·临床研究·

三维经食管超声心动图预测冠状动脉旁路移植术后新发房颤的增量价值

李斌*,郭倩倩,刘超
(北京航天总医院超声医学科,北京 100076)

【摘 要】 **目的** 探讨三维经食管超声心动图(TEE)预测冠状动脉旁路移植术(CABG)后房颤(AF)的增量价值。**方法** 选择2021年3月至2024年3月于北京航天总医院接受CABG的100例患者为研究对象。根据术后2~3 d是否发生AF,将患者分为AF组(33例)和非AF组(67例),观察两组患者的TEE参数(左心耳分叶数目、左心耳容积、左心耳射血分数、左心耳排空速度)及冠状动脉微循环指标(冠状动脉血流储备、微循环阻力指数)情况。采用SPSS 23.0统计软件进行数据分析,根据数据类型分别采用t检验或χ^2检验进行组间比较。采用广义相加模型(GAM)分析TEE参数与冠状动脉微循环指标的相关性。通过多元线性回归分析探讨TEE参数与术后新发AF的关联。通过受试者工作特征(ROC)曲线评估TEE参数对术后AF发生的预测价值。**结果** AF组左心耳分叶数目、左心耳容积及微循环阻力指数(IMR)高于非AF组;左心耳射血分数、左心耳排空速度及冠状动脉血流储备低于非AF组,差异有统计学意义($P<0.05$)。多元线性回归分析结果显示,左心耳分叶数目($\beta=0.462,0.562,1.011$;$P<0.05$)、左心耳容积($\beta=0.316,0.498,0.627,1.126$;$P<0.05$)为术后新发AF的危险因素。左心耳射血分数($\beta=-0.853,-0.512,-0.489,-0.362$;$P<0.05$)、左心耳排空速度($\beta=-0.801,-0.625,-0.562,-0.440$;$P<0.05$)为术后新发AF的保护因素。ROC曲线分析结果显示,TEE参数对术后新发AF的预测价值良好,4个参数联合对术后新发AF的预测价值较高[最佳截断值为35.27,灵敏度为80.12%,特异度为73.02%,AUC为0.902(95%*CI* 0.796~0.987;$P=0.015$)]。**结论** TEE测量参数不仅能独立预测CABG后新发AF,且其联合应用可显著提升预测效能,为临床风险评估提供了增量价值。

【关键词】 房颤;冠状动脉旁路移植术;经食管超声心动图;三维成像
【中图分类号】 R540.4 【文献标志码】 A 【DOI】 10.11915/j.issn.1671-5403.2026.01.012

Incremental value of three-dimensional transesophageal echocardiography in predicting new-onset of atrial fibrillation after coronary artery bypass grafting

Li Bin*, Guo Qianqian, Liu Chao
(Department of Ultrasound Medicine, Beijing Aerospace General Hospital, Beijing 100076, China)

【**Abstract**】 **Objective** To investigate the incremental value of three-dimensional transesophageal echocardiography (TEE) in predicting the occurrence of atrial fibrillation (AF) after coronary artery bypass grafting (CABG). **Methods** A total of 100 patients who underwent CABG at Beijing Aerospace General Hospital from March 2021 to March 2024 were selected as the study subjects. According to occurrence of AF within 2 to 3 days after surgery, the patients were divided into an AF group ($n=33$) and a non-AF group ($n=67$). The TEE parameters [number of left atrial appendage (LAA) lobes, left atrial appendage volume, left atrial appendage ejection fraction, left atrial appendage emptying velocity] and coronary microcirculation indicators [coronary flow reserve (CFR), index of microcirculation resistance (IMR)] were observed in both groups. Data analysis was performed using SPSS 23.0, and t test or χ^2 test was used for intergroup comparison based on the data type. A generalized additive model (GAM) was used to analyze the correlation between TEE parameters and coronary microcirculation indicators. Multivariate linear regression analysis was used to explore the association between TEE parameters and postoperative new-onset AF. The predictive value of TEE parameters for postoperative AF occurrence was evaluated by the receiver operating characteristic (ROC) curve. **Results** The number of LAA lobes, LAA volume, and IMR in the AF group were higher than those in the non-AF group; LAA ejection fraction, LAA emptying velocity and CFR were lower than those in the non-AF group, with statistically significant differences ($P<0.05$). Multivariate linear regression analysis showed that the number of

收稿日期: 2025-01-14; **接受日期**: 2025-04-07
通信作者: 李斌, E-mail: liLIB19810@163cn.email

LAA lobes (β=0.462, 0.562, 1.011; P<0.05) and LAA volume (β=0.316, 0.498, 0.627, 1.126; P<0.05) were risk factors for postoperative new-onset AF. LAA ejection fraction (β=−0.853, −0.512, −0.489, −0.362; P<0.05) and LAA emptying velocity (β=−0.801, −0.625, −0.562, −0.440; P<0.05) were protective factors against postoperative new-onset AF. ROC curve analysis showed that TEE parameters had good predictive value for postoperative new-onset AF, and that the combination of four parameters had a higher predictive value for postoperative new-onset AF [cut-off value was 35.27; sensitivity was 80.12%; specificity was 73.02%; AUC was 0.902 (95%*CI* 0.796−0.987; P=0.015). **Conclusion** Parameters measured by TEE can not only independently predict new-onset AF after CABG, but also their combined application can significantly enhance the predictive efficacy, providing incremental value for clinical risk assessment.

【Key words】 atrial fibrillation; coronary artery bypass grafting; transesophageal echocardiography; three-dimensional imaging

Corresponding author: *Li Bin*, *E-mail*: *liLIB19810@163cn.email*

冠状动脉疾病(coronary artery disease,CAD)作为一种心血管疾病,严重威胁着患者的生命质量和预期寿命。冠状动脉旁路移植术(coronary artery bypass grafting,CABG)是治疗 CAD 的重要手段[1]。房颤(atrial fibrillation,AF)是 CABG 术后常见并发症,不仅会导致患者出现心悸、胸闷等不适症状,还可能引起血流动力学障碍,增加血栓形成、中风等严重并发症的风险[2]。因此,对 CABG 术后新发 AF 的早期预测和有效预防尤为重要。近年来,三维经食管超声心动图(three-dimensional transesophageal echocardiography,3D-TEE)的应用,为 CABG 术后新发 AF 的预测提供了新工具[3]。相较于传统的经胸超声心动图,3D-TEE 具有更高的分辨率和准确性[4]。本研究通过分析经食管超声心动图(transesophageal echocardiography,TEE)参数与 CABG 术后新发 AF 发生的相关性,旨在寻找一种更为准确、可靠的预测 CABG 术后新发 AF 的方法,为 CABG 术后 AF 的早期识别和临床干预提供参考。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选择 2021 年 3 月至 2024 年 3 月于北京航天总医院接受 CABG 的 100 例患者为研究对象,其中男性 70 例,女性 30 例;年龄(60.97±4.50)岁。根据术后 2~3 d是否发生 AF,将患者分为 AF 组(33 例)和非 AF 组(67 例)。纳入标准:(1)接受 CABG 的成年患者,年龄 40~75 岁;(2)术前经心电图检查证实没有 AF;(3)术前心脏超声检查(二维超声心动图等)数据完整。排除标准:(1)合并严重的心脏瓣膜病(重度二尖瓣狭窄或关闭不全、重度主动脉瓣狭窄或关闭不全等);(2)合并严重的先天性心脏病(法洛四联症、完全性大动脉转位等);(3)合并严重的肺部疾病(慢性阻塞性肺疾病、间质性肺疾病、严重的支气管哮喘);(4)合并严重的肝功能不全(急性肝衰竭、慢性肝炎重度、肝硬化失代偿期)。本研究经医院医学伦理委员会审批(批号:20210107),患者及家属对研究内容知情并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 资料收集 通过电子病例收集患者的基本资料,包括现病史和既往史等信息。

1.2.2 TEE 参数测定 TEE 检查前需禁食水 8 h。患者取左侧卧位,将 3D-TEE 探头经口腔轻柔地插入食管。在插入深度达 30~40 cm 时,探头大致位于食管中段,获取左心耳的三维全容积图像,通过 X/Y/Z 轴旋转三维图像,结合正交切面(矢状位、冠状位、横断面)多角度观察左心耳形态。从左心耳开口至尖端逐层分析,确认分叶数目。选择舒张末期和收缩末期时相,分别采集左心耳全容积图像,手动勾画左心耳边界,软件自动生成三维模型并计算左心耳容积。分别测量舒张末期容积(end-diastolic volume,EDV)和收缩末期容积(end-systolic volume,ESV)。左心耳血流排空速度=(EDV−ESV)/EDV×100%。切换至二维 TEE 模式,调整至左心耳长轴切面。将取样容积置于左心耳开口 1 cm 内,调整角度与血流方向平行,记录至少 3 个心动周期的频谱,取峰值排空速度为左心耳排空速度(图 1)。

1.2.3 微循环特征指标测定 在进行心导管检查时,将压力导丝经皮穿刺插入冠状动脉,选择左前降支作为测量血管,确保压力导丝位置准确,压力导丝顶端位于冠状动脉远端正常血管段,避免贴壁或位于分支开口处。同时,连接好压力测量系统和血流速度测量设备,在冠状动脉最大充血状态下进行测量。通过冠状动脉内注射腺苷诱导最大充血,待达到稳定的充血状态后,记录冠状动脉内平均压

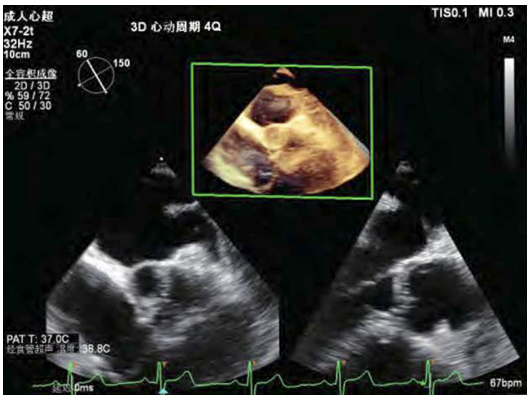


图 1 三维经食管超声心动图

Figure 1 Three-dimensional transesophageal echocardiography 3D-TEE

(distal coronary artery pressure, Pd)和远端冠状动脉内压力(pressure in the distal coronary artery, Pa)及对应的平均血流速度(mean blood flow velocity, Vmean)。根据公式计算微循环阻力指数(index of microcirculatory resistance, IMR)。IMR = Pd/Vmean。使用脉冲波多普勒超声在左前降支近段测量舒张期峰值血流速度(peak diastolic flow velocity, Vd)和收缩期峰值血流速度(peak systolic flow velocity, Vs),计算平均血流速度(mean flow velocity, Vm),Vm=(Vd+Vs)/2,以 Vm 作为基础血流速度的指标。通过上述诱导冠状动脉最大充血的方法,再次使用相同的测量技术测量充血状态下的血流速度 Vm′,根据公式计算冠状动脉血流储备(coronary flow reserve, CFR)。CFR=Vm′/Vm。

1.3 统计学处理

使用 SPSS 23.0 统计软件进行数据分析。计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用 t 检验。计数资料以例数(百分率)表示,组间比较采用 χ^2 检验。采用广义相加模型(generalized additive model, GAM)分析 TEE 参数与冠状动脉微循环指标的相关性。通过多元线性回归分析探讨 TEE 参数与术后新发 AF 的关联。通过受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评估 TEE 参数对术后新发 AF 发生的预测价值。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 两组患者一般资料

两组患者一般资料比较,差异均无统计学意义(P>0.05;表 1)。

2.2 两组患者 TEE 参数及冠状动脉微循环指标

AF 组左心耳分叶数目、左心耳容积、IMR 高于非 AF 组;左心耳射血分数、左心耳排空速度、CFR 低于非 AF 组,差异有统计学意义(P<0.05;表 2)。

表 1 两组患者一般资料比较

Table 1 Comparison of general data between two groups

Item	AF group (n=33)	Non-AF group (n=67)	P value
Age(years, $\bar{x}\pm s$)	60.45±4.12	61.86±4.91	0.159
BMI(kg/m^2, $\bar{x}\pm s$)	25.56±2.35	26.44±2.33	0.080
Male[n(%)]	21(63.64)	49(73.13)	0.330
Smoking [n(%)]	15(45.45)	29(43.28)	0.837
Alcohol drinking[n(%)]	9(27.27)	21(31.34)	0.676
Hypertension[n(%)]	22(66.67)	46(68.66)	0.841
Hyperlipemia[n(%)]	18(54.55)	40(59.70)	0.623
Diabetes mellitus[n(%)]	10(30.30)	21(31.34)	0.916
Apoplectic seizure[n(%)]	6(18.18)	9(13.43)	0.532
Preoperative myocardial infarction [n(%)]	6(18.18)	13(19.40)	0.884
Preoperative heart failure[n(%)]	13(39.39)	27(40.30)	0.931

AF: atrial fibrillation; BMI: body mass index.

表 2 两组患者 TEE 参数及冠状动脉微循环指标差异比较

Table 2 Comparison of TEE parameters and coronary microcirculation indexes between two groups ($\bar{x}\pm s$)

Item	AF group (n=33)	Non-AF group (n=67)	P value
TEE parameter			
Number of left auricular lobe(n)	2.80±1.22	1.63±0.76	<0.001
Left auricular volume(ml)	11.76±3.23	6.22±2.35	<0.001
Left auricular ejection fraction(%)	52.23±19.21	60.13±21.36	0.001
Left auricular emptying velocity (cm/s)	36.13±22.13	46.26±23.45	0.041
Coronary microcirculation indicator			
CFR	1.63±0.41	1.82±0.43	0.037
IMR(mmHg · s)	22.46±2.52	20.53±3.11	0.003

TEE: transesophageal echocardiography; AF: atrial fibrillation; CFR: coronary flow reserve; IMR: index of microcirculation resistance.

2.3 基于 GAM 的 TEE 参数与冠状动脉微循环指标的相关性

采用 GAM 分析 TEE 参数对冠状动脉微循环指标的影响。结果显示,TEE 参数均是有统计学意义的变量(P<0.05;表 3)。

2.4 TEE 参数与术后新发 AF 的多元线性回归分析

多元线性回归分析结果显示,左心耳分叶数目(β=0.462, 0.562, 1.011; P<0.05)、左心耳容积(β=0.316, 0.498, 0.627, 1.126; P<0.05)为术后新发AF 的危险因素。左心耳射血分数(β=−0.853, −0.512, −0.489, −0.362; P<0.05)、左心耳排空速度(β=−0.801, −0.625, −0.562, −0.440; P<0.05)为术后新发 AF 的保护因素(表 4)。

表 3 TEE 参数与冠状动脉微循环指标的相关性

Table 3 Correlation of TEE parameters with coronary microcirculation indicators

Variable	Effective degree of freedom	Mean sum of square	Mean square	*F*	*P* value
Influence of TEE parameters on CFR					
s(number of left auricular lobe)	1	18.19	9.771	0.001	1
s(left auricular volume)	1	17.12	9.123	0.002	1
s(left auricular ejection fraction)	1	17.56	9.156	0.002	1
s(left auricular emptying velocity)	1	18.12	9.653	0.001	1
Influence of TEE parameters on IMR					
s(number of left auricular lobe)	1	17.40	9.143	0.002	1
s(left auricular volume)	1	18.35	9.716	0.001	1
s(left auricular ejection fraction)	1	16.05	8.408	0.002	1
s(left auricular emptying velocity)	1	15.47	7.856	0.003	1

TEE: transesophageal echocardiography; CFR: coronary flow reserve; IMR: index of microcirculatory resistance.

表 4 TEE 参数与术后 AF 的多元线性回归分析

Table 4 Multivariate linear regression analysis of TEE parameters and postoperative AF

TEE parameter	*β*	*SE*	*t*	*P* value	*OR*(95%*CI*)
Number of left auricular lobe(*n*)					
1	-	-	-	-	Ref(1.00)
2	0.462	0.070	4.126	<0.001	2.125(1.035-3.216)
3	0.562	0.057	4.319	<0.001	2.235(1.116-3.318)
≥4	1.011	0.032	4.789	<0.001	2.519(1.482-3.674)
Left auricular volume(ml)					
<6.00	-	-	-	-	Ref(1.00)
6.00-8.00	0.316	0.066	4.316	<0.001	2.326(1.265-3.412)
8.00-10.00	0.498	0.047	4.598	<0.001	2.416(1.342-3.510)
10.00-12.00	0.627	0.038	4.627	<0.001	2.513(1.462-3.626)
≥12.00	1.126	0.026	4.832	<0.001	2.605(1.506-3.762)
Left auricular ejection fraction(%)					
<35.00	-	-	-	-	Ref(1.00)
35.00-50.00	-0.362	0.031	4.695	<0.001	0.868(0.758-0.957)
50.00-65.00	-0.489	0.046	4.537	<0.001	0.752(0.635-0.862)
65.00-80.00	-0.512	0.061	4.441	<0.001	0.545(0.440-0.653)
≥80.00	-0.853	0.078	4.302	<0.001	0.504(0.413-0.617)
Left auricular emptying velocity(cm/s)					
<20.00	-	-	-	-	Ref(1.00)
20.00-35.00	-0.440	0.036	4.503	<0.001	0.756(0.645-0.863)
35.00-50.00	-0.562	0.049	4.446	<0.001	0.688(0.579-0.792)
50.00-65.00	-0.625	0.066	4.250	<0.001	0.597(0.482-0.681)
≥65.00	-0.801	0.079	4.106	<0.001	0.376(0.261-0.483)

TEE: transesophageal echocardiography; AF: atrial fibrillation. -: no datum.

2.5 TEE 参数对术后新发 AF 发生的预测价值

ROC 曲线分析结果显示,TEE 参数(左心耳分叶数目、左心耳容积、左心耳射血分数和左心耳排空速度)对术后新发 AF 的预测价值良好,4 个参数联合对术后新发 AF 的预测价值较高,最佳截断值为 35.27,灵敏度为 80.12%,特异度为 73.02%,AUC 为 0.902(95% *CI* 0.796 ~ 0.987; *P* = 0.015)。见图 2,表 5)。

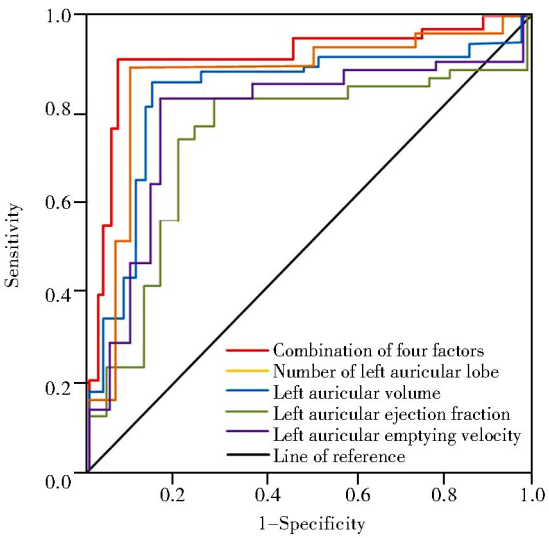


图 2 TEE 参数预测患者术后新发 AF 的 ROC 曲线分析

Figure 2 ROC curve of TEE parameters predicting postoperative new-onset AF

TEE: transesophageal echocardiography; AF: atrial fibrillation; ROC: receiver operating characteristic.

3 讨 论

CABG 后发生的 AF 是一种严重的术后并发症，发生率高达 20%～40%[5]。AF 会导致患者心功能下降，心脏泵血功能减弱，进而影响全身器官的充分灌注。此外，AF 还易引发血栓形成，血栓一旦脱落，可能随血液流向大脑，导致脑卒中等严重后果[6]。AF 患者还可能出现胸骨感染、呼吸道感染、胃肠功能障碍和肾功能障碍等并发症，进一步加重患者病情。更重要的是，AF 与患者的短期和长期死亡率密切相关，增加了患者的死亡风险[7]。因此，对 CABG 术后新发 AF 的预防和治疗至关重要。

有研究指出，左心耳分叶数目和左心耳容积均是阵发性 AF 药物治疗后复发的独立危险因素[8]。本研究中，左心耳分叶数目、左心耳容积为术后新发 AF 的危险因素；左心耳射血分数、左心耳排空速度为术后新发 AF 的保护因素。与对照组相比，AF 组患者左心耳分叶数目更多，左心耳容积更大，左心耳射血分数和血流排空速度更低。左心耳分叶数目的增多可能导致左心耳内部结构复杂，增加血栓形成的风险，进而可能导致 AF 的发生[9]。左心耳容积的增大同样可能导致心房内压力升高和电生理改变，进一步增加 AF 的发生风险[10]。左心耳射血分数降低意味着左心耳的收缩功能减弱，导致血液在左心耳内滞留时间延长，增加了 AF 的风险[11]。左心耳排空速度降低可能导致在左心耳内滞留的血液形成涡流或湍流，对左心耳内的电生理环境产生不良影响，从而增加 AF 的发生风险[12]。有研究发现，TEE 相关参数可以较好评估新发 AF 患者左心耳功能，对预测新发 AF 患者术后复发具有一定价值[13]。本研究 ROC 曲线分析显示，TEE 参数对术后新发 AF 的预测价值良好，4 个参数联合对术后新发 AF 的预测价值较高，与上述研究结果一致。

AF 组在 TEE 参数及冠状动脉微循环指标上均与非 AF 组存在显著差异。AF 组的左心耳分叶数目、左心耳容积、IMR 高于非 AF 组，AF 组的左心耳射血分数、左心耳排空速度、CFR 低于非 AF 组。这可能与心房重构、血流动力学改变、电生理改变、心肌缺血和梗死、心肌收缩功能下降及冠状动脉病变等多种因素有关[14]。心血管疾病可通过诱导冠状动脉微血管内皮功能障碍和结构重塑，致微循环阻力升高和心肌灌注减少，进而引发区域性心肌运动异常及整体心功能下降。TEE 参数能够敏感地捕捉到这些病理改变，从而与冠状动脉微循环指标形成直线关系[15]，提示 TEE 可作为评估冠状动脉微循环功能的无创工具。

本研究也存在一些局限性，如较小的样本量可能增加结果的偏倚和不确定性，不足以全面反映超声心动图参数与新发 AF 之间的复杂关系；患者的个体差异可能导致超声心动图参数在新发 AF 预测中的价值存在差异。对此，下一步应扩大研究范围，增加纳入的患者数量，尽可能弥补缺点，以期为临床提供更精确的数据支持。

表 5 TEE 参数对术后新发 AF 发生的预测价值

Table 5 Prediction value of TEE parameters on occurrence of postoperative new-onset AF

Factor	Cut-off value	AUC	95%*CI*	Sensibility(%)	Specificity(%)	*P* value
Number of left auricular lobe	2.24	0.895	0.786-0.970	78.02	74.21	0.029
Left auricular volume	8.59 ml	0.887	0.779-0.896	76.68	73.05	0.026
Left auricular ejection fraction	56.74%	0.883	0.767-0.891	75.65	75.03	0.037
Left auricular emptying velocity	41.85 cm/s	0.876	0.753-0.965	74.21	75.24	0.040
Combination of four factors	35.27	0.902	0.796-0.987	80.12	73.02	0.015

TEE: transesophageal echocardiography; AF: atrial fibrillation.

综上所述,TEE 测量参数不仅能独立预测 CABG 后新发 AF,且其联合应用可显著提升预测效能,为临床风险评估提供了增量价值。

【参考文献】

[1] Zhang S, Li B, Meng X, *et al*. The effects of inspiratory muscle training (IMT) on patients undergoing coronary artery bypass graft (CABG) surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. Rev Cardiovasc Med, 2023, 24(1): 16-21. DOI: 10.31083/j.rcm2401016.

[2] Kuźma Ł, Kowalewski M, Gostomczyk K, *et al*. Long-term survival after cardiac surgery in male and female patients with underlying atrial fibrillation[J]. Kardiol Pol, 2024, 82(7-8): 783-786. DOI: 10.33963/v.phj.100976.

[3] Efrimescu CI, Moorthy A, Griffin M. Rescue transesophageal echocardiography: a narrative review of current knowledge and practice[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2023, 37(4): 584-600. DOI: 10.1053/j.jvca.2022.12.031.

[4] Steffner KR, Christensen M, Gill G, *et al*. Deep learning for transesophageal echocardiography view classification[J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 11-16. DOI: 10.1038/s41598-023-50735-8.

[5] Choi HJ, Seo EJ, Choi JS, *et al*. Perioperative risk factors for new-onset postoperative atrial fibrillation among patients after isolated coronary artery bypass grafting: a retrospective study[J]. J Adv Nurs, 2022, 78(5): 1317-1326. DOI: 10.1111/jan.15045.

[6] Elliott AD, Middeldorp ME, Van Gelder IC, *et al*. Epidemiology and modifiable risk factors for atrial fibrillation[J]. Nat Rev Cardiol, 2023, 20(6): 404-417. DOI: 10.1038/s41569-022-00820-8.

[7] Segan L, Canovas R, Nanayakkara S, *et al*. New-onset atrial fibrillation prediction: the HARMS2-AF risk score[J]. Eur Heart J, 2023, 44(36): 3443-3452. DOI: 10.1093/eurheartj/ehad375.

[8] 张晨峰, 李静, 刘伟, 等. 左心耳超声心动图学指标与阵发性心房颤动药物治疗后复发的关系[J]. 中国循环杂志, 2018, 33(8): 777-780. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2018.08.008.

[9] Ferkh A, Clark A, Thomas L. Left atrial phasic function: physiology, clinical assessment and prognostic value[J]. Heart, 2023, 109(22): 1661-1669. DOI: 10.1136/heartjnl-2022-321609.

[10] 曹雪松, 刘会玲, 秦诗阳, 等. 经食管超声心动图在评估心源性脑卒中患者左心耳最大容积, 形态及功能中的作用[J]. 中国超声医学杂志, 2024, 40(5): 544-546. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0101.2024.05.018.

[11] 段文涛, 张峰, 陈萍, 等. CT 血管造影成像与超声心动图在预测非瓣膜性心房颤动患者左心耳血栓形成中的应用[J]. 临床心血管病杂志, 2023, 39(3): 201-207. DOI: 10.13201/j.issn.1001-1439.2023.03.009.

[12] Wang X, Xu X, Wang W, *et al*. Risk factors associated with left atrial appendage thrombosis in patients with non-valvular atrial fibrillation by transesophageal echocardiography[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2023, 39(7): 1263-1273. DOI: 10.1007/s10554-023-02841-x.

[13] Uziębło-żma Łyczkowska B, Kiliszek M, Maciorowska M, *et al*. Predicting reduced left atrial appendage velocity from echocardiographic left atrial function parameters in patients with atrial fibrillation undergoing catheter ablation[J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 7282-7286. DOI: 10.1038/s41598-024-57947-6.

[14] Tabrizi MT, Girardo M, Naqvi TZ. *In situ* transesophageal echocardiography during electrical cardioversion in patients with atrial fibrillation — safety and echocardiographic findings[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2024, 37(4): 420-427. DOI: 10.1016/j.echo.2023.11.022.

[15] Ullrich-Daub H, Daub S, Olschewski M, *et al*. Diseases of the coronary microcirculation: diagnosis and treatment[J]. Deutsch Ärztebl Int, 2023, 120(44): 739-746. DOI: 10.3238/arztebl.m2023.0205.

(编辑: 郑真真)