

临床研究

重度主动脉瓣狭窄患者瓣膜钙化程度对二尖瓣环形态的影响

孟庆龙, 段福建, 万琳媛, 陈远, 王浩

摘要

目的: 探讨重度主动脉瓣狭窄患者瓣膜钙化程度对二尖瓣环形态的影响。

方法: 纳入 2018 年 8 月至 2020 年 12 月期间我院因重度主动脉瓣狭窄拟行主动脉瓣置换术的患者 50 例(狭窄组), 同时选取 50 例瓣膜正常者作为对照(对照组), 均进行经食道三维超声心动图检查并获得二尖瓣环形态指标, 比较狭窄组与对照组的二尖瓣环形态参数差异。狭窄组患者均进行 CT 扫描并获得主动脉瓣钙化积分, 分析钙化积分与二尖瓣环形态指标间的相关性。

结果: 狭窄组患者男性 35 例(70.0%), 平均年龄(61.44 ± 11.98)岁; 对照组男性 32 例(64.0%), 平均年龄(58.26 ± 6.43)岁, 两组临床基线资料年龄、男性比例、身高、体重、血压和心率之间差异均无统计学意义($P > 0.05$)。与对照组相比, 狭窄组患者的二尖瓣环前后径、椭圆率、面积、周长、高度及非平面夹角均增大($P < 0.05$)。狭窄组患者的平均主动脉瓣钙化积分为 2 365 (1 806, 4 440) AU, 通过相关性分析发现, 狭窄组的主动脉瓣钙化积分与主动脉瓣峰值流速($r=0.673$)、峰值压差($r=0.677$)、平均压差($r=0.649$)均呈正相关, 与主动脉瓣有效瓣口面积($r=-0.690$)呈负相关($P < 0.05$)。而主动脉瓣钙化积分与二尖瓣环的前后径($r=0.531$)、面积($r=0.535$)、周长($r=0.537$)及高度($r=0.442$)均呈正相关($P < 0.05$)。

结论: 重度主动脉瓣狭窄患者存在二尖瓣环形态的改变, 其主动脉瓣钙化程度越严重, 二尖瓣环的形态变化则越明显。

关键词 主动脉瓣膜钙化; 重度主动脉瓣狭窄; 二尖瓣环形态; 经食道三维超声心动图

The Association Between the Extent of Aortic Valvular Calcification and Mitral Annular Geometry in Patients With Severe Aortic Stenosis

MENG Qinglong, DUAN Fujian, WAN Linyuan, CHEN Yuan, WANG Hao.

Ultrasound Imaging Center, National Center for Cardiovascular Diseases and Fuwai Hospital, CAMS and PUMC, Beijing (100037), China

Co-corresponding Authors: CHEN Yuan, Email: loofancy@163.com; WANG Hao, Email: hal6112@163.com

Abstract

Objectives: To observe the association between the extent of aortic valvular calcification and mitral annular geometry in patients with severe aortic stenosis (AS).

Methods: Fifty patients with calcific severe AS were enrolled in this study. The geometry parameters of the mitral annulus were obtained by three-dimensional transesophageal echocardiography. At the same time, fifty normal subjects were selected as the control group. The differences in mitral annular parameters were compared between the two groups. All patients in AS group underwent CT scan and aortic valve calcium scores was obtained. The relationship between mitral annular geometry parameters and calcium score was explored.

Results: The mean age of patients with severe aortic stenosis was (61.44±11.98) years old (70.0% men) and the mean age of controls was (58.26±6.43) years old (64.0% men). There was no significant difference in baseline characteristics, including age, sex, height, weight, blood pressure and heart rate, between the two groups (all $P > 0.05$). Compared to control group, the

基金项目: 首都临床特色应用研究与成果推广(Z16110000516097)

作者单位: 100037 北京市, 中国医学科学院 北京协和医学院 国家心血管病中心 阜外医院 超声影像中心(孟庆龙、万琳媛、王浩), 麻醉中心(段福建), 放射影像科(陈远)

通信作者: 陈远 Email: loofancy@163.com; 王浩 Email: hal6112@163.com

中图分类号: R54 文献标识码: A 文章编号: 1000-3614 (2022) 11-1116-07 DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2022.11.007

anteroposterior diameter, sphericity index, area, circumference, height, and the nonplanarity angle of mitral annulus were significantly larger in AS group (all $P<0.05$). The mean aortic valve calcium score of patients with severe aortic stenosis was 2 365 (1 806, 4 440) AU. There was a positive correlation between aortic valve calcium score and the aortic valve peak velocity ($r=0.673$), the peak transvalvular pressure ($r=0.677$), and the mean transvalvular pressure ($r=0.649$), whereas there was a negative correlation between aortic valve calcium score and the effective aortic valve orifice area ($r=-0.690$, all $P<0.05$). There was a positive correlation between aortic valve calcium score and the anteroposterior diameter ($r=0.531$), area ($r=0.535$), circumference ($r=0.537$), and height ($r=0.442$) of mitral valve (all $P<0.05$).

Conclusions: Mitral annular geometry changes were observed in calcific severe AS patients. The degree of aortic valve calcification is positively correlated with the changes in mitral annular geometry in these patients.

Key words aortic valvular calcification; severe aortic stenosis; mitral annular geometry; three-dimensional transesophageal echocardiography

(Chinese Circulation Journal, 2022, 37: 1116.)

主动脉瓣狭窄是主要的心脏瓣膜病之一, 研究报道约有 67% 的重度主动脉瓣狭窄会伴有不同程度的二尖瓣反流^[1], 但是这些患者的二尖瓣叶却未见明显异常, 因此这类反流被看作是功能性反流的一种。目前的研究已证实, 这种功能性二尖瓣反流的发生多是由二尖瓣环的形态及功能改变引起的^[2-3]。瓣膜钙化作为重度主动脉瓣狭窄发病的主要始动因素, 钙化程度的不同不仅会改变狭窄程度继而引起心内血流动力学的差异, 同时也会对邻近的二尖瓣环造成一系列机械和压力效应, 从而影响二尖瓣环的形态及功能^[4]。本研究即旨在探索重度主动脉瓣狭窄时二尖瓣环的形态改变, 解释功能性二尖瓣反流出现的原因; 同时探索主动脉瓣钙化程度对二尖瓣环形态改变所带来的具体影响, 从而指导该类患者的临床决策。

1 资料与方法

1.1 研究对象与方法

回顾性收集 2018 年 8 月至 2020 年 12 月在我院因重度主动脉瓣狭窄拟行主动脉瓣置换术的患者 50 例(狭窄组)。纳入标准:(1)年龄 > 18 岁;(2)窦性心律;(3)主动脉瓣呈三叶式;(4)术前经胸超声心动图资料完整, 根据目前指南判断为重度主动脉瓣狭窄^[5];(5)术前接受经食道超声心动图检查和冠状动脉 CT 血管成像检查, 两项检查间隔时间 <2 周。排除标准:(1)伴有中度及以上主动脉瓣反流;(2)存在先天性心脏病如房间隔缺损、室间隔缺损及主动脉缩窄等;(3)存在二尖瓣原发疾病如风湿性二尖瓣狭窄或二尖瓣脱垂等;(4)有其他明确病因所导致的二尖瓣反流如缺血性心脏病等;(5)既往进行二尖瓣

相关手术者;(6)因 CT 图像格式原因无法重建获得主动脉瓣钙化积分。另从按需排查卵圆孔未闭而进行经食道超声心动图检查的门诊患者中选择与狭窄组患者基线资料相匹配的 50 例患者为对照组。纳入标准:(1)年龄 > 18 岁;(2)窦性心律;(3)经胸超声心动图检查心脏结构及功能正常, 各瓣膜未见明显狭窄和反流, 左心室射血分数 > 50%;(4)无经食道超声心动图检查禁忌, 能够配合检查并获得完整图像;(5)检查前已签署知情同意书。排除标准:(1)存在其他已知的心血管疾病或全身性疾病;(2)既往有心脏手术史;(3)经食道超声心动图图像质量较差无法进行后处理分析。

狭窄组患者的经胸超声心动图相关测量参数包括: 主动脉瓣峰值流速及峰值压差、主动脉瓣平均压差、连续方程法所得主动脉瓣瓣口面积、左心室舒张末期内径、室间隔厚度、左心室后壁厚度、左心房前后径以及双平面法所得左心室射血分数。根据目前指南要求对二尖瓣反流程度进行多普勒定性及半定量评估, 将其分为轻度、中度及重度三个级别^[5]。二尖瓣环形态主要使用经食道三维超声心动图图像进行分析。图像采集使用德国 Siemens SC2000 彩色多普勒超声诊断仪, Z6Ms 经食道三维超声探头, 同步连接心电图, 于食管中段 120°~130° 处左心室长轴切面, 在二维超声清晰显示二尖瓣结构的基础上点击 4D 键获取实时三维全容积图像, 以图像帧频 20 帧/s 左右共采集 3 个心动周期。eSie Valves 软件进行后处理分析, 通过半自动的方法获得二尖瓣环形态指标, 主要包括前后径、左右径、椭圆率(前后径/左右径)、面积、周长、高度及非平面夹角(图 1), 选取收缩中期值为最终测值。图像的分析由两位超声医师各自进行, 并对两者结果进行平均。

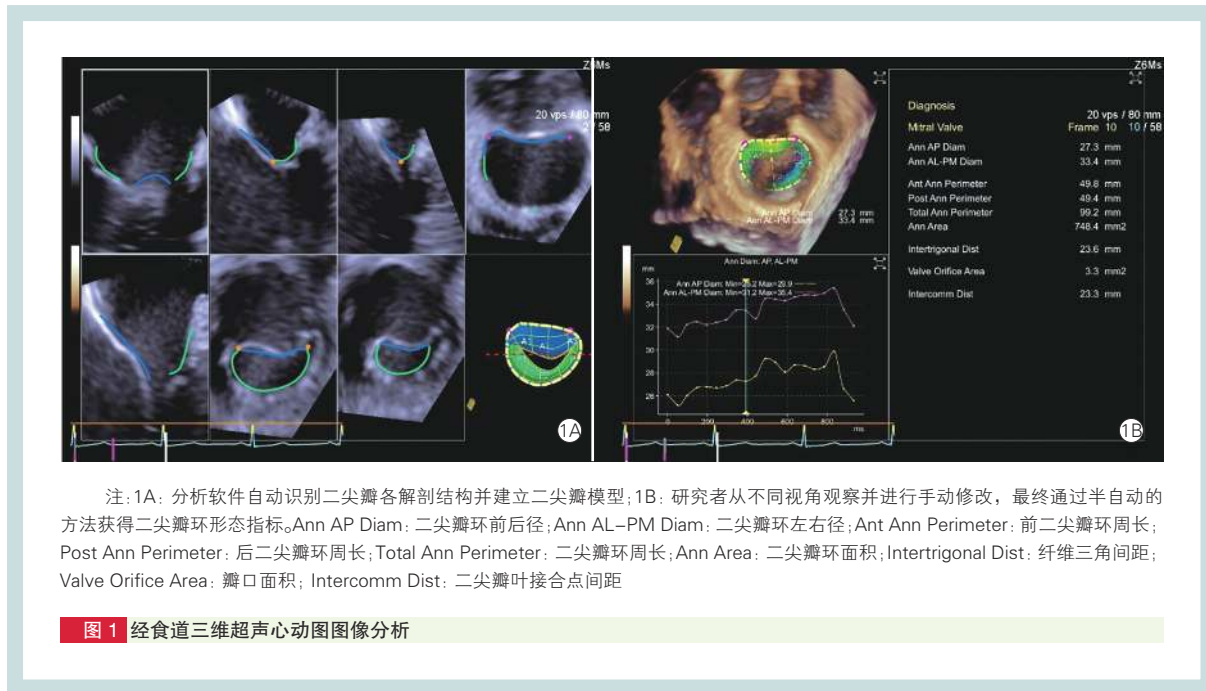


图 1 经食道三维超声心动图图像分析

狭窄组患者均接受 CT 血管成像检查, 检查设备使用德国 Siemens 双源 Flash CT 机。扫描之前所有患者均测量心率, 心率 >90 次/min 且无应用 β 受体阻滞剂禁忌的患者在扫描前 1 h 予 50~100 mg 美托洛尔口服。图像采集时患者取仰卧位, 扫描方向为头-足方向。连接心电门控装置, 采用前瞻性心电门控扫描, 扫描范围为气管隆突至心脏膈面。扫描参数为层厚 0.6 mm, 机架旋转时间 0.28 s, 管电压 120 kV, 管电流 80 mA。钙化扫描于 75% RR 间期获取图像, 在平扫上至少连续 4 个相邻像素上 CT 值 >130 HU 诊断为钙化。主动脉瓣钙化定义为冠状动脉开口以下至瓣环平面的钙化^[6], 应用 Agatston 法对主动脉瓣钙化进行定量评估, 钙化积分为钙化面积与钙化系数相乘。钙化系数定义: 1 为 131~199 HU、2 为 200~299 HU、3 为 300~399 HU、4 为 ≥ 400 HU。CT 图像分析由一位经验丰富的放射科医师独立完成, 并对临床资料以及超声心动图结果未知。本研究为回顾性研究并获得本单位伦理委员会批准(伦理编号 NO.2019-1201), 所有的受试者均在各项检查前签署了知情同意。

1.2 统计学方法

应用 SPSS 24.0 统计分析软件进行数据分析。使用 Kolmogorov-Smirnov 检验判断连续变量是否符合正态分布, 正态分布的计量资料用均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 两组间比较采用独立样本 *t* 检验; 非正态

分布的计量资料用中位数 (P_{25} , P_{75}) 表示。计数资料用例 (%) 表示, 两组间比较采用卡方检验或 Fisher 精确检验。主动脉瓣钙化积分与二尖瓣环形态参数间的相关性分析采用 Spearman 相关分析法, $0.8 \leq |r| \leq 1$ 为极强相关, $0.6 \leq |r| < 0.8$ 为强相关, $0.4 \leq |r| < 0.6$ 为中等相关, $0.2 \leq |r| < 0.4$ 为弱相关, $|r| < 0.2$ 为极弱相关或无相关。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者基线资料及超声心动图参数比较(表 1)

狭窄组患者男性 35 例 (70.0%), 平均年龄 (61.44 ± 11.98) 岁; 对照组男性 32 例 (64.0%), 平均年龄 (58.26 ± 6.43) 岁。两组临床基线资料年龄、男性比例、身高、体重、血压和心率之间差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05)。在经胸二维超声心动图指标方面, 狭窄组患者的室间隔厚度 [(12.08 ± 2.85) mm vs. (8.75 ± 1.21) mm]、主动脉瓣峰值流速 [(4.52 ± 0.54) m/s vs. (1.13 ± 0.18) m/s] 和峰值压差 [(82.58 ± 20.62) mmHg vs. (5.19 ± 1.78) mmHg, ($1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$)] 均大于对照组, 差异均有统计学意义 (P 均 < 0.05); 左心房前后径 [(37.25 ± 6.19) mm vs. (34.86 ± 3.14) mm]、左心室舒张末期内径 [(47.52 ± 4.78) mm vs. (46.70 ± 3.60) mm] 均大于对照组、左心室射血分数 [(61.82 ± 6.34) %

vs. (64.30 ± 2.79) %] 低于对照组, 但两组间差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05)。在二尖瓣环形态指标方面, 狭窄组的二尖瓣环前后径 [(27.06 ± 2.63) mm vs. (25.93 ± 1.77) mm]、椭圆率 [(0.85 ± 0.04) vs. (0.83 ± 0.05)]、面积 [(726.88 ± 131.39) mm² vs. (673.18 ± 79.07) mm²]、周长 [(98.06 ± 9.00)

mm vs. (94.78 ± 5.74) mm]、高度 [(5.21 ± 1.28) mm vs. (4.72 ± 0.81) mm] 以及非平面夹角 [(149.02 ± 11.13)° vs. (144.81 ± 8.00)°] 均大于对照组, 差异均有统计学意义 (P 均 < 0.05); 二尖瓣环的左右径 [(31.75 ± 2.87) mm vs. (30.97 ± 1.98) mm] 有所增大, 但差异无统计学意义 (P > 0.05)。

表 1 两组患者临床基线资料及超声心动图参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

项目	对照组 (n=50)	狭窄组 (n=50)	P 值
临床基线指标			
年龄 (岁)	58.26 ± 6.43	61.44 ± 11.98	0.100
男性 [例 (%)]	32 (64.0)	35 (70.0)	0.523
身高 (cm)	169.16 ± 7.97	167.32 ± 8.05	0.253
体重 (kg)	71.38 ± 12.51	69.82 ± 10.67	0.504
收缩压 (mmHg)	126.80 ± 14.78	128.14 ± 21.74	0.719
舒张压 (mmHg)	78.90 ± 10.73	75.20 ± 11.43	0.098
心率 (次/min)	75.46 ± 8.06	82.74 ± 9.56	0.066
经胸二维超声心动图指标			
左心室舒张期内径 (mm)	46.70 ± 3.60	47.52 ± 4.78	0.180
室间隔厚度 (mm)	8.75 ± 1.21	12.08 ± 2.85	<0.001
左心室射血分数 (%)	64.30 ± 2.79	61.82 ± 6.34	0.097
左心房前后径 (mm)	34.86 ± 3.14	37.25 ± 6.19	0.069
主动脉瓣瓣口面积 (cm ²)	-	0.74 ± 0.14	-
主动脉瓣峰值流速 (m/s)	1.13 ± 0.18	4.52 ± 0.54	<0.001
主动脉瓣峰值压差 (mmHg)	5.19 ± 1.78	82.58 ± 20.62	<0.001
主动脉瓣平均压差 (mmHg)*	-	53.00 (42.75, 64.25)	-
二尖瓣环形态指标			
前后径 (mm)	25.93 ± 1.77	27.06 ± 2.63	0.013
左右径 (mm)	30.97 ± 1.98	31.75 ± 2.87	0.120
椭圆率	0.83 ± 0.05	0.85 ± 0.04	0.015
面积 (mm ²)	673.18 ± 79.07	726.88 ± 131.39	0.015
周长 (mm)	94.78 ± 5.74	98.06 ± 9.00	0.032
高度 (mm)	4.72 ± 0.81	5.21 ± 1.28	0.027
非平面夹角 (°)	144.81 ± 8.00	149.02 ± 11.13	0.034

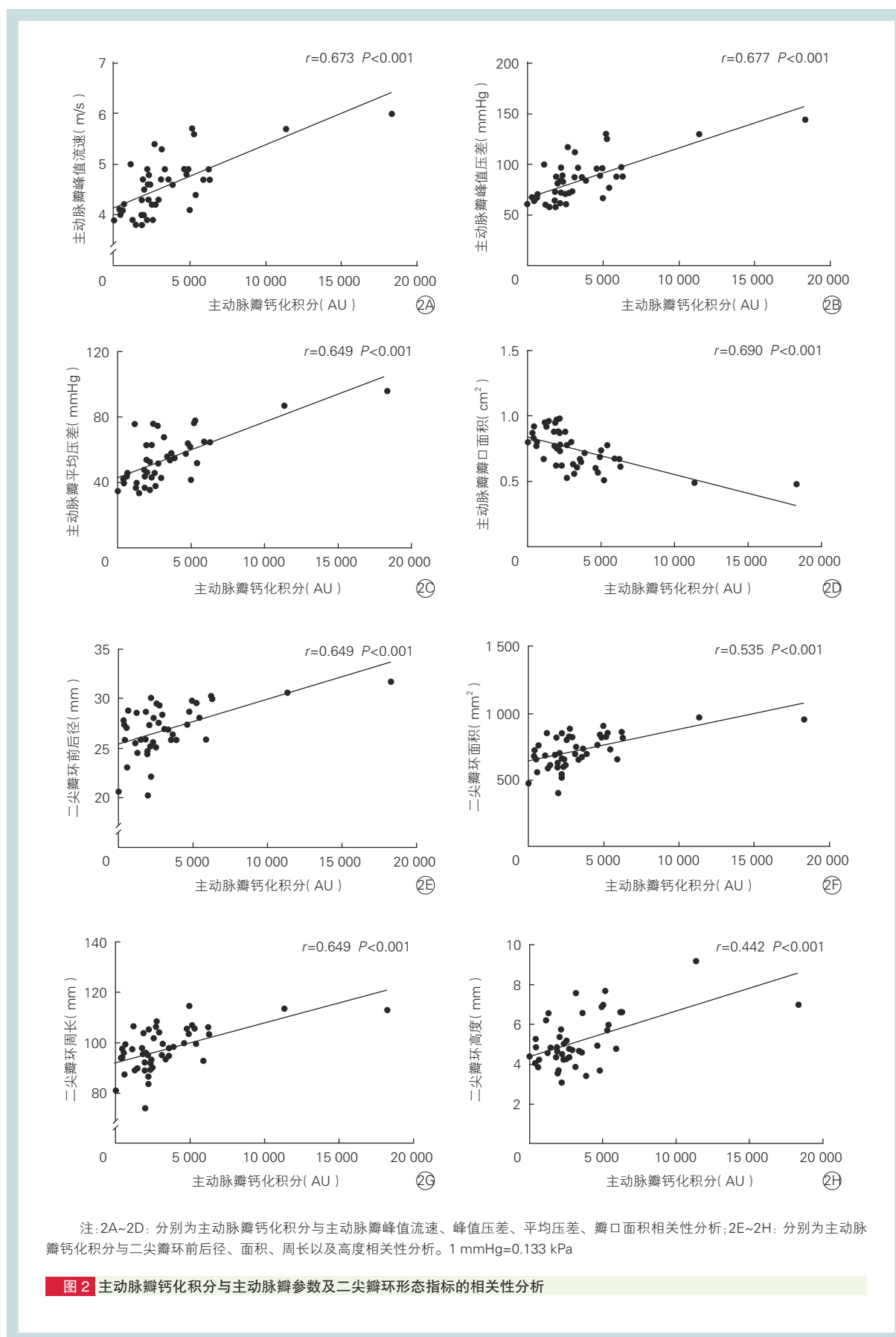
注: -: 无。1 mmHg=0.133 kPa。*: 用中位数 (P₂₅, P₇₅) 表示

2.2 狭窄组患者手术及二尖瓣反流情况

狭窄组出现二尖瓣反流患者共有 30 例 (60.0%), 其中轻度 25 例, 中度 5 例, 均通过术前超声心动图评估以及术中探查确认不存在二尖瓣的器质性病变, 诊断为功能性二尖瓣反流。除此之外共有 27 例 (54.0%) 伴有轻度主动脉瓣反流。以上患者均顺利切除钙化的主动脉瓣并完成主动脉瓣置换术, 其中生物瓣 23 例、机械瓣 27 例, 8 例同期进行了升主动脉的置换或成形术, 术后超声心动图显示人工瓣膜功能良好, 未见明显瓣周漏或其他严重并发症, 无院内死亡的发生。术后出院前对患者进行经胸超声心动图检查评估二尖瓣反流, 整体反流情况出现一定程度的下降, 8 例 (16.0%) 仍存在二尖瓣反流, 其中轻度 6 例, 中度 2 例。

2.3 主动脉瓣钙化积分与主动脉瓣参数及二尖瓣环形态指标间的相关性分析 (图 2)

狭窄组平均主动脉瓣钙化积分为 2 365 (1 806, 4 440) AU, 其中男性 >2 000 AU 者 24 例 (68.6%), 女性 >1 200 AU 者 12 例 (80.0%)。相关性分析发现, 主动脉瓣钙化积分与主动脉瓣峰值流速 ($r=0.673$)、峰值压差 ($r=0.677$)、平均压差 ($r=0.649$) 之间呈正相关, 而与主动脉瓣有效瓣口面积 ($r=-0.690$) 之间呈负相关, P 均 < 0.05。主动脉瓣钙化积分与二尖瓣环前后径 ($r=0.531$)、面积 ($r=0.535$)、周长 ($r=0.537$) 及高度 ($r=0.442$) 之间均呈正相关, P 均 < 0.05; 与二尖瓣环的左右径 ($r=0.182, P=0.23$)、椭圆率 ($r=0.115, P=0.44$) 以及非平面夹角 ($r=-0.078, P=0.59$) 则均未表现出相关性。



3 讨论

二尖瓣功能的正常不仅仅依靠瓣叶也依靠瓣环,二尖瓣环特有的马鞍形形态以及结构比例可以减少舒张期血流通过瓣口时对瓣叶的冲击,而二尖瓣环在心动周期内的环形运动则有助于瓣叶实现有效的对合,因此瓣环对于瓣膜整体功能的正常至关重要,多数研究也印证了瓣环大小、形态及动态功能的变化与二尖瓣功能异常之间的因果关系,特别是对于功能性二尖瓣反流的发生,其发挥着更加主导的作用^[2]。重度主动脉瓣狭窄多伴有慢性后负荷超载,继而导致左心室内收缩期压力的改变及左心室重构,本研究也发现这类患者多数存在不同程度的功能性二尖瓣反流,其发生率为 60.0%,与既往的研究结果相近^[1,7]。同时本研究也再次明确,重度主动脉瓣狭窄患者确实存在二尖瓣环的形态异常,瓣环整体形态变大、平面性减弱,瓣环有变圆的趋势,但其马鞍形的形态仍然得以维持,这些形态改变可能是这类患者出现功能性二尖瓣反流的原因之一。

瓣膜钙化作为重度主动脉瓣狭窄最主要的始动因素,钙化程度的不同会导致狭窄程度随之改变,进而引起心内血流动力学以及一系列结构的差异^[4]。本研究首先通过相关性探索发现,重度主动脉瓣狭窄患者的瓣膜钙化情况与狭窄程度之间具有较好的相关性,这与既往研究所得结论一致^[8-9]。同时本研究还发现,主动脉瓣膜钙化程度与二尖瓣环形态参数间也具有一定的关联,主动脉瓣钙化程度越严重,二尖瓣环的形态变化越明显。本研究从几个方面对这一结果进行解释。首先,由于瓣膜钙化加重导致狭窄程度增高,引起收缩期左心室压力增加,二尖瓣闭合时心室面所承受的压力也随之增大,二尖瓣环所受张力亦增大,继而引起二尖瓣环的形态改变愈加明显。既往有研究曾指出,对于主动脉瓣狭窄患者,其进行主动脉瓣手术后,由于心内血流动力学的改善二尖瓣环会出现一定程度的回缩,功能性反流亦有所减少,这也间接证实了两者的相互关系^[10-11]。其次,由于主动脉瓣环与二尖瓣环之间依靠纤维组织相互联系在一起,严重的钙化导致主动脉瓣环自身弹性明显下降,左心室射血时主动脉瓣环不能及时扩张,二尖瓣环随之向外迁移^[12-13];同时钙化通过纤维组织也对临近的二尖瓣前环造成一定程度的牵拉,使得二尖瓣环逐渐抬高,继而再次出现一定程度的扩展和变形。

瓣膜钙化与心脏瓣膜病的进展具有较大关系,明显的主动脉瓣钙化已被证实是不良临床结果的有效预测因子,包括远期死亡的风险和手术干预率等;同时钙化程度的测量独立于血流动力学的改变,具有更好的客观性和可参考性^[14]。目前的指南强调,瓣膜钙化是主动脉瓣狭窄管理中需要重点考虑的问题^[15],但具体的关注形式和临床指导意义仍没有明确的建议和要求。本研究结果发现,存在重度主动脉瓣狭窄时,主动脉瓣膜钙化越严重,其引起的二尖瓣环形态越明显,这就要求术者在术中要尽量多的去除主动脉瓣及其临近纤维组织的钙化病变,充分解除瓣膜狭窄,改善心内血流动力学状态并有效恢复二尖瓣环的形态。同时本研究也提示,对于未进行手术治疗的主动脉瓣狭窄患者,是否可以通过主动脉瓣钙化程度帮助预测远期的二尖瓣功能异常,减少不良事件的发生,那么对于这类患者的临床决策可能会具有更大的意义。但是本研究并未对这些患者进行远期预后的评价和探讨,因此仍需要大规模的前瞻性对照研究,重点关注二尖瓣反流的发展情况以及不同处理方式所产生结果的差异,从而了解瓣膜钙化的确切影响,寻求合适的参考依据以期指导这类患者的二尖瓣相关诊疗策略。

本研究具有一定局限性,首先是样本量偏小且来自单中心数据,仅仅对重度主动脉瓣狭窄患者进行分析,并未纳入轻度与中度的主动脉瓣狭窄患者,因此尚不可扩展到更大的人群,未来还需要更加细致的对比分析,进一步明确不同类别人群中主动脉瓣膜钙化对于临近二尖瓣环的影响。其次,由于并非所有狭窄组患者均存在功能性二尖瓣反流且主要利用超声多普勒定性及半定量的方法进行二尖瓣反流程度的评估,未能获得准确的二尖瓣反流定量参数,因此无法确定这类患者术后二尖瓣反流的改善情况与主动脉瓣钙化程度间的关系,但是该方面的探索对于发现反流改善的影响因素、评估远期预后都有较大临床价值,因此仍需要在后续研究中进一步探讨。最后,二尖瓣的功能还取决于瓣叶、乳头肌及腱索等的协调作用,因此仍需对二尖瓣整体装置进行细致的评估,才能获得更加完善可靠的结论,为该类患者的精准诊治提供更多参考。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Vanden Eynden F, Bouchard D, El-Hamamsy I, et al. Effect of aortic valve replacement for aortic stenosis on severity of mitral

- regurgitation[J]. *Ann Thorac Surg*, 2007, 83(4): 1279-1284. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2006.12.076.
- [2] Faletra FF, Leo LA, Paiocchi VL, et al. Anatomy of mitral annulus insights from non-invasive imaging techniques[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2019, 20(8): 843-857. DOI: 10.1093/ehjci/jez153.
- [3] Oliveira D, Srinivasan J, Espino D, et al. Geometric description for the anatomy of the mitral valve: a review[J]. *J Anat*, 2020, 237(2): 209-224. DOI: 10.1111/joa.13196.
- [4] Pawade TA, Newby DE, Dweck MR. Calcification in aortic stenosis: the skeleton key[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2015, 66(5): 561-577. DOI: 10.1016/j.jacc.2015.05.066.
- [5] 中华医学会心血管病学分会心血管影像学组, 北京医学会心血管病学影像学组, 北京医院国家老年医学中心. 中国成人心脏瓣膜病超声心动图规范化检查专家共识 [J]. *中国循环杂志*, 2021, 36(2): 109-125. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2021.02.002.
- [6] Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, et al. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography[J]. *J Am Coll Cardiol*, 1990, 15(4): 827-832. DOI: 10.1016/0735-1097(90)90282-t.
- [7] Unger P, Dedobbeleer C, Van Camp G, et al. Mitral regurgitation in patients with aortic stenosis undergoing valve replacement[J]. *Heart*, 2010, 96(1): 9-14. DOI: 10.1136/hrt.2009.165548.
- [8] Pawade T, Clavel MA, Tribouilloy C, et al. Computed tomography aortic valve calcium scoring in patients with aortic stenosis[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2018, 11(3): e007146. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.117.007146.
- [9] Kang NG, Suh YJ, Han K, et al. Performance of prediction models for diagnosing severe aortic stenosis based on aortic valve calcium on cardiac computed tomography: incorporation of radiomics and machine learning[J]. *Korean J Radiol*, 2021, 22(3): 334-343. DOI: 10.3348/kjr.2020.0099.
- [10] Toggweiler S, Boone RH, Rodés-Cabau J, et al. Transcatheter aortic valve replacement: outcomes of patients with moderate or severe mitral regurgitation[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 59(23): 2068-2074. DOI: 10.1016/j.jacc.2012.02.020.
- [11] Kato N, Thaden JJ, Miranda WR, et al. Impact of aortic valve replacement for severe aortic stenosis on organic and functional mitral regurgitation[J]. *ESC Heart Fail*, 2021, 8(6): 5482-5492. DOI: 10.1002/ehf2.13649.
- [12] 张蕾, 熊名琛, 王鸿凤, 等. 三维经食道超声心动图评估重度主动脉瓣狭窄患者经胸主动脉瓣置换术与经导管主动脉瓣置入术后主动脉瓣-二尖瓣联合体变化 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2019, 28(7): 595-600. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4447.2019.07.004.
- [13] Veronesi F, Corsi C, Sugeng L, et al. A study of functional anatomy of aortic-mitral valve coupling using 3D matrix transesophageal echocardiography[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2009, 2(1): 24-31. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.108.785907.
- [14] Tastet L, Enriquez-Sarano M, Capoulade R, et al. Impact of aortic valve calcification and sex on hemodynamic progression and clinical outcomes in AS[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2017, 69(16): 2096-2098. DOI: 10.1016/j.jacc.2017.02.037.
- [15] Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, et al. 2017 ESC/EACTS guidelines for the management of valvular heart disease[J]. *Eur Heart J*, 2017, 38(36): 2739-2791. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx391.

(收稿日期:2022-02-23)

(编辑: 王宝茹)