术前评估中的价值[J]. 介入放射学杂志, 2006, 15: 153-156.
- [20] Chiu P, Lee HP, Venkatesh SK, et al. Anatomical characteristics of the thoracic aortic arch in an Asian population [J]. Asian Cardiovasc Thorac Ann, 2013, 21: 151-159.
- [21] Hasegawa T, Oshima Y, Maruo A, et al. Aortic arch geometry after the Norwood procedure: the value of arch angle augmentation[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2015, 150: 358-366.
- [22] Frydrychowicz A, Berger A, Munoz Del Rio A, et al. Interdependencies of aortic arch secondary flow patterns, geometry, and age analysed by 4-dimensional phase contrast magnetic resonance imaging at 3 Tesla[J]. Eur Radiol, 2012, 22: 1122-1130.

(收稿日期: 2020-11-17)

(本文编辑: 边 倩)