

DOI: 10.3969/j.issn.2096-6113.2025.01.009

引用格式:杨艳丽,李颖,习诗良.大致正常心电图中心电图Tp-Te间期预测冠状动脉重度狭窄的临床研究[J].巴楚医学,2025,8(1):49-53.

大致正常心电图中心电图Tp-Te间期预测 冠状动脉重度狭窄的临床研究

杨艳丽^{1,2,3} 李颖¹ 习诗良⁴

(1. 三峡大学第一临床医学院[宜昌市中心人民医院]心电诊断科,湖北宜昌 443003; 2. 缺血性心血管病湖北省重点实验室,湖北宜昌 443003; 3. 湖北省缺血性心血管病临床医学研究中心,湖北宜昌 443003; 4. 三峡大学第一临床医学院[宜昌市中心人民医院]疼痛科,湖北宜昌 443003)

摘要: **目的:**通过分析大致正常心电图中心电图T波峰末间期(Tp-Te间期)的变化,探讨Tp-Te间期是否可用于预测冠状动脉重度狭窄。**方法:**收集2020年1月—2024年5月在宜昌市中心人民医院行冠状动脉CT血管造影检查的患者663例,其中合并前降支重度狭窄(狭窄程度 $\geq 90\%$)的患者为病例组($n=146$),完全无狭窄且无其它异常的患者为对照组($n=517$)。收集两组患者的心电图记录,测量Tp-Te间期。采用Logistic回归模型绘制受试者工作特征(ROC)曲线,计算曲线下面积(AUC),绘制约登指数曲线,明确Tp-Te间期诊断冠状动脉重度狭窄的阈值、敏感性和特异性。**结果:**与对照组相比,病例组V1[(82.91 \pm 18.73)ms vs(72.31 \pm 15.22)ms]、V2[(90.48 \pm 16.86)ms vs(84.23 \pm 13.45)ms]、V3[(90.13 \pm 16.04)ms vs(83.11 \pm 14.79)ms]、V4[(88.86 \pm 15.03)ms vs(71.12 \pm 13.94)ms]的Tp-Te间期均明显升高(均 $P<0.001$)。V1~V4的Tp-Te间期及联合预测的AUC值分别为0.691、0.582、0.573、0.714、0.633。当V4导联Tp-Te间期为79.5ms时,预测的敏感性为74.66%,特异性为77.40%,为临床预测时的最佳平衡点52.06%。**结论:**Tp-Te间期可预测重度冠状动脉狭窄,V4导联效应量最大,预测效能最高,Tp-Te间期的阈值为79.5ms。

关键词: 心电图; 冠状动脉狭窄; Tp-Te间期

中图分类号: R541.4

文献标志码: A

文章编号: 2096-6113(2025)01-0049-05

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Clinical Study on the Prediction of Severe Coronary Artery Stenosis by Tp-Te Interval in Approximately Normal Electrocardiograms

Yang Yanli^{1,2,3} Li Ying¹ Xi Shiliang⁴

(1. Department of Electrocardiogram, Yichang Central People's Hospital, The First College of Clinical Medical Science, China Three Gorges University, Yichang 443003, China; 2. Hubei Key Laboratory of Ischemic Cardiovascular Disease, Yichang 443003, China; 3. Hubei Provincial Clinical Research Center for Ischemic Cardiovascular Disease, Yichang 443003, China; 4. Department of Pain Medicine, Yichang Central People's Hospital, The First College of Clinical Medical Science, China Three Gorges University, Yichang 443003, China)

Abstract Objective: By analyzing the changes in the T wave peak-to-end interval (Tp-Te interval) in

基金项目:中央引导地方科技发展专项基金项目(2022BGE237);三峡大学科学基金项目(2022kj008);三峡大学科学专项基金项目(2023kjzx001)

作者简介:杨艳丽,主治医师,E-mail: 66901570@qq.com

通信作者:李颖,主任医师,E-mail: 1293089699@qq.com

approximately normal electrocardiograms, this study explores whether the Tp-Te interval can be used to predict severe coronary artery stenosis. **Methods:** A total of 663 patients who underwent coronary CT angiography at Yichang Central People's Hospital between January 2020 and May 2024 were collected. Among them, patients with severe stenosis ($\geq 90\%$ narrowing) of the left anterior descending artery were assigned to the case group ($n=146$), while patients with no stenosis and no other abnormalities were assigned to the control group ($n=517$). ECG records of both groups were collected, and the Tp-Te intervals were measured. Logistic regression model was used to plot the receiver operating characteristic (ROC) curve, calculate the area under the curve (AUC), and draw the Youden index curve to determine the threshold, sensitivity, and specificity of the Tp-Te interval for diagnosing severe coronary artery stenosis. **Results:** Compared with the control group, the Tp-Te intervals in V1 [(82.91 \pm 18.73) ms vs (72.31 \pm 15.22) ms], V2 [(90.48 \pm 16.86) ms vs (84.23 \pm 13.45) ms], V3 [(90.13 \pm 16.04) ms vs (83.11 \pm 14.79) ms], and V4 [(88.86 \pm 15.03) ms vs (71.12 \pm 13.94) ms] were significantly increased in the case group (all $P<0.001$). The AUC values for V1 to V4 and the combined prediction were 0.691, 0.582, 0.573, 0.714, and 0.633, respectively. At a Tp-Te interval of 79.5 ms in V4, the sensitivity for prediction was 74.66%, and the specificity was 77.40%, representing the optimal balance point for clinical prediction at 52.06%. **Conclusion:** The Tp-Te interval can predict severe coronary artery stenosis, with the largest effect size and highest predictive efficacy in V4. The threshold for the Tp-Te interval is 79.5 ms.

Keywords electrocardiogram; coronary artery stenosis; Tp-Te interval

重度冠状动脉狭窄可引起急性心肌梗死、恶性心律失常、心力衰竭,甚至猝死等严重心血管不良事件,治疗及时能够明显改善患者预后,因此重度冠状动脉狭窄的早期筛查和诊断具有重要意义。冠状动脉CT血管造影(computed tomography angiography, CTA)是冠心病非侵入性诊断的“金标准”^[1-2],但因其检查费用高、设备昂贵且存在一定的检查风险,难以用于大规模筛查。

心电图检查应用广泛且简便易行,是冠心病筛查、诊断的重要方法,但冠心病患者无心肌缺血发作时,心电图多表现为正常或大致正常。在临床工作中,静息心电图大致正常但CTA检查显示严重血管狭窄的冠心病患者并不少见,这部分患者在常规筛查中极易漏诊,直至发生心肌梗死等严重不良事件,贻误最佳诊疗时机。卢喜烈等^[3]、岳宝霞等^[4]研究认为,Tp-Te间期作为一种心电图参数,反映了心室复极的异质性,Tp-Te间期延长与心室复极不均一性增加有关,在预测致命性心律失常、心脏性猝死、冠状动脉疾病预后等方面有价值^[5]。Tp-Te间期在心电图大致正常但伴有重度冠脉狭窄患者中是否有延长,是否可以预测重度冠状动脉狭窄,最佳阈值仍不明确。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选择2020年1月—2024年5月于宜昌市中心人

民医院行CTA检查且在CTA检查前后1个月内进行过常规心电图检查的患者663例。CTA结果提示前降支最大狭窄程度 $\geq 90\%$ 的患者作为病例组($n=146$),CTA结果提示完全无狭窄的患者作为对照组($n=517$)。本研究已通过我院伦理委员会审查(批号:2024-247-01)。

纳入标准:①常规心电图检查提示心电图大致正常(依据心电图室报告,参考《黄宛临床心电图学》第6版),具体标准如下:心率:60~100次/min;P波:形态钝圆形,在I、II、aVF导联向上,aVR导联向下,肢导振幅小于0.25 mV,胸导小于0.15 mV,时限 ≤ 0.11 s;P-R间期:正常范围为0.12~0.20 s;QRS波群:时限0.06~0.10 s,肢体导联中,R波的高度在aVL导联不超过1.2 mV,在aVF导联不超过2.0 mV,胸前导联中,V1导联的R波不应超过1.0 mV,V5导联的R波不应超过2.5 mV;ST段从QRS波结束到T波开始,通常轻微向上或与等电位线平行,在肢体导联中ST段较等电位线高0.1 mV,在胸前导联中ST段高于等电位线0.3 mV,或略有压低但不超过0.05 mV,时限在0.05~0.15 s;T波形态双支圆滑不对称,顶端不显得高尖,在I、II导联中直立,T波的高度在肢体导联中不超过0.5 mV,在胸前导联中不超过1.0 mV;校正后的QT间期小于0.45 s,电轴在 -30° 到 $+90^\circ$ 之间;在胸前导联中,R/S比值自右至左逐渐增高,V1导联的R/S不大于1.0,V5导联的R/S不小于1.0。②CTA结果提示前降支最大

狭窄程度 $\geq 90\%$ 和 CTA 结果提示完全无狭窄。

排除标准:①心电图明显异常;②回旋支、右冠狭窄程度 $\geq 90\%$,但前降支最大狭窄程度 $< 90\%$;③起搏器植入术后;④心肌梗死病史;⑤CTA 检查提示图像受呼吸伪影影响出现错层;⑥CTA 提示心包积液、冠脉开口等其它异常。

1.2 观察指标

从电子病例系统中检索并收集患者的性别、年龄、身高、体重、合并疾病、体表面积等信息。体表面积^[6]采用 Mosteller 公式计算:体表面积(m^2)= $[\text{身高}(\text{cm}) \times \text{体重}(\text{kg}) / 3600]^{1/2}$ 。

心电图测量:所有心电图检查均采用标准 12 导联,速度 25 mm/s,增益 10 mm/mV。Tp-Te 间期是指从 T 波峰值到 T 波结束的时间间隔^[7],Tp-Te 间期取自 V1~V4 导联(前降支分布区)。所有 Tp-Te 间期数据均由同一名心电图专业医生测量,每个导联测量 3 次,取平均值。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 21.0 进行数据统计分析,符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用两独立样本 t 检验;计数资料以 $n(\%)$ 表示,组间比较采用卡方检验。采用 Logistic 回归模型绘制受试者工作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线,计算曲线下面积(area under the curve, AUC),评估诊断测试的效能。通过绘制约登指数曲线评估不同阈值(cutoff)下的特异性和敏感性,以及最大约登指数下的 cutoff 值^[8]。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般资料比较

病例组患者平均年龄为(63.32 \pm 17.18)岁,男性占 62.32%;对照组患者平均年龄为(59.78 \pm 21.82)岁,男性占 59.19%。两组患者年龄、性别、身体质量指数及体表面积均无明显差异(均 $P > 0.05$),见表 1。

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

项目	病例组 (n=146)	对照组 (n=517)	t/ χ^2	P
年龄/岁	63.32 \pm 17.18	59.78 \pm 21.82	1.808	0.071
男性	91(62.33)	306(59.19)	0.468	0.494
身体质量指数/ (kg/ m^2)	24.83 \pm 6.08	25.16 \pm 6.00	0.585	0.559
体表面积/ m^2	1.71 \pm 0.35	1.76 \pm 0.29	1.754	0.080

2.2 两组患者 Tp-Te 间期比较

与对照组相比,病例组患者 V1[(82.91 \pm

18.73) ms vs (72.31 \pm 15.22) ms]、V2[(90.48 \pm 16.86) ms vs (84.23 \pm 13.45) ms]、V3[(90.13 \pm 16.04) ms vs (83.11 \pm 14.79) ms]、V4[(88.86 \pm 15.03) ms vs (71.12 \pm 13.94) ms]的 Tp-Te 间期均明显升高(均 $P < 0.001$)。为了进一步比较两组数据均值之间的差异大小,通过 Cohen's d 模型计算了效应值,V1、V2、V3、V4 分别为 0.66、0.44、0.47、1.25,提示 V4 导联最大效应量,见表 2。

表 2 两组 Tp-Te 间期值及差异比较 $[(\bar{x} \pm s), ms]$

导联	病例组 (n=146)	对照组 (n=517)	t	P
V1	82.91 \pm 18.73	72.31 \pm 15.22	7.044	<0.001
V2	90.48 \pm 16.86	84.23 \pm 13.45	4.673	<0.001
V3	90.13 \pm 16.04	83.11 \pm 14.79	4.969	<0.001
V4	88.86 \pm 15.03	71.12 \pm 13.94	13.343	<0.001

2.3 V1~V4 导联的 Tp-Te 间期 ROC 曲线比较

AUC 是衡量模型整体区分能力的一个重要指标。AUC 值越接近 1,说明模型的分类效果越好。V1~V4 及联合预测的 AUC 值分别为 0.691、0.582、0.573、0.714、0.633,提示 V4 导联有更佳的预测效能,见图 1 和表 3。

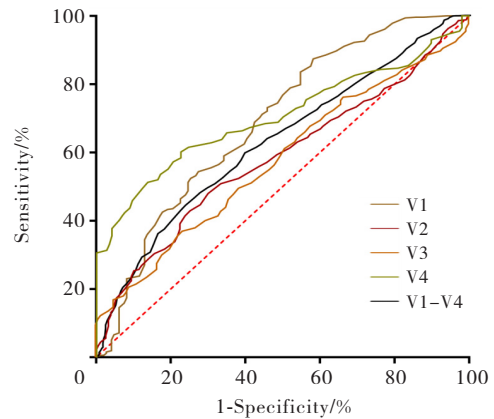


图 1 V1~V4 导联的 Tp-Te 间期及联合预测的 ROC 曲线

表 3 V1~V4 导联的 Tp-Te 间期及联合预测的 ROC 曲线相关参数

导联	AUC	标准差	95%CI	P
V1	0.691	0.025	0.640~0.742	<0.001
V2	0.582	0.025	0.534~0.631	0.002
V3	0.573	0.026	0.524~0.622	0.007
V4	0.714	0.020	0.665~0.745	<0.001
V1~V4	0.633	0.012	0.609~0.658	<0.001

2.4 V4 导联的 Tp-Te 间期约登指数曲线

以预测效能最高的 V4 导联绘制的约登指数曲线(见图 2)可以看出,当 cutoff=79.5 ms 时,约登指数最大为 52.06%,此时预测的敏感性为 74.66%,特异性为 77.40%,为临床预测时的最佳平衡点。

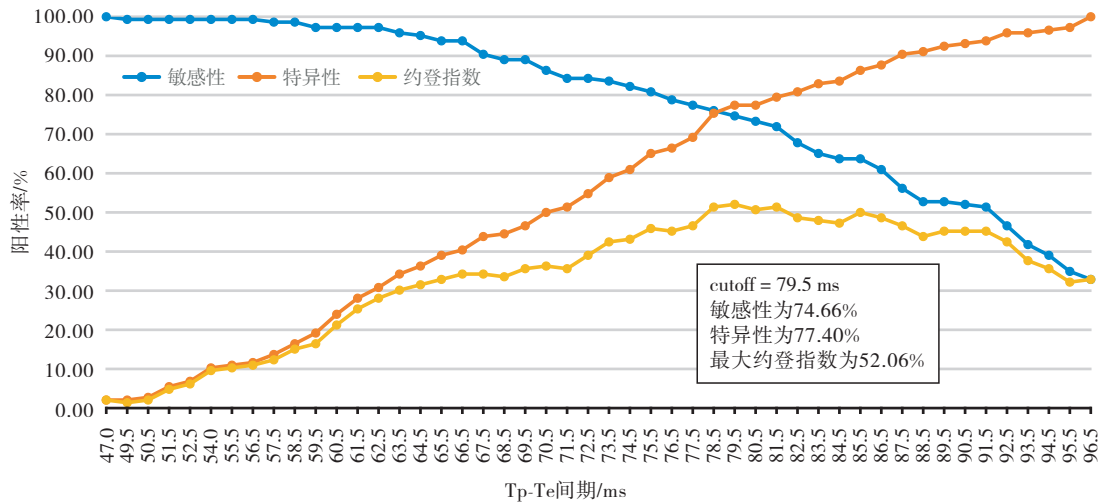


图 2 V4 导联的约登指数曲线

3 讨论

本研究结果显示, Tp-Te 间期在 V1~V4 导联中均有不同程度延长, 特别是在 V4 导联, 在 Cohen's d 模型中 V4 导联有最大效应量(1.25)。在 ROC 曲线分析中也发现, V4 导联的 AUC 最大(0.714), 提示其有最佳预测效能, 明确 Tp-Te 间期在预测心电图大致正常但伴有重度冠状动脉狭窄中有重要意义。V4 导联的约登指数曲线可看出, 当 cutoff=79.5 ms 时, 预测的敏感性为 74.66%, 特异性为 77.40%, 为临床预测时的最佳平衡点。但随着 cutoff 点不断后移, 特异性逐渐增加, 敏感性逐渐下降。当 cutoff>96.5 ms 时, 特异性为 100%, 但敏感性<32.88%。提示当 V4 导联 Tp-Te 间期>79.5 ms 时应考虑是否伴有前降支重度狭窄, 当 V4 导联 Tp-Te 间期>96.5 ms 时要高度警惕前降支重度狭窄的可能。Yilmaz 等^[9]通过分析 1 485 名土耳其健康参与者的 Tp-Te 间期, 认为正常人 Tp-Te 间期中位数为 66.0 ms, 这与我们的研究结果相符。

李汉丽等^[10]和姚丽红等^[11]分别回顾性分析了 200 例和 130 例急性心肌梗死患者, 发现心肌梗死后发生恶性心律失常事件的患者 Tp-Te 间期明显延长, 经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)后 Tp-Te 间期显著降低。毛婉^[12]分析了 108 例经 PCI 治疗的急性冠状动脉综合征患者, 证实 Tp-Te 间期的变化与心肌损伤标志物密切相关, 并且这些心电图参数的改善可以作为预测恶性心律失常和心源性猝死风险的因子。杨菲等^[13]发现, 冠心病心绞痛患者的 Tp-Te 间期、Tp-Te 间期/QT 比值等心电指标与冠脉病变严重程度呈正相关。

刘吉园等^[14]分析了 494 例接受 PCI 的 ST 段抬高性心肌梗死患者, 心率校正的 Tp-Te \geq 100 ms 组的恶性心律失常发生率显著高于 Tp-Te<100 ms 组(34.2% vs 9.3%), 提示 Tp-Te 间期的延长程度与疾病预后不良有关。何玮等^[15]在疑似冠心病患者的运动平板试验中发现, Tp-Te 间期等参数的变化与 CTA 结果有显著相关性, 其中运动平板试验和 CTA 均阳性的患者 Tp-Te 间期差值、Tp-Te 间期/QT 差值、Tp-Te 间期/(RR)1/2 差值、Tp-Te 间期/QTc 差值较阴性患者显著升高, 表明这些心电图参数的变化对冠心病的诊断可能具有重要的临床价值。Karahan 等^[16]发现, 微血管功能障碍导致的冠状动脉缺血患者的 Tp-Te 间期显著延长, 并且延长的程度与恶性室性心律失常的发生风险相关。Erdogan 等^[17]在一项 241 例回顾性单中心队列研究中发现, 非 ST 段抬高型心肌梗死患者冠状动脉疾病严重程度与 Tp-Te 间期、Tp-Te 间期/QT 关系密切, 高 Syntax 评分组(Syntax 评分是一种评估冠状动脉疾病严重程度的量表^[18])的 Tp-Te 间期为 116.6 \pm 15.8, 低 Syntax 评分组为 87.7 \pm 14.5(P <0.001)。Gómez 等^[19]基于时间扭曲指数量化 Tp-Te 间期形态的变化, 结果显示, 在动脉闭塞期间该指数呈现出随着缺血进展而逐渐增加的趋势。MozafaryBazargany 等^[20]荟萃分析证实, 冠状动脉慢流现象综合征患者的 Tp-Te 间期显著延长, 可以作为 CAT 前的诊断指标。

尽管 Tp-Te 间期的测量简单易行, 且成本低廉, 适用于大规模人群筛查, 但其临床应用还需解决几个关键问题。首先, 心电图解读的主观性可能导致 Tp-Te 间期测量的变异性, 需要标准化测量流程和专业培训以确保一致性。其次, 本研究中 V4 导联具有

最优性能,这提示特定导联的选择对疾病预测准确性至关重要。

本研究的局限性包括样本量相对较小和可能存在的测量误差。此外,我们没有考虑可能影响 Tp-Te 间期间期的其他因素,如药物使用、电解质平衡等。Yilmaz 等^[9]研究发现,Tp-Te 间期、Tp-Te 间期/QT 与年龄、左心室舒张末期直径、身体质量指数、体表面积、左室舒张末期容积等有关,建议在使用 Tp-Te 间期时应考虑这些因素。未来期待有高质量多中心临床研究,并考虑这些潜在的混杂因素,以进一步验证 Tp-Te 间期的预测效能。此外,研究还可以探索 Tp-Te 间期与其他心电图参数结合以提高预测模型的特异性和敏感性,以及其在不同人群(如不同性别、年龄和种族)中的适用性。

综上所述,本研究强调了 Tp-Te 间期作为冠状动脉重度狭窄预测工具的潜力,并明确了前降支重度狭窄的最高效预测导联和最佳临界阈值。尽管存在局限性,但这些发现为未来的研究和临床实践提供了新的参考。

参考文献:

- [1] 魏庆民,张华龙,张友良,等. CTA 钙化积分与冠状动脉造影诊断冠状动脉狭窄程度的对比研究[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2022, 14(5): 578-580.
- [2] 孙茜茹,宋方奔. 冠脉 CTA 和冠脉造影在诊断急性冠脉综合征中的价值对比分析[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)医药卫生, 2023(11):45-47.
- [3] 卢喜烈,汪剑锋. T 波峰末间期电生理基础及临床意义[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2010, 24(6): 523-524.
- [4] 岳宝霞,邢建庞,王卫云,等. 心电图 T 波峰末间期及其临床应用[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2018, 20(8): 885-887.
- [5] 古丽尼格尔·吾布力,夏木西娅·哈德尔,印纹源,等. 冠心病患者动态心电图检查中 P 波离散度、T 波峰-末间期的变化及诊断价值研究[J]. 陕西医学杂志, 2024, 53(5): 620-623.
- [6] Lue H C, Wu M H, Wang J K, et al. Normal ECG standards and percentile charts for infants, children and adolescents[J]. *Pediatr Neonatol*, 2023, 64(3): 256-273.
- [7] Li D, Weng Y B, Zhen G S, et al. Tp-Te interval and Tp-Te/QT ratio are valuable tools in predicting poor outcome in sepsis patients[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9: 879085.
- [8] 李雪迎. 诊断能力评价的统计学方法——准确度与约登指数[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2011, 19(4): 213.
- [9] Yilmaz M, Kayancicek H, Gözel N, et al. Spotlights on some electrocardiographic paradigms: How should we evaluate normal reference values of Tp-Te interval, Tp-Te dispersion and Tp-Te/QT ratio? [J]. *Adv Clin Exp Med*, 2020, 29(9): 1091-1099.
- [10] 李汉丽,李易,杨菲. 老年急性心肌梗死患者心电图 T 波峰末-间期的表现及其与预后的关系[J]. 海南医学, 2023, 34(11): 1577-1581.
- [11] 姚丽红,王亚亚,张媛. AMI 并发室性心律失常患者 QTc、Tp-Tec 间期变化及其与心功能的相关性[J]. 分子诊断与治疗杂志, 2023, 15(12): 2075-2078.
- [12] 毛婉. 急性冠状动脉综合征 PCI 前后 QTd、HRV、Tp-Te 间期、J 波的变化情况及意义研究[D]. 合肥:安徽医科大学, 2019.
- [13] 杨菲,李汉丽,李易. 冠心病心绞痛患者 QTd、Tp-Te 间期、Tp-Te/QT 比值、HRV 变化及其与冠脉病变程度的关系[J]. 海南医学, 2022, 33(21): 2726-2729.
- [14] 刘吉园,牛小伟,张益铭,等. 急性 ST 段抬高型心肌梗死患者介入治疗前后 T 波峰末间期的变化过程及其与恶性室性心律失常的关系[J]. 中国循环杂志, 2017, 32(2): 132-136.
- [15] 何玮,陈长曦,孙丽卿,等. 疑似冠心病患者运动平板试验中 QT 间期及 T 波峰末间期的变化研究[J]. 中国全科医学, 2016, 19(9): 1010-1015.
- [16] Karahan M Z, Aktan A, Güzel T, et al. The effect of coronary slow flow on ventricular repolarization parameters[J]. *J Electrocardiol*, 2023, 78: 39-43.
- [17] Erdogan A, Akyol B, Özkan E, et al. Tp-Te interval and Tp-Te/QT ratio predict coronary artery disease severity in non-ST segment elevation acute myocardial infarction[J]. *Jarem*, 2022, 12(3): 143-149.
- [18] 王鸣,干倩,翟馨蓉,等. 定量血流储备分数指导的 SYNTAX-II 评分对老年多支血管病变患者预后的预测价值[J]. 老年医学与保健, 2024, 30(3): 774-780.
- [19] Gómez N, Ramírez J, Martín-Yebra A, et al. T-wave peak-to-end changes quantified by time-warping predicts ventricular fibrillation in a porcine myocardial infarction model[J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2024, PP(99): 1-10
- [20] MozafaryBazargany M, Samimisedeh P, Gholami N, et al. Diagnostic indicators of ECG for coronary slow flow phenomenon: a systematic review and meta-analysis[J]. *Arch Acad Emerg Med*, 2024, 12(1): e34.

[收稿日期 2024-07-17]