

· 论著 · 胸部 ·

急性冠脉综合征与心率变异性的相关性分析及其临床风险阈值研究*

赵清清¹ 吴帆^{2,*} 邱妍妍³ 王吉静³

1.许昌市中心医院康复医院心电图科(河南 许昌 461000)

2.许昌市中心医院心内科(河南 许昌 461000)

3.河南省人民医院心肺功能科(河南 郑州 450003)

【摘要】目的 探讨心率变异性(HRV)参数与急性冠脉综合征(ACS)之间的关系,评估HRV指标对ACS风险的预测价值并确定关键风险阈值。**方法** 本研究纳入265例受试者,其中ACS组155例,健康对照组110例。收集所有受试者24小时动态心电图数据以分析HRV时域指标(SDNN、SDANN、rMSSD、pNN50)和频域指标(VLF、LF、HF)。采用t检验、Mann-Whitney U检验比较组间差异,通过单因素及多因素Logistic回归分析HRV参数与ACS发病率的相关性,并应用限制性立方样条(RCS)模型探索SDNN与ACS风险的非线性关系及阈值点。**结果** ACS组患者的SDNN、pNN50、VLF、LF、HF均低于正常对照组($P<0.05$),其中SDNN和LF的差异尤为显著($P<0.001$)。Logistic回归分析显示,SDNN与ACS发病率呈显著负相关(未调整OR=0.96, 95%CI: 0.95~0.97;调整性别年龄后OR=0.97, 95%CI: 0.95~0.98; P 均 <0.001)。RCS分析揭示SDNN与ACS风险呈非线性L型关系($P<0.05$),阈值点值为91.825 ms (95%CI: 91.083~92.568)。当SDNN低于此阈值时,每降低1ms, ACS风险增加1.9%(OR=0.981, 95%CI: 0.965~0.998, $P=0.0284$)。LF在未调整模型中与ACS相关($P=0.048$),但在调整性别和年龄后没有统计学意义($P=0.838$)。此外,性别和年龄也是ACS的显著独立危险因素($P<0.001$)。**结论** ACS患者存在明显的自主神经功能紊乱,表现为HRV的普遍降低。SDNN是评估ACS风险的独立预测因子,其风险阈值为91.825ms,可作为临床筛查和风险评估的有效生物标志物,且临床干预应考虑性别和年龄差异。

【关键词】 急性冠脉综合征; 心率变异性; 自主神经功能

【中图分类号】 R541.4

【文献标识码】 A

【基金项目】 河南省医学科技攻关计划联合共建项目(LHGJ20191389)

DOI:10.3969/j.issn.1009-3257.2026.5.034

Correlation Analysis of Acute Coronary Syndrome and Heart Rate Variability and Research on Its Clinical Risk Threshold*

ZHAO Qing-qing¹, WU Fan^{2,*}, QIU Yan-yan³, WANG Ji-jing³.

1.Department of Electrocardiography,Xuchang Central Hospital Rehabilitation Hospita, Xuchang 461000, Henan Province, China

2.Department of Cardiology,Xuchang Central Hospital, Xuchang 461000, Henan Province, China

3.Department of Cardiopulmonary Function,Henan Provincial People's Hospital, Zhengzhou 450003, Henan Province, China

Abstract: Objective To explore the relationship between heart rate variability (HRV) parameters and acute coronary syndrome (ACS), evaluate the predictive value of HRV indicators on ACS risk, and determine the key risk threshold. **Methods** 265 subjects were included in this study, including 155 in the ACS group and 110 in the healthy control group. All subjects were collected for 24-hour dynamic ECG data to analyze HRV time domain indicators (SDNN, SDANN, rMSSD, pNN50) and frequency domain indicators (VLF, LF, HF). The differences between groups were compared by t-test and Mann-Whitney U test, and the correlation between HRV parameters and ACS incidence was analyzed by single-factor and multi-factor Logistic regression, and the nonlinear relationship between SDNN and ACS risk and threshold points were explored using a restricted cubic spline (RCS) model. **Results** The SDNN, pNN50, VLF, LF and HF of patients in the ACS group were lower than those in the normal control group ($P<0.05$), and the differences between SDNN and LF were particularly significant ($P<0.001$). Logistic regression analysis showed that SDNN was significantly negatively correlated with ACS incidence (unadjusted OR=0.96, 95%CI: 0.95~0.97; OR=0.97, 95%CI: 0.95~0.98; P was all <0.001). RCS analysis revealed that SDNN and ACS risk showed a nonlinear L-shaped relationship ($P<0.05$), with a threshold point value of 91.825 ms (95%CI: 91.083~92.568). When SDNN is below this threshold, ACS risk increases by 1.9% for every 1 ms reduction (OR=0.981, 95%CI: 0.965~0.998, $P=0.0284$). LF was associated with ACS in the unadjusted model ($P=0.048$), but was not statistically significant after adjusting for gender and age ($P=0.838$). In addition, gender and age were also significant independent risk factors for ACS ($P<0.001$). **Conclusion** There is obvious autonomic dysfunction in patients with ACS, which is manifested as a general reduction in HRV. SDNN is an independent predictor of evaluating ACS risk, with a risk threshold of 91. 825 ms, can be used as a valid biomarker for clinical screening and risk assessment, and clinical interventions should consider gender and age differences.

Keywords: Acute Coronary Syndrome; Heart Rate Variability; Autonomic Function

急性冠脉综合征(acute coronary syndrome, ACS)是冠心病中最严重和危急的类型,不仅对患者的生理和心理健康造成了重大影响,还成为全球心血管疾病死亡的主要原因之一,给社会带来了巨大的经济负担^[1]。尽管目前对ACS的治疗手段包括药物治疗、介入治疗和外科手术等,但在早期识别和预后评估方面仍存在明显的局限性,因此开展相关研究显得尤为必

要。近年来,心率变异性(heart rate variability, HRV)作为一种生物标志物引起了学术界的广泛关注。HRV降低通常反映了交感神经活性增强和/或迷走神经活性减弱,这种失衡被认为与恶性心律失常、心肌缺血和心源性猝死的风险增加密切相关。已有研究表明,HRV的降低与心脏事件的发生风险增加存在显著关联,这为评估ACS的风险提供了新的视角^[2]。

【第一作者】赵清清,女,主治医师,主要研究方向:心电图相关。E-mail: zhaoqing20151109@163.com

【通讯作者】吴帆,男,主任医师,主要研究方向:心内相关。E-mail: zhaoqing20151109@163.com

尽管已有研究证实冠心病患者存在HRV下降，但对于HRV特定参数(如SDNN、LF)与ACS风险之间的具体量化关系，特别是SDNN作为ACS特异性风险预测因子的价值，以及其风险临界点的研究尚不充分。本研究旨在通过病例对照研究，深入分析HRV多项参数与ACS的关系，并利用回归模型和限制性立方样条曲线，明确HRV对ACS风险的预测价值及关键临界点，为ACS的早期识别和风险分层提供新的理论依据和实用工具。

1 资料与方法

1.1 研究对象 采用病例对照研究设计，连续选取2022年7月至2023年12月期间我院收治的ACS患者155例作为ACS组。

纳入标准：符合《急性冠脉综合征诊断和治疗指南》的诊断标准；成功接受经皮冠状动脉介入治疗(PCI)且术后诊断狭窄>75%的血管被定义为病变血管。排除标准：合并严重心力衰竭、肝肾功能不全；患有心房颤动、安装心脏起搏器；存在甲状腺功能异常等影响自主神经功能的疾病。同期选取健康体检者110例作为对照组。本研究经本院伦理委员会批准，所有受试者均签署知情同意书。

1.2 研究方法

1.2.1 基线资料收集 记录所有受试者的性别、年龄等一般人口学资料。

1.2.2 HRV检测与分析 所有受试者均佩戴24小时动态心电图记录仪。记录完成后，由专业软件自动分析并导出HRV时域和频域指标，包括：SDNN(全部正常窦性心搏间期的标准差)、SDANN(全程记录中每5分钟窦性心搏间期平均值的标准差)、rMSSD(相邻N-N间期差值的均方根)、pNN50(相邻N-N间期差值>50ms的个数占总数的百分比)、VLF(极低频功率)、LF(低频功率)、HF(高频功率)。

1.3 统计学方法 使用SPSS 26.0(IBM)和R软件进行数据分析。计量资料符合正态分布以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示，组间比较采用独立样本t检验；非正态分布资料以中位数(四分位间距)[M (IQR)]表示，组间比较采用Mann-Whitney U检验

或Kruskal-Wallis H检验。计数资料以例数(百分比)[n(%)]表示，组间比较采用 χ^2 检验。采用单因素及多因素Logistic回归分析HRV参数与ACS风险的关系，计算比值比(OR)及其95%置信区间(CI)。采用限制性立方样条(RCS)模型拟合SDNN与Logistic(ACS)之间的非线性关系，并计算阈值点。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组基线资料与HRV指标比较 共纳入265例受试者，ACS组155例(58.5%)，对照组110例(41.5%)。由表1可知，ACS组中男性比例(71.6% vs 40.0%)和平均年龄(63.1 ± 10.6 vs 53.0 ± 13.3 岁)均显著高于对照组(P 均 <0.001)。在HRV指标上，ACS组的SDNN、pNN50、VLF、LF、HF均显著低于对照组($P<0.05$)，其中SDNN和LF的降低最为显著($P<0.001$)。而SDANN和rMSSD在两组间无统计学差异($P>0.05$)。

2.2 SDNN与ACS发病风险的Logistic回归及阈值分析 如表2所示，单因素Logistic回归显示SDNN与ACS风险显著负相关($OR=0.96$, 95% CI: $0.95 \sim 0.97$, $P<0.001$)。在调整了性别和年龄这两个强混淆因素后，SDNN仍然是ACS的独立保护因素(调整后 $OR=0.97$, 95%CI: $0.95 \sim 0.98$, $P<0.001$)，即SDNN每降低1ms，患ACS的风险增加3%。

为进一步探究其关系，我们绘制了调整性别和年龄后的限制性立方样条曲线(图1)。结果显示，SDNN与ACS风险之间存在显著的非线性L型关系(非线性 $P<0.05$)。阈值效应分析(表3)确定拐点为91.825ms(95% CI: $91.083 \sim 92.568$)。当拐点右侧($SDNN \geq 91.825ms$)时，其变化与ACS风险无关($OR=1$, $P=1$)；当拐点左侧($SDNN < 91.825ms$)时，SDNN每降低1 ms，ACS风险增加1.9%($OR=0.981$, 95% CI: $0.965 \sim 0.998$, $P=0.0284$)。

2.3 LF与ACS发病风险的Logistic回归 如表4所示，单因素Logistic回归显示LF在单因素分析中与ACS风险相关($P=0.048$)，但在调整性别和年龄后，其关联性消失($P=0.838$)。

表1 正常对照组与ACS组基线资料与HRV指标比较

变量	总例数(n=265)	正常(n=110)	ACS(n=155)	P
性别, n (%)				<0.001
男	155(58.5)	44(40)	111(71.6)	
女	110(41.5)	66(60)	44(28.4)	
年龄, 岁	58.9 ± 12.8	53.0 ± 13.3	63.1 ± 10.6	<0.001
SDNN, Mean±SD	113.1 ± 29.3	127.7 ± 19.0	102.7 ± 30.9	<0.001
SDANN, Mean±SD	46.7 ± 14.3	47.1 ± 12.1	46.4 ± 15.6	0.682
rMSSD, Mean±SD	27.4 ± 10.2	28.0 ± 8.7	27.0 ± 11.2	0.42
pNN50, Median (IQR)	5.0(2.0, 8.0)	5.0(3.0, 8.0)	4.0(1.1, 8.5)	0.012
VLF, Mean±SD	1093.1 ± 646.1	971.2 ± 334.0	1179.7 ± 786.4	0.009
LF, Median (IQR)	271.0(175.6, 440.4)	319.0(223.8, 467.3)	219.3(134.1, 408.6)	<0.001
HF, Median (IQR)	131.2(83.0, 215.9)	146.8(102.5, 231.5)	116.5(62.8, 200.1)	0.004

表2 SDNN与ACS发病风险的Logistic回归分析

变量	总例数	事件数(%)	单因素分析OR(95%CI)	P值	多因素分析(调整性别、年龄)OR(95%CI)	P值
SDNN	265	155(58.5)	0.96(0.95~0.97)	<0.001	0.97(0.95~0.98)	<0.001

注：调整协变量为：性别和年龄。

表4 LF与ACS发病风险的Logistic回归分析

变量	总例数	事件数 (%)	单因素分析OR (95%CI)	P值	多因素分析(调整性别、年龄)OR (95%CI)	P值
LF	265	155(58.5)	0.78(0.61~1)	0.048	0.97(0.73~1.29)	0.838

注：调整协变量为：性别和年龄。

表3 SDNN对ACS风险的阈值效应分析

项目	数值/OR(95%CI)	P值
拐点估计 (Estimate_Breakpoint)	91.825(91.083, 92.568)	NA
拐点右侧效应量 (Effect_Size_1)	1(0, Inf)	1
拐点左侧效应量 (Effect_Size_2)	0.981(0.965, 0.998)	0.0284

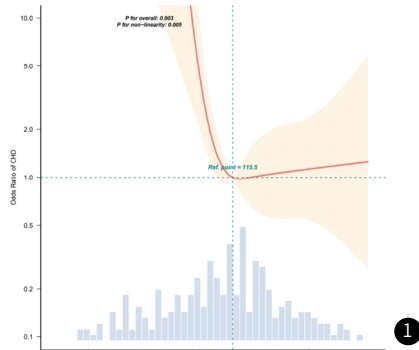


图1 SDNN与ACS发病风险的限制性立方样条曲线。RCS曲线，调整协变量为性别和年龄，总体P值<0.05，非线性P值<0.05，说明二者为非线性关系(L型关系)。

3 讨论

ACS是冠状动脉病变引发的一组临床症状，对患者的生理和心理健康造成了显著影响，且其高发病率和死亡率使其成为一个重要的公共卫生问题^[1,3]。目前，ACS的治疗手段多样，包括药物治疗、介入治疗以及外科手术，但在早期识别和预后评估方面仍存在诸多局限。因此，深入研究ACS的相关生物标志物及其早期识别方法，具有重要的临床意义。

急性冠脉综合征(ACS)在不同性别中的表现存在明显差异，女性往往在心血管疾病的发病年龄上晚于男性，且在临床表现上常常呈现更多非典型症状^[4]。而老年ACS患者由于生理功能的退化和多种共病的影响，其疾病表现往往不典型，导致ACS的早期识别延误^[5]。研究表明，在ACS发作时，老年患者往往伴随更高的合并症发生率，如糖尿病、高血压和肾功能不全等，这些合并症不仅加重了ACS的病程，还显著影响了患者的预后^[6]。本研究对基础资料进行分析，发现ACS组在男性比例平均年龄均显著高于对照组，因此对临床干预应考虑性别和年龄差异。

既往有研究表明，HRV作为评估自主神经系统功能的重要指标，其在ACS患者中的预测价值逐渐受到重视。一项针对145名接受经皮冠状动脉介入治疗(PCI)的男性ACS患者的研究发现，出院前的HRV参数显著低于未发生主要临床事件(MCE)的患者，这表明较低的HRV可能预示着不良预后^[7]。此外，HRV的不同参数(如SDNN、rMSSD、LF和HF)在成功再灌注后有所改善，提示HRV监测可能在ACS患者的管理中具有潜在的临床应用价值。也有研究表明，HRV的降低与心血管疾病的发病风险密切相关^[8]，尤其是在急性心肌梗死和心绞痛患者中，HRV的降低通常与不良预后相关联^[9]。另有研究则探讨了性别在HRV与ACS患者健康结果中的影响，结果发现女性在ACS后心率较高和HRV较低，这可能与自主神经功能较差相关^[10]。本研究通过系统分析证实，ACS患者普遍存在自主神经功能损害，其HRV多项指标(SDNN、pNN50、LF、HF)均显著低于健康人群，这与既往研究结果相一致。自主神经失衡，特别是迷走神经张力减弱和交感神经过度激活，可能促进冠状动脉粥样硬化斑块的不稳定、破裂及血栓形成，最终触发ACS。

本研究最重要的发现是明确了SDNN与ACS风险之间存在非

线性L型关系，并成功确定了其风险阈值为91.825ms。该发现具有重要的临床意义：(1)风险分层价值:91.825ms可作为一个潜在的临床决策临界点。当患者的SDNN值高于91.825ms时，其ACS风险处于一个相对稳定且较低的平台期，SDNN的进一步升高并未带来额外的保护效益。反之，一旦SDNN值跌破此临界点，ACS风险显著增加，SDNN每降低1ms，风险增加约1.9%，应被视为高危人群，并接受更积极的一级或二级预防干预。(2)精准预测：在低风险区间(SDNN ≥91.825ms)，HRV的波动对风险影响不大；而一旦进入高风险区间(SDNN < 91.825ms)，风险随HRV降低而急剧上升。这种非线性关系解释了为何简单的线性回归可能低估低HRV人群的实际风险。(3)SDNN的优越性：在调整混杂因素后，SDNN保持了强大的独立预测能力，而LF的关联性则消失。这表明SDNN作为一项综合性的时域指标，其评估自主神经总体的能力可能比某些频域指标更具稳定性和临床实用性。(4)与既往研究对比：以往研究多将SDNN<100 ms视为异常，但我们的研究通过更精确的RCS模型将风险临界值精确到了约92ms，这表明即使SDNN处于100 ms附近的“灰色地带”，其风险可能已被显著放大。

综上所述，急性冠脉综合征的高发病率和死亡率使其成为一个重要的公共健康问题，而HRV作为一种潜在的生物标志物，可能在风险评估中发挥重要作用。本研究结果表明，ACS患者存在显著的自主神经功能失调，其特征为HRV的普遍下降。SDNN被确认为ACS的独立预测因子，且与ACS风险呈现非线性的L型关系，风险阈值为91.825ms。临床实践中，将SDNN值低于91.825ms可作为临床筛查心血管高危人群的有效临界值，并有助于早期预警及风险分层，从而为制定个体化的防治和治疗策略提供支持。

参考文献

[1] Rao SV, O'Donoghue ML, Ruel M, et al. 2025 ACC/AHA/ACEP/NAEMSP/SCAI guideline for the management of patients with acute coronary syndromes: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on clinical practice guidelines[J]. Circulation, 2025, 151(13): e771-e862.

[2] Cygankiewicz I, Zareba W. Heart rate variability[M]. Handbook of Clinical Neurology, 2013, 117: 379-393.

[3] Overbaugh KJ. Acute coronary syndrome[J]. Am J Nurs, 2009, 109(5): 42-52; quiz 53.

[4] Chapagain Koirala P, Sah RK, Sherpa K, et al. Acute myocardial infarction in women, a study on risk factors, angiographic features and outcomes[J]. J Nepal Health Res Counc, 2024, 21(3): 491-497.

[5] Gaede L, Möllmann H. The elderly patient with acute coronary syndrome[J]. Dtsch Med Wochenschr, 2021, 146(1): 48-57.

[6] Ayesta A, Bonanad C, Díez-Villanueva P, et al. Ethical considerations in elderly patients with acute coronary syndrome[J]. Rev Cardiovasc Med, 2022, 23(2): 55.

[7] Pernaie Seetharam S, Shankar Ms V, Udupa K, et al. Prognostic value of heart rate variability in acute coronary syndrome[J]. J Basic Clin Physiol Pharmacol, 2023, 34(3): 337-347.

[8] Feng J, Wang A, Gao C, et al. Altered heart rate variability depend on the characteristics of coronary lesions in stable angina pectoris[J]. Anatol J Cardiol, 2015, 15(6): 496-501.

[9] Iliadis C, Spieker M, Kavsur R, et al. "Get with the Guidelines Heart Failure Risk Score" for mortality prediction in patients undergoing MitraClip[J]. Clin Res Cardiol, 2021, 110(12): 1871-1880.

[10] Scovelle AJ, Oldenburg B, Taylor CB, et al. Resting heart rate and heart rate variability in the year following acute coronary syndrome: how do women fare?[J]. Heart Lung Circ, 2021, 30(1): 128-134.

(收稿日期: 2025-12-09)
(校对编辑: 翁佳鸿)
(排版编辑: 刘淮嘉)