

## · CMVD 专题研究 ·

## 冠状动脉微血管疾病患者心室复极指标的变化研究

扫描二维码  
查看更多蒋红英<sup>1</sup>, 程功<sup>1</sup>, 王依阳<sup>1</sup>, 任园园<sup>1</sup>, 赵慧<sup>1</sup>, 梁宸源<sup>1</sup>, 陈亮<sup>1</sup>, 许百灵<sup>2</sup>

作者单位: 1.710068陕西省西安市, 陕西省人民医院心血管内二科 2.65211美国哥伦比亚, 密苏里

哥伦比亚大学核科学暨工程研究所

通信作者: 程功, E-mail: xianchenggong@163.com

**【摘要】** 目的 探讨冠状动脉微血管疾病 (CMVD) 患者心室复极指标的变化。方法 选取2019年7月—2022年3月陕西省人民医院收治的因心绞痛、心前区不适症状就诊的患者90例为研究对象, 其中30例患者的冠状动脉CT血管造影 (CTA) 或冠状动脉造影 (CAG) 检查显示心外膜冠状动脉狭窄50%~90%, 将其纳入CAD组; 30例患者的冠状动脉CTA或CAG检查显示心外膜冠状动脉狭窄<50%, 且单光子发射计算机断层成像术 (SPECT) 测定的冠状动脉血流储备 (CFR) <2.0, 将其纳入CMVD组; 30例患者的冠状动脉CTA或CAG检查显示心外膜冠状动脉狭窄<50%, 且SPECT的测定CFR≥2.0, 将其纳入对照组。收集三组患者的一般资料、血脂指标, 采用12导联心电图检查检测心室复极指标 [QT间期、校正的QT间期 (QTc)、QT间期离散度 (QTd)、JT间期、校正的JT间期 (JTc)、JT间期离散度 (JTd)]。结果 CAD组低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 高于对照组和CMVD组 ( $P<0.05$ )。CAD组和CMVD组QT间期、QTc、QTd、JT间期、JTc长于对照组, CMVD组JTd长于CAD组和对照组 ( $P<0.05$ )。结论 CMVD患者心电图表现为QT间期、QTc、QTd、JT间期、JTc及JTd延长。

**【关键词】** 冠状动脉微血管疾病; QT间期; QT间期离散度; JT间期; JT间期离散度**【中图分类号】** R 541.4 **【文献标识码】** A DOI: 10.12114/j.issn.1008-5971.2024.00.068

## Changes in Ventricular Repolarization Indexes in Patients with Coronary Microvascular Disease

JIANG Hongying<sup>1</sup>, CHENG Gong<sup>1</sup>, WANG Yiyang<sup>1</sup>, REN Yuanyuan<sup>1</sup>, ZHAO Hui<sup>1</sup>, LIANG Chenyuan<sup>1</sup>, CHEN Liang<sup>1</sup>, XU Bailing<sup>2</sup>

1.Department of Cardiology, Shaanxi Provincial People's Hospital, Xi'an 710068, China

2.Institute of Nuclear Science and Engineering, University of Missouri-Columbia, Columbia 65211, USA

Corresponding author: CHENG Gong, E-mail: xianchenggong@163.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the changes in ventricular repolarization indexes in patients with coronary microvascular disease (CMVD). **Methods** A total of 90 patients with angina pectoris and precordial discomfort symptoms admitted to Shaanxi Provincial People's Hospital from July 2019 to March 2022 were selected as the study subjects. Among them, 30 patients, coronary artery CT angiography (CTA) or coronary angiography (CAG) examination showed that the epicardial coronary artery stenosis was 50% to 90%, and they were included in the CAD group; 30 patients, coronary artery CTA or CAG examination showed that the epicardial coronary artery stenosis was < 50%, and single-photon emission computed tomography (SPECT) showed that the coronary flow reserve (CFR) was < 2.0, and they were included in the CMVD group; 30 patients' coronary artery CTA or CAG examination showed that the epicardial coronary artery stenosis was < 50%, and SPECT showed that the CFR was ≥ 2.0, and they were included in the control group. The general data and blood lipid indexes of patients in the three groups were collected, and the ventricular repolarization indexes [QT interval, QT interval correction (QTc), QT interval dispersion (QTd), JT interval, JT interval correction (JTc), JT interval dispersion (JTd)] were detected by 12-lead electrocardiography. **Results** The low density lipoprotein cholesterol (LDL-C) in the CAD group was higher than that in the control group and CMVD group ( $P < 0.05$ ). The QT interval, QTc, QTd, JT interval, and JTc in the CAD group and CMVD group were longer than those in the control group, and JTd in the CMVD group was longer than that in the CAD group and control group ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** The electrocardiogram of CMVD patients shows prolongation of QT interval, QTc, QTd, JT interval, JTc, and JTd.

**【Key words】** Coronary microvascular disease; QT interval; QT interval dispersion; JT interval; JT interval dispersion

基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目 (2022JQ-891); 陕西省人民医院科技发展孵化项目 (2021YJY-17); 陕西省人民医院科技创新领军人才项目 (2022LJ-04)

冠状动脉微血管疾病 (coronary microvascular disease, CMVD) 的概念是由欧洲心脏病学会于2013年首次提出,即在多种致病因素作用下,冠状前小动脉和冠状小动脉的结构或功能异常所致的劳力性心绞痛或心肌缺血的临床综合征<sup>[1]</sup>。在具有胸痛症状但冠状动脉造影 (coronary angiography, CAG) 检查显示非阻塞性冠状动脉疾病 (coronary artery disease, CAD) 患者中, CMVD的发生率为45%~60%<sup>[2]</sup>。随着循证医学和介入心脏病学的发展, CMVD的临床意义日益受到人们的重视。目前, 对于CMVD的研究多集中在其发病机制上, 而对CMVD患者心肌电活动异常的相关报道较少。心肌缺血会损伤心室复极, 导致室性心律失常的发生风险升高<sup>[3]</sup>。CMVD的微血管功能障碍和由CAD诱导的缺血对心室复极产生的影响是否相当尚不清楚, 值得进一步研究。既往探索心肌缺血对心室复极影响的研究主要针对CAD患者<sup>[4-5]</sup>, 关于CMVD患者的报道很少<sup>[6]</sup>。本研究旨在探讨CMVD患者心室复极指标的变化, 以期CMVD患者病情分析及治疗提供依据。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

选取2019年7月—2022年3月陕西省人民医院收治的因心绞痛、心前区不适症状就诊的患者90例为研究对象, 其中30例患者的冠状动脉CT血管造影 (CT angiography, CTA) 或CAG检查显示心外膜冠状动脉狭窄50%~90%, 将其纳入CAD组; 30例患者的冠状动脉CTA或CAG检查显示心外膜冠状动脉狭窄<50%, 且单光子发射计算机断层成像术 (single-photon emission computed tomography, SPECT) 测定的冠状动脉血流储备 (coronary flow reserve, CFR) <2.0<sup>[7]</sup>, 将其纳入CMVD组; 30例患者的冠状动脉CTA或CAG检查显示心外膜冠状动脉狭窄<50%, 且SPECT测定的CFR≥2.0, 将其纳入对照组。

纳入标准: (1) 年龄18~85岁; (2) 可配合完成12导联心电图检查、冠状动脉CTA或CAG、SPECT检查。排除标准: (1) 合并先天性心脏病、肥厚型心肌病、急性ST段抬高型心肌梗死、心力衰竭、肺源性心脏病、严重心律失常以及非心脏原因所致继发性ST段及T波改变等疾病者; (2) 伴有近期大的创伤、自身免疫性疾病、脑血管疾病、甲状腺功能异常、意识不清或精神失常、恶性肿瘤、颈椎病患者; (3) 妊娠期或哺乳期妇女; (4) 严重肝肾功能不全及电解质紊乱者; (5) 心电图记录质量较差, 无法分析者; (6) 临床资料不全者; (7) 服用已知会影响QT间期、JT间期的

药物者; (8) 冠状动脉CTA或CAG检查显示心外膜冠状动脉狭窄>90%。本研究通过陕西省人民医院医学伦理委员会备案 [伦理审查批件号: (2022) 伦审第 (R021) 号], 患者均对本研究知情同意。

### 1.2 资料收集

收集三组患者性别、年龄、BMI、吸烟史、合并高血压情况、合并糖尿病情况、入院时血脂指标 [总胆固醇 (total cholesterol, TC)、三酰甘油 (triacylglyceride, TG)、高密度脂蛋白胆固醇 (high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇 (low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)]。

### 1.3 心室复极指标

入院时使用12导联同步心电图机 (走纸速度25 mm/s, 振幅10 mm/mV) 检测患者心室复极指标, 具体如下: 患者取仰卧位, 静息状态下操作, 要求基线平稳清楚且无期前收缩, 所有心电图最终以电子版形式归档存储, 将心电图下载后经Photoshop软件扩大4倍后进一步测量各指标。每一导联连续测量3个QT间期 (除外T、U波分界不清的导联), 记录其平均值, 排除3个导联以上T波不清晰及T波不明显的导联; 测量3个RR间期并取其平均值; 根据T波与等电位线交点确定QT间期终点, 若T波后出现U波或交点难以分辨时, 以T波下降支切线与等电位线交点为准。心室复极指标测量方法: (1) QT间期为心电图QRS波群的起点至T波终点; 为了减少心率对QT间期的影响, 采用Bazett公式<sup>[8]</sup>进行校正, 即校正的QT间期 (QT interval correction, QTc) = QT间期/√R-R间期; QT间期离散度 (QT interval dispersion, QTd) 为心电图观察范围内最大QT间期与最小QT间期之差。(2) JT间期是从QRS波群终点至T波终点, 校正的JT间期 (JT interval correction, JTc) = JT间期/√R-R间期; JT间期离散度 (JT interval dispersion, JTd) 为心电图观察范围内最大JT间期与最小JT间期之差。

### 1.4 统计学方法

采用SPSS 26.0统计学软件处理数据。计量资料经Kolmogorov-Smirnov检验符合正态分布, 以 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 多组间比较采用单因素方差分析, 组间两两比较采用LSD-*t*检验; 计数资料以相对数表示, 组间比较采用 $\chi^2$ 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 一般资料

三组性别、年龄、BMI、吸烟史、合并高血压者占比、合并糖尿病患者占比比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 见表1。

表1 三组一般资料比较  
Table 1 Comparison of general data among the three groups

组别	例数	性别 (男/女)	年龄 ( $\bar{x} \pm s$ , 岁)	BMI ( $\bar{x} \pm s$ , kg/m <sup>2</sup> )	吸烟史 [n (%)]	高血压 [n (%)]	糖尿病 [n (%)]
对照组	30	22/8	60.2 ± 12.2	24.2 ± 2.3	11 (36.7)	17 (56.7)	10 (33.3)
CAD组	30	21/9	64.7 ± 11.8	24.7 ± 5.6	11 (36.7)	21 (70.0)	7 (23.3)
CMVD组	30	24/6	63.4 ± 9.3	25.2 ± 2.2	10 (33.3)	18 (60.0)	10 (33.3)
$\chi^2 (F)$ 值		0.818	1.305 <sup>a</sup>	0.568 <sup>a</sup>	0.097	1.229	0.952
<i>P</i> 值		0.664	0.277	0.569	0.953	0.541	0.621

注: CAD=冠状动脉疾病, CMVD=冠状动脉微血管疾病; <sup>a</sup>表示 $F$ 值。

## 2.2 血脂指标

三组TC、TG、HDL-C比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ )。三组LDL-C比较,差异有统计学意义( $P<0.05$ );其中CAD组LDL-C高于对照组和CMVD组,差异有统计学意义( $P<0.05$ );对照组与CMVD组LDL-C比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ ),见表2。

表2 三组血脂指标比较( $\bar{x} \pm s$ , mmol/L)

Table 2 Comparison of blood lipid indexes among the three groups

组别	例数	TC	TG	HDL-C	LDL-C
对照组	30	3.43 ± 0.77	1.42 ± 0.65	1.03 ± 0.24	1.74 ± 0.55
CAD组	30	3.74 ± 1.02	1.61 ± 1.31	1.02 ± 0.22	2.35 ± 0.72 <sup>a</sup>
CMVD组	30	3.52 ± 0.91	1.45 ± 0.91	1.12 ± 0.25	1.84 ± 0.69 <sup>b</sup>
F值		0.933	0.317	1.600	7.383
P值		0.397	0.729	0.208	0.001

注:TC=总胆固醇,TG=三酰甘油,HDL-C=高密度脂蛋白胆固醇,LDL-C=低密度脂蛋白胆固醇;<sup>a</sup>表示与对照组比较, $P<0.05$ ;<sup>b</sup>表示与CAD组比较, $P<0.05$ 。

## 2.3 心室复极指标

三组QT间期、QTc、QTd、JT间期、JTc、JTd比较,差异有统计学意义( $P<0.05$ );其中,CAD组和CMVD组QT间期、QTc、QTd、JT间期、JTc长于对照组,CMVD组JTd长于CAD组和对照组,差异有统计学意义( $P<0.05$ );CAD组与CMVD组QT间期、QTc、QTd、JT间期、JTc比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ ),见表3。

表3 三组心室复极指标比较( $\bar{x} \pm s$ , ms)

Table 3 Comparison of ventricular repolarization indexes among the three groups

组别	例数	QT间期	QTc	QTd	JT间期	JTc	JTd
对照组	30	378 ± 26	399 ± 34	44 ± 12	378 ± 26	319 ± 39	39 ± 4
CAD组	30	400 ± 29 <sup>a</sup>	423 ± 24 <sup>a</sup>	53 ± 17 <sup>a</sup>	399 ± 29 <sup>a</sup>	343 ± 25 <sup>a</sup>	41 ± 11
CMVD组	30	415 ± 30 <sup>a</sup>	428 ± 30 <sup>a</sup>	56 ± 18 <sup>a</sup>	414 ± 30 <sup>a</sup>	347 ± 29 <sup>a</sup>	48 ± 12 <sup>ab</sup>
F值		22.720	15.144	9.088	22.634	7.039	13.129
P值		<0.001	0.001	0.011	<0.001	0.001	0.001

注:QTc=校正的QT间期,QTd=QT间期离散度,JTc=校正的JT间期,JTd=JT间期离散度;<sup>a</sup>表示与对照组比较, $P<0.05$ ;<sup>b</sup>表示与CAD组比较, $P<0.05$ 。

## 3 讨论

冠状动脉微循环指直径<150  $\mu$ m的冠状动脉微动脉、毛细血管和微静脉构成的微循环系统<sup>[9]</sup>。CMVD的发生主要与冠状动脉微血管功能或结构异常、血管外因素等病理生理机制有关<sup>[10]</sup>。目前关于CMVD的研究多集中在发病机制方面,而关于CMVD患者心肌缺血导致心肌电活动异常的相关报道较少。因此,本研究采用12导联心电图检查分析CMVD患者心室复极指标的变化。

既往研究显示,性别、年龄、吸烟史、高血压、糖尿病及高脂血症等与冠心病的发生存在相关性,且冠心病的发病趋于年轻化可能与人们生活习惯发生改变有关<sup>[11]</sup>。本研究

结果显示,三组一般资料比较无统计学差异,减少了一般资料对心室复极指标造成的干扰。本研究结果还显示,CAD组LDL-C高于对照组和CMVD组,对照组与CMVD组LDL-C比较差异无统计学意义,提示LDL-C升高与冠状动脉大血管病变相关。其机制可能为<sup>[12]</sup>:(1)内皮损伤学说:血脂升高时,LDL-C进入冠状动脉内膜后转换为氧化修饰型低密度脂蛋白胆固醇(oxidative low density lipoprotein cholesterol, ox-LDL-C),进而加重冠状动脉内膜损伤;同时,单核细胞和淋巴细胞以清除ox-LDL-C为目的进入内皮细胞而成为巨噬细胞,其吞噬ox-LDL-C后成为泡沫细胞,而这是动脉粥样硬化的早期病理基础;此外,巨噬细胞氧化LDL-C后通过一系列连锁反应产生强致动脉粥样硬化细胞因子并促进纤维斑块形成。(2)脂质浸润学说:血液中脂质成分渗入动脉血管内壁后可诱发局部产生炎症反应,继而脂质增生成为病灶,脂质成分中尤以胆固醇影响为著。内皮损伤与脂质浸润目前被公认为动脉粥样硬化的始动因素。

在心肌缺血缺氧过程中,心脏电生理也会发生相应变化,而心电图检查能够评估心脏电生理的变化,进而反映心肌损伤程度<sup>[13]</sup>。QT间期是心室除极开始至复极结束的时间,QTc能够更准确地评价心肌电生理状况。当心肌发生损伤时,心电图QTc会延长<sup>[14]</sup>。有研究证实,急性ST段抬高型心肌梗死患者QTc延长,且与预后不良有关<sup>[15-16]</sup>。研究证实,QTd可反映心室肌之间复极化的差异程度<sup>[17-18]</sup>。QT间期、QTc是心室除极的总时间,而JT间期消除了心室除极的影响,可以更准确地反映心室复极情况<sup>[19]</sup>。本研究结果显示,CAD组和CMVD组QT间期、QTc、QTd、JT间期、JTc长于对照组,CAD组与CMVD组QT间期、QTc、QTd、JT间期、JTc比较差异无统计学意义,提示CMVD与CAD对心肌能量代谢的影响相似,分析原因为:心肌缺血时,心肌能量代谢障碍通过影响心肌细胞膜钠-钾泵离子转运而导致缺血心肌复极延迟,形成正常心肌先复极、缺血心肌后复极的现象<sup>[20]</sup>。本研究结果显示,CMVD组JTd长于CAD组和对照组,分析原因为:CAD一般为单支血管病变较多,仅影响局限心肌供血区,其对心肌复极的影响相对较小;而CMVD常是多支血管病变,影响更大范围的心肌供血区,所以CMVD可导致大部分缺血心肌复极化延迟。但本研究未纳入心外膜冠状动脉狭窄>90%的患者,未能检测严重血流阻塞对心室复极的影响,这也可能是造成CMVD组JTd比CAD组更长的原因。

## 4 结论

综上所述,CMVD患者心电图表现为QT间期、QTc、QTd、JT间期、JTc及JTd延长。但本研究尚存在一定局限性:纳入病例数少,结果可能出现偏差;本研究没有调整药物治疗对心脏复极产生的影响;未比较其他电生理参数。今后可扩大样本量进一步研究其他指标,如QRS波群和T波持续时间、透壁复极化梯度、心室晚期电位和潜在心脏事件与CMVD的关系。

作者贡献:蒋红英进行文章的构思与设计,文献/资料收集、整理,撰写及修订论文;程功、王依阳、任园园、赵慧、梁宸源、陈亮进行文章的可行性分析;许百灵负责技术

指导;程功负责文章的质量控制及审校,并对文章整体负责、监督管理。

本文无利益冲突。

## 参考文献

- [1] Task Force Members, MONTALESCOT G, SECHTEM U, et al. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the task force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology [J]. *Eur Heart J*, 2013, 34 (38): 2949–3003. DOI: 10.1093/eurheartj/eh296.
- [2] SARA J D, WIDMER R J, MATSUZAWA Y, et al. Prevalence of coronary microvascular dysfunction among patients with chest pain and nonobstructive coronary artery disease [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2015, 8 (11): 1445–1453. DOI: 10.1016/j.jcin.2015.06.017.
- [3] CARVALHO G D, ARMAGANIJAN L V, LOPES R D, et al. Relationship between ventricular repolarization parameters and the inducibility of ventricular arrhythmias during electrophysiological study in patients with coronary artery disease [J]. *Rev Assoc Med Bras*, 2022, 68 (1): 61–66. DOI: 10.1590/1806-9282.20210806.
- [4] AL ALWANY A A. Effect and benefit of percutaneous coronary intervention in chronic total occlusion on ventricular repolarization: QT correction and dispersion [J]. *J Med Life*, 2022, 15 (8): 1025–1030. DOI: 10.25122/jml-2022-0207.
- [5] LEE H Y, MUN H S, WI J, et al. Early repolarization and myocardial scar predict poorest prognosis in patients with coronary artery disease [J]. *Yonsei Med J*, 2014, 55 (4): 928–936. DOI: 10.3349/ymj.2014.55.4.928.
- [6] DOSE N, MICHELSEN M M, MYGIND N D, et al. Ventricular repolarization alterations in women with angina pectoris and suspected coronary microvascular dysfunction [J]. *J Electrocardiol*, 2018, 51 (1): 15–20. DOI: 10.1016/j.jelectrocard.2017.08.017.
- [7] HSU B, HU L H, YANG B H, et al. SPECT myocardial blood flow quantitation toward clinical use: a comparative study with <sup>13</sup>N-ammonia PET myocardial blood flow quantitation [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2017, 44 (1): 117–128. DOI: 10.1007/s00259-016-3491-5.
- [8] TIKKANEN J T, KENTTA T, PORTHAN K, et al. Risk of sudden cardiac death associated with QRS, QTc, and JTc intervals in the general population [J]. *Heart Rhythm*, 2022, 19 (8): 1297–1303. DOI: 10.1016/j.hrthm.2022.04.016.
- [9] 中华医学会心血管病学分会基础医学组, 中华医学会心血管病学分会介入心脏病学组, 中华医学会心血管病学分会女性心脏健康学组, 等. 冠状动脉微血管疾病诊断和治疗的中国专家共识 [J]. *中国循环杂志*, 2017, 32 (5): 421–430. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2017.05.003.
- [10] CHEN C, WEI J, ALBADRI A, et al. Coronary microvascular dysfunction—epidemiology, pathogenesis, prognosis, diagnosis, risk factors and therapy [J]. *Circ J*, 2016, 81 (1): 3–11. DOI: 10.1253/circj.CJ-16-1002.
- [11] YUSUF S, JOSEPH P, RANGARAJAN S, et al. Modifiable risk factors, cardiovascular disease, and mortality in 155 722 individuals from 21 high-income, middle-income, and low-income countries (PURE): a prospective cohort study [J]. *Lancet*, 2020, 395 (10226): 795–808. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)32008-2.
- [12] WILLIAMS J K, SUKHOVA G K, HERRINGTON D M, et al. Pravastatin has cholesterol-lowering independent effects on the artery wall of atherosclerotic monkeys [J]. *J Am Coll Cardiol*, 1998, 31 (3): 684–691. DOI: 10.1016/s0735-1097(97)00537-8.
- [13] KRAMER T, HOENEMANN J N, WEIS H, et al. Electrocardiographic changes during sustained normobaric hypoxia in patients after myocardial infarction [J]. *Sci Rep*, 2023, 13 (1): 17452. DOI: 10.1038/s41598-023-43707-5.
- [14] UEHARA H, TAGUCHI D, OSANAI T, et al. Naphazoline intoxication with transient QT prolongation and acute myocardial injury [J]. *J Cardiol Cases*, 2023, 29 (1): 11–14. DOI: 10.1016/j.jccase.2023.09.004.
- [15] YEH K H, CHANG Y T, JUANG J J, et al. Combined corrected QT interval and growth differentiation factor-15 level has synergistic predictive value for long-term outcome of angiographically confirmed coronary artery disease [J]. *Int J Clin Pract*, 2021, 75 (7): e14180. DOI: 10.1111/ijcp.14180.
- [16] WATTOO M A, TABASSUM M, BHUTTA K R, et al. Correlation of prolonged corrected QT interval with ventricular arrhythmias and in-hospital mortality among ST-elevation myocardial infarction patients: a mystique or lucidity? [J]. *Cureus*, 2020, 12 (12): e12356. DOI: 10.7759/cureus.12356.
- [17] ODENING K E, VAN DER LINDE H J, ACKERMAN M J, et al. Electromechanical reciprocity and arrhythmogenesis in long-QT syndrome and beyond [J]. *Eur Heart J*, 2022, 43 (32): 3018–3028. DOI: 10.1093/eurheartj/ehac135.
- [18] 张键, 王成. 12导联同步心电图检测心肌梗死患者QT间期离散度 [J]. *实用心脑血管病杂志*, 2000, 7 (2): 81–83.
- [19] CLASEN L, ANGENDOHR S, BECHER S, et al. Cardiac ischemia and reperfusion in mice: a comprehensive hemodynamic, electrocardiographic and electrophysiological characterization [J]. *Sci Rep*, 2023, 13 (1): 5693. DOI: 10.1038/s41598-023-32346-5.
- [20] GUO X H, CAO W J, YAO J M, et al. Cardioprotective effects of tilianin in rat myocardial ischemia-reperfusion injury [J]. *Mol Med Rep*, 2015, 11 (3): 2227–2233. DOI: 10.3892/mmr.2014.2954.

(收稿日期: 2023-11-05; 修回日期: 2024-02-02)

(本文编辑: 陈素芳)