

❖ 心脏、血管影像学

Evaluation on changes of left atrial function after coronary artery bypass grafting using two-dimensional speckle tracking imaging and real-time three-dimensional echocardiography

YU Su¹, WU Jun^{1*}, WU Haibo², CAI Meng¹, YANG Yan¹, GU Wenhui¹

(1. Department of Ultrasound, 2. Department of Cardiac Surgery, the Second Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116027, China)

[Abstract] **Objective** To evaluate changes of left atrial function after coronary artery bypass grafting (CABG) with two-dimensional speckle tracking imaging (2D-STI) and real-time three-dimensional echocardiography (RT-3DE). **Methods** Totally 30 patients with multivessel coronary artery disease treated with CABG (CABG group) and 30 healthy volunteers (control group) were enrolled. 2D-STI was used to measure the left atrial strain curve, i. e. left atrial reserve strain (ϵ_s), conduit strain (ϵ_e) and contraction strain (ϵ_a) in control group and CABG group before operation, as well as 1 month and 3 months after operation. RT-3DE was used to measure maximum left atrium volume (LAV_{max}), minimum left atrial volume (LAV_{min}), pre-systolic left atrial volume (LAV_p), left atrial passive ejection fraction (LAPEF) and active ejection fraction (LAAEF). Correlation analysis was performed between the ratio of left atrial strain, volume change and difference value of peak mitral flow velocity (E)/mitral annular peak velocity (e') 3 months after CABG and pre-operation ($\Delta E/e'$). **Results** ϵ_a and LAAEF showed no significant difference among CABG group before operation, 1 month, 3 months after operation and the control group (both $P > 0.05$), whereas ϵ_s , ϵ_e , LAV_{max} , LAV_{min} , LAV_p and LAPEF were statistically significant (all $P < 0.05$). Compared with control group, before CABG, ϵ_s , ϵ_e and LAPEF decreased, LAV_{max} , LAV_{min} and LAV_p increased (all $P < 0.05$), while compared with those before operation, ϵ_s , ϵ_e and LAPEF increased, LAV_{max} , LAV_{min} and LAV_p decreased 1 month and 3 months after operation (all $P < 0.05$), the differences of ϵ_s , ϵ_e , LAV_{max} , LAV_{min} , LAV_p and LAPEF were statistically significant between 3 months and 1 month after operation (all $P < 0.05$). The rate of changes of LAV_{max} , LAV_{min} , LAV_p in CABG group 3 months after operation was positively correlated with $\Delta E/e'$ ($r = 0.608, 0.631, 0.587$, all $P < 0.01$), while of left atrium ϵ_s , ϵ_e was negatively correlated with $\Delta E/e'$ ($r = -0.615, -0.637$, all $P < 0.01$). **Conclusion** 2D-STI and RT-3DE can dynamically evaluate the left atrium function before and after CABG, and have certain value in evaluating the improvement of myocardial function and prognosis after CABG.

[Keywords] coronary artery bypass; atrial function, left; speckle tracking imaging; echocardiography

DOI:10.13929/j.1003-3289.201810064

二维斑点追踪技术和实时三维超声心动图评价 冠状动脉旁路移植术后左心房功能变化

余 苏¹, 武 俊^{1*}, 吴海波², 蔡 萌¹, 杨 燕¹, 顾文慧¹

(1. 大连医科大学附属第二医院超声科, 2. 心外科, 辽宁 大连 116027)

[摘要] **目的** 应用二维斑点追踪技术(2D-STI)和实时三维超声心动图(RT-3DE)评价冠状动脉旁路移植术(CABG)

[第一作者] 余苏(1992—),女,江西宜春人,在读硕士。研究方向:心血管超声诊断。E-mail: 1260195637@qq.com

[通信作者] 武俊,大连医科大学附属第二医院超声科,116027。E-mail: wujun108@sina.com

[收稿日期] 2018-10-13 **[修回日期]** 2019-01-20

后左心房功能变化。**方法** 收集因多支冠状动脉病变接受 CABG 治疗的 30 例患者(CABG 组)和 30 名健康志愿者(对照组),采用 2D-STI 测量对照组及 CABG 组术前及术后 1 个月、术后 3 个月左心房应变曲线,获得左心房储备应变(ϵ_s)、管道应变(ϵ_e)和收缩应变(ϵ_a);采用 RT-3DE 测量患者左心房最大容积(LAV_{max})、最小容积(LAV_{min})和收缩前容积(LAV_p),计算左心房被动射血分数(LAPEF)和主动射血分数(LAAEF)。对 CABG 左心房应变率、容积变化率与术后 3 个月及术前舒张早期 E 峰/二尖瓣瓣环舒张早期 e 峰差值($\Delta E/e'$)进行相关性分析。**结果** CABG 组术前、术后 1 个月、术后 3 个月与对照组 ϵ_a 、LAAEF 总体差异无统计学意义(P 均 >0.05); ϵ_s 、 ϵ_e 、 LAV_{max} 、 LAV_{min} 、 LAV_p 、LAPF 总体差异均有统计学意义(P 均 <0.05),CABG 组术前 ϵ_s 、 ϵ_e 、LAPF 较对照组下降, LAV_{max} 、 LAV_{min} 、 LAV_p 较对照组增高,术后 1 个月、3 个月 ϵ_s 、 ϵ_e 、LAPF 较术前增高, LAV_{max} 、 LAV_{min} 、 LAV_p 较术前降低(P 均 <0.05),术后 3 个月与 1 个月 ϵ_s 、 ϵ_e 、 LAV_{max} 、 LAV_{min} 、 LAV_p 、LAPF 差异均有统计学意义(P 均 <0.05)。CABG 组术后 3 个月 LAV_{max} 、 LAV_{min} 和 LAV_p 变化率与 $\Delta E/e'$ 呈正相关($r=0.608, 0.631, 0.587, P$ 均 <0.01),左心房 ϵ_s 、 ϵ_e 变化率与 $\Delta E/e'$ 均呈负相关($r=-0.615, -0.637, P$ 均 <0.01)。**结论** 2D-STI 和 RT-3DE 可动态评价 CABG 前后左心房功能变化,对评估 CABG 术后患者心肌功能改善情况及预后具有一定价值。

[关键词] 冠状动脉分流术;心房功能;左;斑点追踪成像;超声心动描记术

[中图分类号] R543.31; R540.45 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2019)04-0535-05

冠状动脉粥样硬化性心脏病(coronary heart disease, CHD)发病率和死亡率逐年增加。冠状动脉旁路移植术(coronary artery bypass grafting, CABG)是治疗 CHD 的主要方法之一,尤其对于多支冠状动脉病变或左主干病变患者,能缓解症状,降低死亡率。目前研究^[1]大多关注 CABG 术后左心室功能变化,而心房功能与心室功能紧密联系,左心房功能直接决定左心室舒张期灌注,不仅影响心输出量,且在维持正常心功能方面具有重要作用,使得左心房功能日益受到重视^[2]。本研究以二维斑点追踪技术(two-dimensional speckle tracking imaging, 2D-STI)测量左心房应变,以实时三维超声心动图(real-time three-dimensional echocardiography, RT-3DE)测量左心房容积,评价 CABG 术后左心房功能的变化。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2017 年 2 月—2018 年 5 月于我院接受 CABG 治疗的 30 例 CHD 患者(CABG 组),男 19 例,女 11 例,年龄 51~63 岁,平均(56.5 ± 5.2)岁。纳入标准:①术前经冠状动脉造影证实为多支冠状动脉病变,左前降支、左回旋支狭窄 70%以上,或左主干狭窄 50%以上;②窦性心律。排除标准:①高血压、糖尿病病史;②中、重度心脏瓣膜病;③先天性心脏病。同期收集年龄、性别匹配的 30 名健康志愿者为对照组,男 18 名,女 12 名,年龄 48~61 岁,平均(53.3 ± 4.3)岁,均为窦性心律,且经全面体格检查、影像学检查排除心血管疾病及其他影响心功能的全身性疾病。本研究经我院伦理委员会批准,受试者均知情同意。

1.2 仪器与方法 采用 Philips Epiq 7C 型多普勒超声诊断仪, X5-1 探头,频率 1~5 MHz,配备 Qlab10.5

脱机分析软件。对 CABG 组患者于术前及术后 1 个月、3 个月进行超声检查。

1.2.1 常规超声心动图测量 静息状态下,嘱受试者左侧卧,同步连接心电导联。于胸骨旁左心室长轴切面测量左心房前后径(left atrial diameter, LAD),采用二维双平面 Simpson 法测量左心室舒张末期容积(left ventricular end-diastolic volume, LVEDV),左心室收缩末期容积(left ventricular end-systolic volume, LVESV)以及左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)。以脉冲多普勒于心尖四腔心切面二尖瓣瓣尖下约 1 cm 处记录二尖瓣前向血流频谱,测量舒张早期 E 峰、舒张晚期 A 峰;切换至组织多普勒模式,测量二尖瓣瓣环舒张早期 e' 峰,计算 E/A 和 E/e' ,并计算术后 3 个月与术前 E/e' 的差值($\Delta E/e'$)。

1.2.2 2D-STI 储存标准心尖四腔、两腔心切面连续 3 个心动周期的图像。采用 Qlab10.5 软件,于心尖四腔、两腔心图像中追踪左心房心内膜,必要时手动调整,以优化心内膜边界。将左心房壁分为 6 个节段^[3],生成各个节段的应变曲线,并计算平均值。以左心室舒张末期(即心电图 Q 波)为参考点,整个心动周期左心房应变均为正值,2 个峰值应变分别对应储备应变(ϵ_s)和收缩应变(ϵ_a),二者的差值为管道应变(ϵ_e)。计算术后左心房应变变化率,左心房应变变化率=(术后 3 个月左心房应变-术前左心房应变)/术前左心房应变 $\times 100\%$ 。

1.2.3 RT-3DE 于心尖四腔心切面调整探头声束方向与增益大小,调整至最佳图像后切换至三维模式,启动全容积显像,采集图像供脱机分析。于心尖四腔、

两腔心图像选取左心房心内膜面的 5 个采样点,即二尖瓣瓣环的间隔、侧壁、前壁、下壁及左心房顶,分别于左心室舒张末期和收缩末期获取,由软件勾画左心房心内膜轮廓,必要时手动调整使其符合实际内膜边界。软件自动生成左心房容积-时间曲线(volume-time curve, VTC),获得最大左心房容积(maximum left atrial volume, LAV_{max})、最小左心房容积(minimum left atrial volume, LAV_{min})和收缩前左心房容积(pre-systolic left atrial volume, LAV_p)。计算左心房被动射血分数(left atrial passive ejection fraction, LAPEF)、左心房主动射血分数(left atrial active ejection fraction, LAAEF)和左心房容积变化率。LAPEF = (LAV_{max} - LAV_p) / LAV_{max} × 100%; LAAEF = (LAV_p - LAV_{min}) / LAV_{min} × 100%;左心房容积变化率=(术后 3 个月左心房容积-术前左心房容积)/术前左心房容积×100%。

1.3 统计学分析 采用 SPSS 22.0 统计分析软件。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,多组间比较采用单因素方差分析,两两比较采用 LSD 法。CABG 组与对照组间年龄比较采用两独立样本 *t* 检验,性别比较采用 χ^2 检验。以 Pearson 法进行线性相关分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

CABG 组与对照组年龄($t = 0.914, P = 0.324$)、性别($\chi^2 = 0.693, P = 0.405$)差异均无统计学意义。

2.1 常规二维超声参数 CABG 组术前、术后 1 个月、术后 3 个月与对照组 LVEDV、LVESV、LVEF、E、A、E/A、e' 总体差异均无统计学意义(P 均 > 0.05 , 表

1); LAD、E/e' 总体差异有统计学意义(P 均 < 0.05), CABG 组术前 LAD、E/e' 较对照组升高(P 均 < 0.05), 术后 1 个月、3 个月较术前降低(P 均 < 0.05), 术后 3 个月较术前 1 个月降低(P 均 < 0.05), 见表 1。

2.2 CABG 术后左心房应变及容积的变化 CABG 组术前、术后 1 个月、术后 3 个月与对照组间 ϵ_a 、LAAEF 总体差异无统计学意义(P 均 > 0.05); ϵ_s 、 ϵ_e 、LAV_{max}、LAV_{min}、LAV_p、LAPEF 总体差异均有统计学意义(P 均 < 0.05), CABG 组术前 ϵ_s 、 ϵ_e 、LAPEF 较对照组下降, LAV_{max}、LAV_{min}、LAV_p 较对照组增高(P 均 < 0.05), 术后 1 个月、3 个月 ϵ_s 、 ϵ_e 、LAPEF 较术前增高, LAV_{max}、LAV_{min}、LAV_p 较术前降低(P 均 < 0.05), 术后 3 个月与术后 1 个月 ϵ_s 、 ϵ_e 、LAV_{max}、LAV_{min}、LAV_p、LAPEF 差异均有统计学意义(P 均 < 0.05); 见表 2、3 和图 1。

2.3 相关性分析 CABG 组术后 LAV_{max}、LAV_{min} 和 LAV_p 变化率与 $\Delta E/e'$ 呈正相关($r = 0.608, 0.631, 0.587, P$ 均 < 0.01), 左心房 ϵ_s 、 ϵ_e 变化率与 $\Delta E/e'$ 均呈负相关($r = -0.615, -0.637, P$ 均 < 0.01)。

3 讨论

左心房在整个心动周期中具有多种功能: 在左心室收缩期充当储备器, 在左心室舒张早期充当肺静脉血液流向左心室的管道, 在舒张晚期发挥泵功能^[2]。左心房壁薄且顺应性好, 在左心室收缩期时扩张, 左心室舒张早期和舒张晚期则由于弹性及收缩作用恢复正常, 籍此影响左心室充盈, 维持心输出量^[4-5]。早期评价左心房容积和功能改变可以预测心房颤动、卒中和心力衰竭等多种心血管事件的发生^[5-6]。

表 1 CABG 组手术前后与对照组常规超声参数比较($\bar{x} \pm s, n = 30$)

组别	LAD(mm)	LVEDV(ml)	LVESV(ml)	LVEF(%)	E(m/s)
CABG 组					
术前	45.59 ± 5.23 *	105.01 ± 20.05	51.59 ± 24.32	57.61 ± 9.51	0.61 ± 0.17
术后 1 个月	40.12 ± 3.21 #	102.11 ± 19.25	50.03 ± 17.05	58.41 ± 8.75	0.64 ± 0.13
术后 3 个月	35.28 ± 3.68 # &	100.91 ± 18.89	48.96 ± 18.57	60.08 ± 7.46	0.70 ± 0.22
对照组	32.25 ± 4.51	98.38 ± 18.58	45.31 ± 15.81	62.29 ± 8.12	0.73 ± 0.11
F 值	150.394	14.060	7.078	6.176	13.846
P 值	< 0.001	0.339	0.601	0.746	0.419
组别	A(m/s)	E/A	e'(cm/s)	E/e'	
CABG 组					
术前	0.76 ± 0.19	1.04 ± 0.39	6.43 ± 4.21	12.36 ± 3.41 *	
术后 1 个月	0.64 ± 0.22	1.14 ± 0.35	8.41 ± 3.32	11.18 ± 2.46 #	
术后 3 个月	0.58 ± 0.31	1.21 ± 0.21	9.05 ± 3.15	9.98 ± 2.31 # &	
对照组	0.75 ± 0.15	1.05 ± 0.42	9.57 ± 2.89	7.12 ± 3.12	
F 值	7.589	16.289	8.647	118.706	
P 值	0.670	0.115	0.588	0.009	

注: * : 与对照组比较, $P < 0.05$; # : 与 CABG 组术前比较, $P < 0.05$; & : 与 CABG 组术后 1 个月比较, $P < 0.05$

表 2 CABG 组手术前后与对照组左心房应变参数比较 ($\bar{x} \pm s, n=30$)

组别	ϵ_s	ϵ_a	ϵ_e
CABG 组			
术前	$21.72 \pm 6.71^*$	8.61 ± 3.79	$14.21 \pm 4.23^*$
术后 1 个月	$23.61 \pm 6.92^\#$	8.87 ± 3.94	$18.13 \pm 3.56^\#$
术后 3 个月	$26.02 \pm 7.31^\# \&$	9.02 ± 2.58	$21.72 \pm 3.23^\# \&$
对照组	39.81 ± 4.38	13.32 ± 3.31	23.61 ± 3.91
F 值	188.005	76.171	210.785
P 值	<0.001	0.743	<0.001

注: *: 与对照组比较, $P<0.05$; #: 与 CABG 组术前比较, $P<0.05$; &: 与 CABG 组术后 1 个月比较, $P<0.05$

表 3 CABG 组手术前后与对照组左心房容积及射血分数比较 ($\bar{x} \pm s, n=30$)

组别	LAV _{max} (ml)	LAV _{min} (ml)	LAV _p (ml)	LAPEF (%)	LAAEF (%)
CABG 组					
术前	$54.14 \pm 3.31^*$	$27.78 \pm 2.04^*$	$33.77 \pm 2.61^*$	$40.09 \pm 4.21^*$	29.22 ± 5.41
术后 1 个月	$49.39 \pm 2.54^\#$	$23.61 \pm 3.78^\#$	$28.71 \pm 4.89^\#$	$44.22 \pm 3.56^\#$	28.43 ± 3.12
术后 3 个月	$44.58 \pm 1.29^\# \&$	$18.71 \pm 1.09^\# \&$	$25.74 \pm 4.01^\# \&$	$51.03 \pm 1.56^\# \&$	28.19 ± 4.09
对照组	35.28 ± 3.23	13.82 ± 3.59	21.67 ± 5.32	52.13 ± 4.23	28.76 ± 7.32
F 值	104.751	89.776	154.075	133.066	15.074
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.754

注: *: 与对照组比较, $P<0.05$; #: 与 CABG 组术前比较, $P<0.05$; &: 与 CABG 组术后 1 个月比较, $P<0.05$

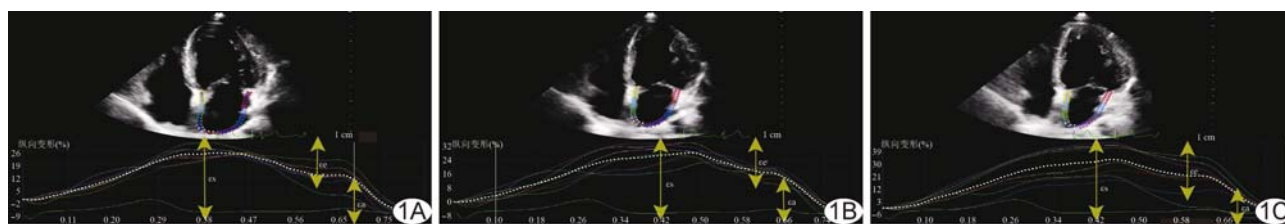


图 1 患者男, 56 岁, 2D-STI 于心尖四腔心切面获取左心房应变曲线 A. 术前; B. 术后 1 个月; C. 术后 3 个月

CABG 是 CHD 的有效治疗方法之一, 冠状动脉造影检查仍是评价 CABG 疗效的金标准, 但其为有创检查。超声心动图检查无创、可重复, 已成为评价 CABG 术后心功能变化的常用方法。Lee 等^[7]报道左心室舒张功能异常较收缩功能异常更早出现, 是 CHD 患者心肌缺血的敏感指标, 导致左心室充盈压升高, 左心房压力随之增加、顺应性减低, 发生解剖和功能重构^[6,8]。CABG 为缺血心肌重建血运通道, 使大量冬眠心肌和顿抑心肌恢复供血及功能, 左心室充盈压下降, 进而改善左心房容积和功能^[1,6]。因此, CABG 术后左心房功能的变化与手术疗效及预后密切相关。李闯等^[9]应用 2D-STI 测量 CABG 术后新发心房颤动患者左心房应变值, 发现其低于非心房颤动患者, 提示可通过评估左心房功能判定术后并发症和预后。

2D-STI 可在整个心动周期测量各时相左心房应变值变化, 故能评估左心房储备、管道和收缩功能^[2,10]。本研究发现 CABG 组术前 ϵ_s 、 ϵ_e 较对照组下

降, 术后 1 个月、3 个月较术前增高, 提示术前左心房储备、管道功能下降, CHD 患者左心室松弛性受损, 舒张早期左心房血液流向左心室的驱动压降低, 使左心房管道功能下降; 左心室充盈压升高导致左心房顺应性受损, 使其储备功能亦降低; 通过外科手术或内科治疗降低左心室充盈压, 改善左心房容积和功能, 可使左心房重构逆转^[6]。CABG 术后, 随左心室充盈压降低, 左心房功能重构逆转, 左心房储备及管道功能逐渐增强, ϵ_s 、 ϵ_e 较术前增高。

本研究中 CABG 组术前、术后 1 个月、术后 3 个月与对照组 ϵ_a 总体差异无统计学意义, 与褚静洁等^[11]报道的 CHD 患者左心房泵功能提高有所不同。Ramkumar 等^[5]提出左心房泵功能独立于左心室功能, 其改变不依赖于早期左心室功能改变, 可能受潜在心房疾病的影响。CABG 患者心房缺血导致心房壁纤维化, 左心房主动泵功能受损, 术后随左心室充盈压降低, 左心房泵功能未见明显恢复, 故 ϵ_a 手术前后无显著

差异。

与二维超声心动图相比,RT-3DE 不依赖于心脏几何形态假设,即使在左心房重构等情况下,亦可全面、准确评估左心房容积^[12]。CHD 患者左心房增大与长期左心室充盈压升高密切相关,术后随着心肌供血的改善,左心室充盈压下降,左心房解剖重构逆转,左心房容积逐渐减小。LAPEF 与左心房管道功能密切相关^[8]。本研究中术后 LAPEF 升高,而 LAAEF 与左心房泵功能相关^[8],手术前后无显著差异。

本研究结果显示 CABG 患者术后 LAV_{min} 、 ϵe 变化率与 $\Delta E/e'$ 相关($r=0.631$ 、 -0.637)。 LAV_{min} 在左心室舒张末期测量,心房暴露于左心室充盈压下,不受左心室收缩的影响,因此, LAV_{min} 在舒张功能不全早期即可出现明显的增大^[13]。另外,有研究^[2]发现 LAV_{min} 可预测房性心律失常,表明 LAV_{min} 可反映左心室舒张功能和左心房功能的变化。左心房储备功能与左心房大小及顺应性有关,左心房管道功能受左心室松弛性和顺应性调节^[10],随着术后左心室充盈压下降,房室压差增大,左心室抽吸作用增强,左心房管道功能改善最明显,因此 ϵe 变化率与 $\Delta E/e'$ 相关性较高。

本研究的局限性:仅对 CABG 患者进行短期随访,初步观察左心房容积和功能的变化;样本量小,近期疗效满意,远期疗效需进一步长期随访。此外,目前对左心房应变的运算均采用基于左心室开发的应变软件,缺乏对左心房应变图像获取、ECG 采集及图像分析的统一标准。

总之,2D-STI 和 RT-3DE 可全面、准确评价 CABG 术后左心房功能的变化,有效评估 CABG 患者手术疗效及预后。

[参考文献]

- [1] 何丹青,王玲,赵晟,等.二维斑点追踪显像评价冠状动脉搭桥术后左室心肌纵向应变.中华超声影像学杂志,2013,22(2):107-110.
- [2] Facchini E, Degiovanni A, Marino PN. Left atrium function in patients with coronary artery disease. Curr Opin Cardiol, 2014, 29(5):423-429.
- [3] Gan GCH, Ferkh A, Boyd A, et al. Left atrial function: Evaluation by strain analysis. Cardiovasc Diagn Ther, 2018, 8(1):29-46.
- [4] Cameli M, Caputo M, Mondillo S, et al. Feasibility and reference values of left atrial longitudinal strain imaging by two-dimensional speckle tracking. Cardiovasc Ultrasound, 2009, 7:6.
- [5] Ramkumar S, Yang H, Wang Y, et al. Association of the active and passive components of left atrial deformation with left ventricular function. J Am Soc Echocardiography, 2017, 30(7):659-666.
- [6] Huynh QL, Kalam K, Iannaccone A, et al. Functional and anatomic responses of the left atrium to change in estimated left ventricular filling pressure. J Am Soci Echocardiography, 2015, 28(12):1428-1433.e1.
- [7] Lee KW, Blann AD, Lip GY. Impaired tissue Doppler diastolic function in patients with coronary artery disease: Relationship to endothelial damage/dysfunction and platelet activation. Am Heart J, 2005, 150(4):756-776.
- [8] Liu YY, Xie MX, Xu JF, et al. Evaluation of left atrial function in patients with coronary artery disease by two-dimensional strain and strain rate imaging. Echocardiography, 2011, 28(10):1095-1103.
- [9] 李闯,柳克晔,栗建辉,等.二维斑点追踪成像技术测得的左心房应变值与 CABG 术后新发房颤相关.心脏杂志,2017,29(5):65-68.
- [10] Pathan F, D'Elia N, Nolan MT, et al. Normal ranges of left atrial strain by speckle-tracking echocardiography: A systematic review and Meta-analysis. J Am Soc Echocardiogr, 2016, 30(1):59-70.
- [11] 褚静洁,李玉宏.二维斑点追踪显像技术评价冠心病患者左心房功能.中国医学影像技术,2011,27(4):735-738.
- [12] Jenkins C, Leano R, Chan J, et al. Reconstructed versus real-time 3-dimensional echocardiography: Comparison with magnetic resonance imaging. J Am Soc Echocardiogr, 2007, 20(7):862-868.
- [13] 林琼雯.实时三维超声心动图评价稳定性冠心病患者左心室舒张功能的研究.北京:北京协和医学院,2013:42-45.