

基于麦迪克斯心电系统分析冠心病患者心率变异性及心电图特征与冠脉病变严重程度的相关性

查文凯¹, 冯健宏², 姚芳¹, 祝燕¹, 张留³
(芜湖市中医医院, 1. 功能一科; 2 心血管二科; 3. 院感办, 安徽 芜湖 241000)

【摘要】目的: 探讨冠心病(CAD)患者心率变异性(HRV)及心电图(ECG)特征与冠状动脉病变严重程度的相关性。**方法:** 选取收治的 72 例经冠状动脉造影确诊为 CAD 的患者作为 CAD 组, 根据 Gensini 评分中位数为轻度病变组($n=40$)和重度病变组($n=32$); 另选取同期健康体检者 30 名作为对照组。所有受试者均采用麦迪克斯心电系统进行 24 h 动态心电图检查, 分析其时域[全部 NN 间期的标准差(SDNN)、相邻 NN 间期差值的均方根(RMSSD)]、频域[低频功率(LF)、高频功率(HF)、LF/HF]HRV 指标及 ECG 特征。比较各组间指标的差异, 采用 Pearson 或 Spearman 相关分析 HRV 指标、ECG 特征与 Gensini 评分的相关性。**结果:** 与对照组相比, CAD 组患者 SDNN、RMSSD、HF 均降低($P<0.05$), LF/HF 比值升高($P<0.05$), 且重度病变组患者 SDNN、RMSSD、HF 较轻度病变组更低($P<0.05$), LF/HF 比值较轻度病变组更高($P<0.05$); CAD 组患者 ST-T 改变和复杂性室性早搏的发生率高于对照组($P<0.05$), 且重度病变组的发生率高于轻度病变组($P<0.05$); 房性早搏的发生率在 three 组对象间无统计学差异($P>0.05$)。Pearson 相关分析显示, SDNN、RMSSD 和 HF 与 Gensini 评分均呈负相关关系($P<0.05$), LF/HF 比值与 Gensini 评分呈正相关关系($P<0.05$)。Spearman 秩相关分析显示, ST-T 改变和复杂性室性早搏与 Gensini 评分也均呈正相关关系($P<0.05$), 而房性早搏与 Gensini 评分无相关性($P>0.05$)。**结论:** CAD 患者 HRV 及 ECG 特征与冠脉病变严重程度相关, 可作为评估病情的无创参考指标。

【关键词】 冠心病; 心率变异性; 心电图; 冠脉病变严重程度; 麦迪克斯心电系统

【中图分类号】 R541.4 **【文献标志码】** A

Correlation analysis of heart rate variability and electrocardiographic characteristics with coronary artery disease severity in patients based on the medex ECG system

ZHA Wen-kai¹, FENG Jian-hong², YAO Fang¹, ZHU Yan¹, ZHANG Liu³

(1. Department of Functional I; 2. Department of Cardiology II; 3. Nosocomial Infection Management Office, Wuhu Hospital of Traditional Chinese Medicine, Wuhu 241000, Anhui, China)

【Abstract】 Objective: To explore the correlation between heart rate variability (HRV), electrocardiogram (ECG) features, and the severity of coronary artery lesions in patients with coronary artery disease (CAD). **Methods:** A total of 72 elderly patients diagnosed with CAD by coronary angiography were selected as the CAD group. Based on the median Gensini score, they were divided into a mild lesion group ($n=40$) and a severe lesion group ($n=32$). Additionally, 30 healthy individuals undergoing physical examination during the same period were selected as the control group. All subjects underwent 24-hour ambulatory ECG monitoring using the Medex ECG system. Time-domain [standard deviation of all NN intervals (SDNN), root mean square difference of adjacent NN intervals (RMSSD)] and frequency-domain [low-frequency power (LF), high-frequency power (HF), LF/HF] HRV indices, as well as conventional ECG characteristics, were analyzed. Differences in these parameters among the groups were compared. Pearson or Spearman correlation analysis was used to examine the correlations between HRV indices, ECG characteristics, and the Gensini score. **Results:** Compared with the control group, patients in the CAD group showed reductions in SDNN, RMSSD, and HF ($P<0.05$), while the LF/HF ratio was increased ($P<0.05$). Moreover, the severe lesion subgroup exhibited lower SDNN, RMSSD, and HF compared to the mild lesion subgroup ($P<0.05$), and a higher LF/HF ratio than the mild lesion subgroup ($P<0.05$). The incidences of ST-T changes and complex ventricular premature beats were higher in the CAD group than in the control group ($P<0.05$), and were more

frequent in the severe lesion subgroup than in the mild lesion subgroup ($P<0.05$). No significant difference was observed in the incidence of atrial premature beats among the three groups ($P>0.05$). Pearson correlation analysis showed that SDNN, RMSSD, and HF were all negatively correlated with the Gensini score ($P<0.05$), while the LF/HF ratio was positively correlated with the Gensini score ($P<0.05$). Spearman rank correlation analysis indicated that both ST-T changes and complex ventricular premature beats were positively correlated with the Gensini score ($P<0.05$), while atrial premature beats showed no significant correlation with the Gensini score ($P>0.05$). **Conclusion:** The HRV and ECG features in CAD patients correlate with the severity of coronary artery lesions and can serve as non-invasive reference indices for assessing the condition.

【Key words】 Coronary artery disease; Heart rate variability; Electrocardiography; Coronary artery disease severity; Medex ECG system

冠心病(coronary artery disease, CAD)主要由冠状动脉粥样硬化引起,其病变严重程度直接影响患者预后与治疗策略^[1]。冠状动脉造影(coronary angiography, CAG)虽是诊断与评估病变的“金标准”,并可进行 Gensini 评分^[2],但因有创、费用高,不适用于大规模筛查或长期随访^[3]。心率变异性(heart rate variability, HRV)作为评估自主神经功能的无创指标,已广泛应用于临床^[4]。研究^[5-6]表明,CAD 患者常伴有 HRV 降低,提示自主神经失衡,并与不良心脏事件风险相关。同时,心电图(ECG)特征(如 ST-T 改变)是心肌缺血的直接体现^[7-8]。因此,结合 HRV 与 ECG 特征可能为评估冠脉病变提供更全面的无创信息。尽管已有研究探讨 HRV 或 ECG 特征与冠脉病变之间的关联,但其结果尚不一致,且多数研究仅聚焦于单一指标或特定人群,缺乏对 HRV 与 ECG 多种特征进行系统整合的分析。此外,基于新型集成化心电分析平台、同时涵盖 HRV 多域指标与典型 ECG 特征并与 Gensini 评分深入关联的研究仍较为有限。麦迪克斯心电系统能够高效完成 24 h 动态心电记录与 HRV 分析,为此提供了可靠技术支持^[9]。基于此,本研究利用该系统,分析 CAD 患者的 HRV 指标及 ECG 特征,并探讨其与 CAG 所确定的冠脉病变严重程度之间的相关性,以期为临床病情评估、风险分层及预后判断提供新的无创参考依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2021 年 1 月至 2025 年 6 月芜湖市中医医院收治的 72 例经冠状动脉造影确诊为 CAD 的患者作为 CAD 组。纳入标准:(1)基础心律为窦性心律,且 24 h 动态心电图中心室性心搏比例 $>85\%$,以确保 HRV 分析的准确性;(2)经冠状动脉造影确诊为 CAD;(3)年龄 40~80 岁,临床病历资料及影像学资料完整,可准确计算 Gensini 评分;(4)能够顺利完成 24 h 动态心电图检查,且有效记录时长 >22 h,数据可用于 HRV 分析。排除标准:(1)存在严重影响 HRV 分析的心律失常,如室性心律失常、Ⅱ度

及以上房室传导阻滞或病态窦房结综合征;(2)合并有中重度心脏瓣膜病、心包疾病或既往有心脏外科手术史;(3)近 3 个月内发生过急性心肌梗死、冠状动脉旁路移植术;(4)合并严重肝、肾功能不全、恶性肿瘤、结缔组织病;(5)近期或长期服用对自主神经功能或心率有明确影响的药物。另选取 30 名同期入院进行健康体检者作为对照组。纳入标准:(1)年龄 40~80 岁,经病史、体检及辅助检查排除 CAD 及其他严重器质性疾病;排除标准:(1)因任何原因无法配合完成 24 h 动态心电图检查;(2)存在可能影响自主神经功能或 HRV 的疾病,如严重贫血、慢性阻塞性肺疾病、帕金森病等;(3)长期或近期服用对心率及自主神经功能有明确影响的药物;(4)有酒精或药物依赖史。本研究符合国际伦理指南和当地法律法规的要求,已经获得医院伦理委员会的审批,并签署同意书。

1.2 方法

1.2.1 冠状动脉造影与 Gensini 评分 所有 CAD 组患者入组后均采用 Seldinger 法行冠状动脉造影,造影图像经专业工作站采集与评估。如图 1 中所示病例,清晰展示了冠脉走行及病变特征。由两名不知晓患者临床资料的心血管介入医师,独立分析所有入选 CAD 患者的冠状动脉造影结果。根据 Gensini 评分标准,对每处血管病变的狭窄程度(1~32 分)和所在部位的重要性(乘以相应的系数,如左主干 $\times 5$,前降支近段 $\times 2.5$ 等)进行评分。最终每位患者的 Gensini 总分为各病变血管积分之和,评分越高,代表冠状动脉病变范围越广、狭窄程度越严重^[10]。

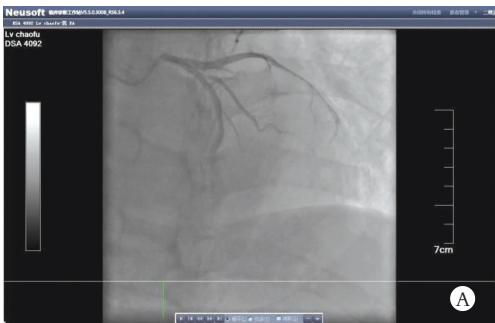




图 1 冠状动脉造影图

A. LAD 中段 50%狭窄,TIMI 血流 3 级;LCX 正常,TIMI 血流 3 级;B. RCA 正常,TIMI 血流 3 级。

1.2.2 24 h 动态心电图检查与 HRV 分析 所有受试者均佩戴麦迪克斯心电系统进行 24 h 动态心电图监测。监测期间保持日常活动,避免剧烈运动。采集的心电数据导入麦迪克斯心电分析系统,由软件自动分析并经专业医师核对修正。HRV 时域分析:选取全部正常窦性心搏间期(NN 间期)进行分析。指标包括:SDNN(全部 NN 间期的标准差)、RMSSD(相邻 NN 间期差值的均方根)。HRV 频域分析:采用快速傅里叶变换进行频谱分析。指标包括:低频功率(LF,0.04~0.15 Hz)、高频功率(HF,0.15~0.40 Hz)、LF/HF 比值。常规 ECG 特征分析:记录是否存在显著 ST 段压低(≥ 0.1 mV)或 T 波倒置,以及各类心律失常的发生情况。

1.3 分组

计算全部 CAD 患者 Gensini 评分的中位数,以此作为划分轻、重度病变的界值。轻度病变组:Gensini 评分 $\leq$ 全体患者评分中位数的患者,共 40 例。重度病变组:Gensini 评分 $>$ 全体患者评分中位数的患者,共 32 例。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 26.0 统计学软件进行数据分析。计量资料经 K-S 检验符合正态分布后,以($\bar{x} \pm s$)表示,三组间比较采用单因素方差分析(ANOVA),进一步两两比较采用 SNK- q 检验。计数资料以 $[n(\%)]$ 表示,组间比较采用独立样本 χ^2 检验或 Fisher 精确概率法,进一步两两比较采用 χ^2 分割检验。HRV 指标、ECG 特征与 Gensini 评分的相关性采用 Pearson 相关分析或 Spearman 秩相关分析。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组受试者一般资料比较

两组性别、年龄、BMI 比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。CAD 组患者 Gensini 评分为(38.51 $\pm$ 13.21)分。见表 1。

表 1 两组受试者一般资料比较 [$n(\%)$, $\bar{x} \pm s$]

组别	性别		年龄(岁)	BMI (kg/m ²)	Gensini 评分(分)
	男	女			
对照组($n=30$)	17(28.33)	13(30.95)	65.14 $\pm$ 5.82	23.25 $\pm$ 2.39	—
CAD 组($n=72$)	43(71.67)	29(69.05)	66.93 $\pm$ 6.31	23.94 $\pm$ 2.92	38.51 $\pm$ 13.21
χ^2/t 值	0.082	1.335	1.144	—	—
P 值	0.775	0.185	0.256	—	—

2.2 三组受试者 HRV 时域指标比较

三组受试者 SDNN 和 RMSSD 水平比较:重度病变组 $<$ 轻度病变组 $<$ 对照组,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 2。

表 2 三组受试者 HRV 时域指标比较($\bar{x} \pm s$,ms)

组别	SDNN	RMSSD
对照组($n=30$)	142.63 $\pm$ 25.31	38.52 $\pm$ 10.02
轻度病变组($n=40$)	118.72 $\pm$ 20.45 ^①	29.83 $\pm$ 8.71 ^①
重度病变组($n=32$)	95.42 $\pm$ 18.59 ^{①②}	22.34 $\pm$ 7.14 ^{①②}
F 值	37.467	26.949
P 值	<0.001	<0.001

① $P<0.05$,与对照组比较;② $P<0.05$,与轻度病变组比较。

2.3 三组受试者 HRV 频域指标比较

三组受试者 HF 与 LF/HF 水平比较均有统计学差异($P<0.05$),三组 LF 无统计学差异($P>0.05$);HF 比较:重度病变组 $<$ 轻度病变组 $<$ 对照组($P<0.05$);LF/HF 比值比较:重度病变组 $>$ 轻度病变组 $>$ 对照组($P<0.05$)。见表 3。

表 3 三组受试者 HRV 频域指标比较($\bar{x} \pm s$)

组别	LF (ms ²)	HF (ms ²)	LF/HF 比值
对照组($n=30$)	985.44 $\pm$ 213.37	756.82 $\pm$ 198.43	1.35 $\pm$ 0.41
轻度病变组($n=40$)	912.38 $\pm$ 215.06	525.66 $\pm$ 151.19 ^①	1.78 $\pm$ 0.52 ^①
重度病变组($n=32$)	894.18 $\pm$ 234.52	398.42 $\pm$ 132.68 ^{①②}	2.31 $\pm$ 0.68 ^{①②}
F 值	1.490	39.168	23.913
P 值	0.230	<0.001	<0.001

① $P<0.05$,与对照组比较;② $P<0.05$,与轻度病变组比较。

2.4 三组受试者常规 ECG 特征比较

ST-T 改变和复杂性室性早搏的发生率比较:重度病变组 $>$ 轻度病变组 $>$ 对照组($P<0.05$);房性早搏的发生率在 三组间无统计学差异($P>0.05$)。见表 4。

表 4 三组受试者常规 ECG 特征比较 $[n(\%)]$

组别	ST-T 改变	复杂性室性早搏	房性早搏
对照组($n=30$)	2(6.67)	1(3.33)	8(26.67)
轻度病变组($n=40$)	12(30.00) ^①	7(17.50) ^①	11(27.50)
重度病变组($n=32$)	22(68.78) ^{①②}	15(46.88) ^{①②}	13(40.63)
χ^2 值	26.940	17.769	1.860
P 值	<0.001	<0.001	0.395

① $P<0.05$,与对照组比较;② $P<0.05$,与轻度病变组比较。

2.5 HRV 指标、ECG 特征与 Gensini 评分的相关性分析

Pearson 相关分析显示,时域指标 SDNN、RMSSD 和频域指标 HF 与 Gensini 评分均呈负相关关系($P<0.05$),LF/HF 比值与 Gensini 评分均呈正相关关系($P<0.05$)。Spearman 秩相关分析显示,ST-T 改变和复杂性室性早搏与 Gensini 评分也均呈正相关关系($P<0.05$),而房性早搏与 Gensini 评分无相关性($P>0.05$)。见表 5 及图 2。

表 5 HRV 指标、ECG 特征与 Gensini 评分的相关性分析

变量	Gensini 评分	
	<i>r</i> 值	<i>P</i> 值
SDNN	-0.536 ^①	<0.001
RMSSD	-0.378 ^①	0.001
LF	-0.124 ^①	0.300
HF	-0.340 ^①	0.003
LF/HF 比值	0.742 ^①	<0.001
ST-T 改变	0.467 ^②	<0.001
复杂性室性早搏	0.350 ^②	0.004
房性早搏	0.158 ^②	0.418

①采用 Pearson 相关分析;②采用 Spearman 秩相关分析。

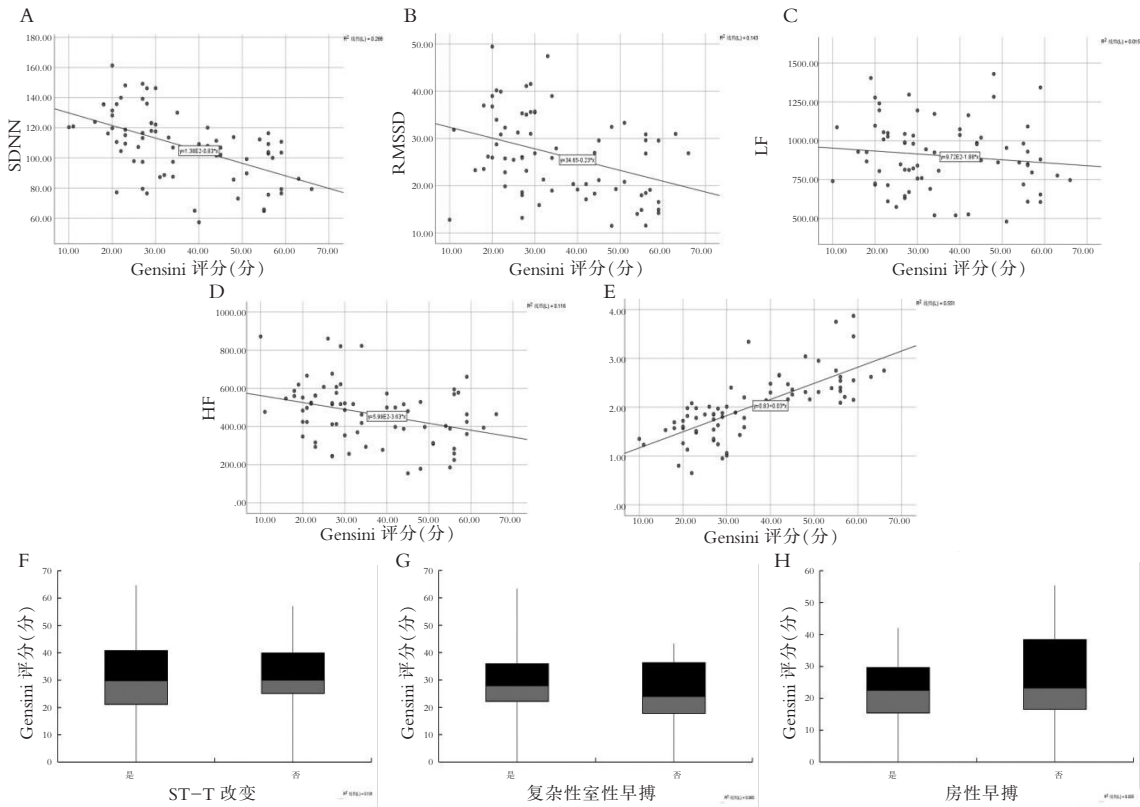


图 2 Pearson 相关分析图与 Spearman 秩相关分析相关图

A. SDNN 与 Gensini 评分的相关性分析图;B. RMSSD 与 Gensini 评分的相关性分析图;C. LF 与 Gensini 评分的相关性分析图;D. HF 与 Gensini 评分的相关性分析图;E. LF/HF 比值与 Gensini 评分的相关性分析图;F. ST-T 改变与 Gensini 评分的相关性分析图;G. 复杂性室性早搏与 Gensini 评分的相关性分析图;H. 房性早搏与 Gensini 评分的相关性分析图。

3 讨论

CAD 的高发病率与高致残率特征,使其成为重大的公共卫生问题,准确、便捷地评估冠脉病变严重程度,对于指导治疗决策、风险分层及改善预后至关重要^[11]。本研究通过基于麦迪克斯心电系统分析 HRV 及 ECG 特征,发现 HRV 各项指标在对照组、轻度病变组和重度病变组之间呈现规律性的梯度变化,其中 SDNN、RMSSD 和 HF 功率在对照组、轻度病变组和重度病变组依次递减,而 LF/HF 比值则依次递增,与 Hsu 等^[12]研究结论一致。表明随着冠脉粥样硬化程度的加重,心脏自主神经调节功能呈现进行性恶化,其特征是代表总体 HRV 和迷走神经张力的指标下降,而反映交感神经相对活性

的指标增强^[13-14]。其病理生理基础可能在于,广泛的冠状动脉粥样硬化导致心肌长期慢性缺血、缺氧,损害了心脏机械感受器和化学感受器,进而通过心-心反射影响中枢心血管调节中枢的功能,最终导致交感神经活性持续亢进,而迷走神经的保护性抑制作用则被削弱^[15-16]。本研究进一步通过相关性分析证实,SDNN、RMSSD、HF 与 Gensini 评分均呈负相关关系,而 LF/HF 比值呈正相关关系,为 HRV 作为评估冠脉病变严重程度的无创性指标提供了强有力的数据支持。但需要注意的是,LF 功率本身与 Gensini 评分无明显相关性,提示在 CAD 的发展过程中,迷走神经功能的受损是更为突出和早期的表现,而交感神经活性的绝对值变化可能受到年龄、合并用药等多种因素的混杂影响^[17]。

本研究还发现,常规 ECG 特征同样具有重要指示意义。ST-T 改变是心肌缺血的直接电生理表现,其发生率在重度病变组高达 68.78%,高于轻度病变组和对照组,且与 Gensini 评分呈正相关。说明 ECG 的缺血性改变能直观地反映冠脉供血不足的严重程度。且复杂性室性早搏的发生率也随病变加重而升高,提示在严重冠脉病变背景下,自主神经失衡与心肌缺血共同构成了不稳定的心肌电生理基质,增加了恶性心律失常的发生风险,缺血心肌细胞膜电位不稳定,易形成异位起搏点或折返环路,而交感神经的过度激活进一步降低了室颤阈值,共同构成了致命性心律失常的基质^[18-19]。这两项简单易得的 ECG 指标,为临床医生快速评估患者风险提供了重要线索。另外,值得一提的是,本研究通过严格执行纳入与排除标准,确保了研究人群的同质性与结果的可比性。在此前提下,HRV 与 ECG 特征仍与 Gensini 评分显示出明确的相关性,进一步证实了 HRV 和 ECG 特征在该群体中的评估价值。麦迪克斯系统提供了稳定、高效的分析平台,使得 HRV 这一精细指标在临床常规工作中应用更具可行性。故临床中对于 CAD 患者,尤其是那些无法或不愿接受重复冠脉造影检查者,定期进行 24 h 动态心电图检查并分析 HRV 和 ECG 特征,可作为评估病情进展、进行危险分层和调整治疗策略的有益补充手段。

综上,基于麦迪克斯心电系统分析的 CAD 患者,其 HRV 降低和特定心电图异常与冠脉病变严重程度相关。将动态心电图 HRV 分析纳入 CAD 的综合评估体系,有助于无创、便捷地评估患者自主神经功能状态和病变严重程度,为临床决策提供有价值的参考。

参考文献

[1] 张泳仪,莫伟平,刘敏霞.血清 Lp(a)、CX3CL1 水平与冠心病严重程度的关系及诱发疾病的危险因素[J].川北医学院学报,2023,38(5):656—659.

[2] 俞丽,杨玉春,马迪娜·马合苏提汗,等.基于 Gensini 评分分析新疆地区早发冠心病病变程度的危险因素[J].中西医结合心脑血管病杂志,2024,22(6):1063—1067.

[3] Qi J,Wang Y,Liu Z,*et al.* Correlation analysis of gensini score in diabetic patients with coronary heart disease[J].Reviews in Cardiovascular Medicine,2023,24(11):319.

[4] Lin IM,Lin PY,Fan SY. The effects of heart rate variability (HRV) biofeedback on HRV reactivity and recovery during and after anger recall task for patients with coronary artery disease[J].Applied Psychophysiology and Biofeedback,2022,47(2):131—142.

[5] Jug B,Vasić D,Novaković M,*et al.* The effect of aquatic exercise training on heart rate variability in patients with coronary

artery disease[J].Journal of Cardiovascular Development and Disease,2022,9(8):251.

[6] Wang J,Li F,Zheng Y. Effect of noise reduction on heart rate variability and stress response in patients with coronary artery disease after percutaneous coronary intervention[J].Noise & Health,2025,27(127):333—341.

[7] Goswami S,Choudhary R,Deora S,*et al.* The diagnostic accuracy of two-dimensional strain imaging echocardiography to detect the severity of coronary artery disease in non-ST segment elevation acute coronary syndrome[J].Indian Heart Journal,2023,75(6):409—415.

[8] Liu L,Du X,Wei X,*et al.* The combination of high-frequency QRS and ST-segment alterations during exercise stress tests enhanced the diagnostic efficacy for coronary artery disease[J].Clinical Cardiology,2024,47(3):e24254.

[9] Inoue K,Bashir MT,Warner AL,*et al.* Cardiac electrical and structural changes after iodinated contrast media administration:a longitudinal cohort analysis[J].Thyroid[®],2024,34(9):1163—1170.

[10] Wang Y,Lv Q,Li Y,*et al.* Gensini score values for predicting periprocedural myocardial infarction: an observational study analysis[J].Medicine,2022,101(29):e29491.

[11] 梁微.心脏超声造影联合血清 ADAMTS-4、OPG 评估冠心病病人冠状动脉病变程度的临床价值[J].中西医结合心脑血管病杂志,2024,22(1):133—137.

[12] Hsu YH,Jiang DY,Chen HC,*et al.* An exploratory study of the association between heart rate variability reactivity and prospective memory in a sample of coronary artery disease patients and healthy controls[J].Physiology & Behavior,2025,294:114861.

[13] 薛小琴,陈文霞,兰措卓玛,等.心率变异性对稳定性冠心病患者远期预后的预测价值[J].中华老年心脑血管病杂志,2024,26(6):614—618.

[14] 李腾飞,张大炜,田伟,等.调脉合剂对阵发房颤合并稳定性冠心病患者心率变异性及房颤负荷的影响[J].现代中医临床,2023,30(5):35—39.

[15] Wang M,Liu C,Shah A,*et al.* Association of stress-induced autonomic dysfunction with heart failure in individuals with stable coronary artery disease[J].IJC Heart & Vasculature,2025,59:101694.

[16] 张聪,安晓飞,杨瑞静,等.冠心病不稳定型心绞痛病人心率变异性、凝血功能指标与病情严重程度的相关性[J].中西医结合心脑血管病杂志,2024,22(18):3380—3383.

[17] Kiselev AR,Posnenkova OM,Karavaev AS,*et al.* Frequency-domain features and low-frequency synchronization of photoplethysmographic waveform variability and heart rate variability with increasing severity of cardiovascular diseases[J].Biomedicine,2024,12(9):2088.

[18] 廖芯,刘春燕,张辰,等.SAAHECG 对冠心病的诊断价值及与冠状动脉狭窄程度的关系探讨[J].重庆医学,2022,51(10):1719—1725,1730.

[19] Chung H,Seo J,Kim IS,*et al.* Arterial stiffness is associated with false-positive ST-segment depression in supine bicycle exercise stress echocardiography[J].Reviews in Cardiovascular Medicine,2023,24(2):47.

(收稿日期:2025—10—27 修回日期:2026—01—02)