

本文引用: 张泽丹, 包维为, 刘东林. 心力衰竭合并心房颤动患者心率变异性与右心功能障碍的相关性[J]. 中国动脉硬化杂志, 2025, 33(10): 885-891. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2025.10.008.

[文章编号] 1007-3949(2025)33-10-0885-07

· 临床研究 ·

## 心力衰竭合并心房颤动患者心率变异性与右心功能障碍的相关性

张泽丹, 包维为, 刘东林

中国人民解放军联勤保障部队第九〇〇医院健康医学科, 福建省福州市 350025

**[摘要]** [目的] 探讨射血分数保留的心力衰竭(HFpEF)合并心房颤动(AF)患者心率变异性(HRV)与右心功能障碍(RVD)的关系。[方法] 选取本院自2022年1月1日至2024年12月31日期间收治的128例HFpEF合并AF患者作为研究对象,根据右心功能评估结果将患者分为右心功能障碍组( $n=53$ )和右心功能正常组( $n=75$ )。采用Spearman相关评估HRV参数与右心功能参数的相关性。以HRV参数为自变量,以是否发生RVD为因变量,构建多因素广义线性混合效应模型。采用限制性立方样条探究HRV参数与RVD发生率之间的剂量-反应关系。通过ROC曲线评估HRV参数及其联合检测在RVD诊断中的价值。[结果] 右心功能障碍组HRV参数(SDNN、SDANN、RMSSD、PNN50、LF和HF)和右心功能参数(TAPSE、FAC和S')水平低于右心功能正常组( $P<0.05$ )。线性分析结果显示,HRV参数与右心功能参数之间存在显著正相关( $P<0.05$ )。多因素广义线性混合效应模型分析结果显示,SDNN、SDANN、RMSSD、PNN50、LF及HF均与RVD的发生率呈负相关关系( $\beta$ 分别为-0.465、-0.205、-0.559、-0.293、-0.732、-0.147,  $P<0.05$ )。限制性立方样条模型分析结果显示,HRV参数与RVD的发生率呈现出显著的非线性关系( $P<0.05$ )。HRV参数联合检测的AUC值为0.946, 敏感度和特异度分别为93.56%、94.57%。[结论] HFpEF合并AF患者的HRV与RVD的发生率之间存在负相关关系,这一发现为临床评估和治疗提供了重要的理论依据。

[关键词] 心力衰竭; 心房颤动; 心率变异性; 右心功能障碍

[中图分类号] R5

[文献标识码] A

### Correlation between heart rate variability and right ventricular dysfunction in patients with heart failure and atrial fibrillation

ZHANG Zedan, BAO Weili, LIU Donglin

Department of Health Care Medicine, the 900th Hospital of the Joint Logistic Support Force of the Chinese People's Liberation Army, Fuzhou, Fujian 350025, China

**[ABSTRACT]** **Aim** To study the correlation between heart rate variability (HRV) and right ventricular dysfunction (RVD) in patients with heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF) combined with atrial fibrillation (AF).

**Methods** 128 patients with HFpEF and AF admitted to our hospital from January 1, 2022 to December 31, 2024 were selected as the research subjects. Based on the results of right heart function assessment, the patients were divided into two groups: the right ventricular dysfunction group ( $n=53$ ) and the normal right ventricular function group ( $n=75$ ). Spearman correlation was employed to assess the correlation between HRV parameters and right ventricular function parameters. A multi-factor generalized linear mixed-effects model was constructed, with HRV parameters as independent variables and RVD as the dependent variable. Restricted cubic splines were used to investigate the dose-response relationship between HRV parameters and the incidence of RVD. Additionally, the diagnostic value of HRV parameters and combined detection for RVD was analyzed using the ROC curve. **Results** The levels of HRV parameters (SDNN, SDANN, RMSSD, PNN50, LF and HF) and right ventricular function parameters (TAPSE, FAC and S') in the right ventricular dysfunction group were significantly lower than those in the normal right ventricular function group ( $P<0.05$ ). Linear analysis revealed a significant positive correlation between HRV parameters and right ventricular function parameters ( $P<0.05$ ). Multifactor generalized linear mixed-effects model analysis demonstrated that SDNN, SDANN, RMSSD, PNN50,

[收稿日期] 2025-01-09

[修回日期] 2025-04-27

[作者简介] 张泽丹,硕士,副主任医师,主要从事老年病学健康管理研究,E-mail:arzzh78@163.com。

LF and HF were negatively correlated with the incidence of RVD (the  $\beta$  coefficients were  $-0.465$ ,  $-0.205$ ,  $-0.559$ ,  $-0.293$ ,  $-0.732$ , and  $-0.147$ , respectively,  $P < 0.05$ ). Restricted cubic spline model analysis indicated a significant nonlinear relationship between HRV parameters and the incidence of RVD ( $P < 0.05$ ). The AUC value of combined detection of HRV parameters was 0.946, with sensitivity and specificity of 93.56% and 94.57%, respectively.

**Conclusion** There is a negative correlation between HRV and the incidence of RVD in patients with HFpEF combined with AF.

This result offers a critical theoretical foundation for clinical assessment and therapeutic strategies.

**[KEY WORDS]** heart failure; atrial fibrillation; heart rate variability; right ventricular dysfunction

心房颤动 (atrial fibrillation, AF) 和心力衰竭 (heart failure, HF) 作为两种最常见的慢性心血管疾病, 其高患病率正随着全球人口老龄化的加剧而愈发显著<sup>[1-2]</sup>。这两种疾病不仅各自独立存在, 还常常合并发生, 它们在病理生理层面相互交织, 形成了一种协同促进的恶性循环<sup>[3-4]</sup>。射血分数保留的心力衰竭 (heart failure with preserved ejection fraction, HFpEF), 作为 HF 的一种特殊类型, 其特点在于左心室射血分数相对保留, 却仍伴有明显的临床症状和体征。有研究表明, 至少三分之一的 HFpEF 患者同时合并 AF<sup>[5]</sup>。因此, 针对 HFpEF 合并 AF 的患者, 及早进行病情评估与判断具有至关重要的意义。心率变异性 (heart rate variability, HRV) 作为评估心脏自主神经功能的无创且重复性良好的定量指标, 能够量化多种心脏及非心脏疾病的风险, 对于疾病的早期发现和风险预测具有重要意义<sup>[6-7]</sup>。在临幊上, 24 h 动态心电图监测被广泛用于检测 HRV, 通过时域和频域指标的综合分析, 能够全面地评估患者的 HRV 状况<sup>[8]</sup>。有研究明确指出, HRV 的异常变化不仅预示着心血管疾病风险的增加, 还与靶器官的潜在损伤紧密相关, 是心血管疾病的重要预测因子<sup>[9]</sup>。右心功能障碍 (right ventricular dysfunction, RVD) 在 HFpEF 患者中较为常见, 且是影响其预后的重要因素<sup>[10]</sup>。有研究显示, AF 可能是 RVD 的一个重要诱因<sup>[11]</sup>。在 AF 时进行心脏复律能够显著改善右心室的纵向收缩功能, 这一发现进一步佐证了 AF 可能通过直接影响右心室的纵向性能, 进而对其收缩功能造成直接损害<sup>[12]</sup>。目前, 关于 HFpEF 合并 AF 患者的 HRV 与 RVD 的相关性研究较少。因此, 本研究旨在深入分析 HFpEF 合并 AF 患者的 HRV 特征, 并探究其与 RVD 之间的潜在关联, 为 HFpEF 合并 AF 的诊疗过程提供更为坚实的科学依据。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究对象

选取本院自 2022 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月

31 日期间收治的 128 例 HFpEF 合并 AF 患者作为研究对象。根据右心功能评估<sup>[13]</sup>结果, 将患者分为右心功能障碍组 ( $n = 53$ ) 和右心功能正常组 ( $n = 75$ )。本研究方案已获得本院伦理委员会的正式批准 (批准编号: 20210705), 且所有参与研究的患者均已按照要求签署了知情同意书。纳入标准: (1) 符合 HFpEF 诊断标准的住院患者<sup>[14]</sup>; (2) 经心电图或者 24 h 动态心电图确诊 AF 发作史; (3) 年龄  $\geq 60$  岁且 NYHA 心功能分级为 II ~ IV 级。排除标准: (1) 伴有心源性休克、致命性心律失常; (2) 伴有恶性肿瘤、严重肝肾疾病和精神疾病的患者; (3) 患有先天性心脏疾病的患者。

本研究所需样本量计算公式为  $N = Z^2 x [Px(1-P)]E^2$ ,  $N$  为样本量,  $Z$  为统计量, 置信区间为 95% 时,  $Z = 1.96$ ,  $E$  为误差值 (本研究误差值在 5% 以内, 取 4.6%),  $P$  为概率值 (取 0.05), 计算得出样本量为 132, 本研究共纳入 128 例患者, 误差在样本容量的 5% 以内, 满足实验要求。

### 1.2 临床资料收集

对纳入研究的 128 例患者的详细临床资料进行了系统性记录整理。这些资料涵盖患者的年龄、性别、体质指数 (body mass index, BMI)、腰臀比、收缩压、舒张压、心率、NYHA 心功能分级、吸烟史、饮酒史以及是否存在高血压、糖尿病、冠心病、高脂血症等慢性疾病。相关定义和标准: (1) 吸烟史定义: 每日吸烟数量达到或超过 10 支, 且累计时长不少于 5 年; (2) 饮酒史定义: 每周饮酒  $\geq 3$  天且累计时长不少于 5 年; (3) 高血压定义: 在符合标准血压测量规范的环境与操作条件下, 收缩压  $\geq 140$  mmHg 和 (或) 舒张压  $\geq 90$  mmHg; (4) 糖尿病定义: 空腹血糖  $\geq 7.0$  mmol/L 或口服葡萄糖耐量试验 2 h 血糖  $\geq 11.1$  mmol/L; (5) 冠心病定义: 经冠状动脉造影检查明确显示, 左主干、前降支、回旋支、右冠状动脉等主要冠状动脉血管, 或其重要分支血管的内径存在狭窄性病变, 且狭窄程度  $\geq 50\%$ ; (6) 高脂血症定义: 总胆固醇 (total cholesterol, TC)  $> 6.22$  mmol/L、甘油三酯 (triglyceride, TG)  $> 2.26$  mmol/L、低密度脂

蛋白胆固醇 (low density lipoprotein cholesterol, LDLC) >4.14 mmol/L。

### 1.3 实验室指标检测

采集所有患者于清晨空腹状态下的静脉血样本,利用迈瑞 BC-5180 全自动五分类血细胞分析仪检测全血样本红细胞计数 (red blood cell count, RBC)、白细胞计数 (white blood cell count, WBC)、血小板 (platelet, PLT)、血红蛋白 (hemoglobin, HGB); 利用迈瑞 BS-600M 全自动生化分析仪检测血清天冬氨酸转氨酶 (aspartate aminotransferase, AST)、丙氨酸转氨酶 (alanine aminotransferase, ALT)、白蛋白 (albumin, ALB)、血清肌酐 (serum creatinine, SCr)、血尿素氮 (blood urea nitrogen, BUN)、尿酸 (uric acid, UA)、TC、TG、LDLC、高密度脂蛋白胆固醇 (high density lipoprotein cholesterol, HDLC); 利用罗氏 cobas e411 型全自动电化学发光免疫分析仪检测血清 N 末端脑钠肽前体 (N-terminal pro-brain natriuretic peptide, NT-proBNP)。

### 1.4 超声心动图检查

使用 Philips EPI 彩色多普勒超声心动仪进行心脏彩超检查,探头频率为 1~5 MHz, 对每个关键指标均进行 3~5 个连续心动周期的精确测定, 并计算这些测量值的平均值。右心收缩功能参数包括右房室瓣环平面收缩期偏移 (tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE)、右心室分数面积变化 (RV fractional area change, FAC) 及右房室瓣环收缩期峰值速度 (S')。右心舒张功能参数包括右心舒张早期三尖瓣血流速度峰值 (E)、右心舒张晚期三尖瓣血流速度峰值 (A)、E/A, 以及三尖瓣环侧壁舒张早期速度峰值 (E') 和晚期速度峰值 (A')、E'/A'、E/E'。

### 1.5 HRV 检测

采用 GE 医疗(中国)设备公司所生产的 C7201A092 动态心电记录仪开展 HRV 检测。所有患者均完成了 24 h 动态心电图检查, 并成功采集 HRV 参数。时域性指标包括正常窦性 RR 间期的标准差 (standard deviation of normal to normal intervals, SDNN)、相邻 RR 间期差值的均方根 (root mean square of successive differences, RMSSD)、RR 间期的平均值标准差 (standard deviation of the average of normal to normal intervals, SDANN)、相邻 RR 之差大于 50 ms 的个数占整个窦性心搏个数的百分比 (percentage of the number of interval differences of successive normal-to-normal RR intervals greater than 50 ms among the total number of RR intervals, PNN50); 频域分析则深

入探索了 HRV 在不同频率成分上的分布, 主要包括低频 (low frequency, LF)、高频 (high frequency, HF) 及 LF/HF 比值。

### 1.6 统计学分析

利用 SPSS 22.0 软件对收集到的相关数据进行分析。对于符合正态分布的计量资料, 以  $\bar{x} \pm s$  表示; 对于计数资料, 以例数 (%) 表示。组间比较  $\chi^2$  检验和 *t* 检验。采用 Spearman 相关评估 HRV 参数与右心功能参数的相关性。以 HRV 参数为自变量, 以是否发生 RVD 为因变量, 同时考虑其他潜在的混杂因素 (年龄、性别、BMI、腰臀比、收缩压、舒张压、心率、NYHA 心功能分级、吸烟史、饮酒史以及是否存在高血压、糖尿病、冠心病、高脂血症), 构建多因素广义线性混合效应模型。采用限制性立方样条探究 HRV 参数与 RVD 发生率之间的剂量-反应关系。采用 ROC 曲线分析 HRV 参数及其联合检测对于 RVD 的诊断价值。 $P < 0.05$  表示差异具有统计学意义。

## 2 结 果

### 2.1 临床资料比较

两组患者的年龄、性别、BMI、腰臀比、收缩压、舒张压、心率、吸烟史、饮酒史、高血压、糖尿病、冠心病、高脂血症以及 RBC、WBC、PLT、HGB、ALB、UA、TC、TG、HDLC、LDLC 差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 而 NYHA 心功能分级、AST、ALT、SCr、BUN 以及 NT-proBNP 差异具有统计学意义 ( $P < 0.05$ ; 表 1)。

表 1. 两组临床资料比较

Table 1. Comparison of clinical data between the two groups

项目	右心功能 正常组 (n=75)	右心功能 障碍组 (n=53)	统计值	P
年龄/岁	75.16±2.91	74.39±2.83	1.491	0.138
男性/女性/[例(%)]	42(56.00)/ 33(44.00)	29(54.72)/ 24(45.28)	0.021	0.886
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	24.28±3.42	24.35±3.57	0.112	0.911
腰臀比	0.89±0.15	0.91±0.18	0.684	0.496
收缩压/mmHg	139.93±13.72	140.52±12.64	0.247	0.805
舒张压/mmHg	75.92±5.48	74.16±5.36	1.806	0.073
心率/(次/分)	80.53±6.54	80.04±6.29	0.424	0.672
NYHA 心功能分级/ [例(%)]			12.286	0.002
Ⅱ级	37(49.33)	13(24.53)		

续表

项目	右心功能 正常组 (n=75)	右心功能 障碍组 (n=53)	统计值	P
Ⅲ级	23(30.67)	15(28.30)		
Ⅳ级	15(20.00)	25(47.17)		
吸烟史/[例(%)]	39(52.00)	28(52.83)	0.009	0.926
饮酒史/[例(%)]	34(45.33)	22(41.51)	0.185	0.668
高血压/[例(%)]	43(57.33)	31(58.49)	0.017	0.896
糖尿病/[例(%)]	30(40.00)	20(37.74)	0.067	0.796
冠心病/[例(%)]	27(36.00)	18(33.96)	0.057	0.812
高脂血症/[例(%)]	22(29.33)	14(26.42)	0.131	0.718
RBC/( $\times 10^{12}$ L $^{-1}$ )	4.53 $\pm$ 1.62	4.68 $\pm$ 1.59	0.520	0.604
WBC/( $\times 10^9$ L $^{-1}$ )	7.31 $\pm$ 1.49	7.26 $\pm$ 1.46	0.189	0.851
PLT/( $\times 10^9$ L $^{-1}$ )	221.69 $\pm$ 14.53	223.82 $\pm$ 14.27	0.823	0.412
HGB/(g/L)	137.24 $\pm$ 10.65	136.15 $\pm$ 10.58	0.572	0.568
AST/(U/L)	19.37 $\pm$ 4.42	22.93 $\pm$ 4.76	4.347	<0.001
ALT/(U/L)	15.48 $\pm$ 2.16	19.61 $\pm$ 2.83	9.361	<0.001
ALB/(g/L)	39.52 $\pm$ 2.39	40.28 $\pm$ 2.26	1.812	0.072
SCr/( $\mu$ mol/L)	76.28 $\pm$ 8.64	87.14 $\pm$ 9.37	6.763	<0.001
BUN/(mmol/L)	6.12 $\pm$ 1.68	7.06 $\pm$ 2.53	2.526	0.013
UA/( $\mu$ mol/L)	411.86 $\pm$ 21.39	413.94 $\pm$ 23.72	0.518	0.605
TC/(mmol/L)	3.62 $\pm$ 1.28	3.65 $\pm$ 1.24	0.132	0.895
TG/(mmol/L)	1.17 $\pm$ 0.34	1.14 $\pm$ 0.38	0.468	0.640
HDLC/(mmol/L)	1.09 $\pm$ 0.49	1.12 $\pm$ 0.53	0.330	0.742
LDLC/(mmol/L)	2.38 $\pm$ 0.65	2.35 $\pm$ 0.61	0.264	0.792
NT-proBNP/(ng/L)	875.17 $\pm$ 36.72	1237.94 $\pm$ 46.85	49.064	<0.001

## 2.2 HRV 参数和右心功能参数比较

右心功能障碍组 SDNN、SDANN、RMSSD、PNN50、LF、HF、TAPSE、FAC 及 S' 水平低于右心功能正常组 ( $P < 0.05$ )，而 LF/HF、E/A、E'/A' 和 E'E' 在两组患者之间差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ；表 2)。

## 2.3 HRV 参数与右心功能参数的相关性分析

线性分析结果显示，HRV 参数 (SDNN、SDANN、RMSSD、PNN50、LF、HF) 与右心功能参数 (TAPSE、FAC、S') 之间显著正相关 ( $P < 0.05$ ；表 3)。

## 2.4 HRV 参数与 RVD 发生率的多因素广义线性混合效应模型分析

以 HRV 参数为自变量，以是否发生 RVD 为因变量，进行多因素广义线性混合效应模型分析。结果显示，SDNN、SDANN、RMSSD、PNN50、LF 及 HF 均与 RVD 的发生率呈负相关关系 ( $P < 0.05$ )。调整混杂因素后，HRV 参数与 RVD 的发生率之间仍存在负相关关系 ( $P < 0.05$ ；表 4)。

表 2. 两组患者 HRV 参数和右心功能参数比较

Table 2. Comparison of HRV parameters and right heart function parameters between the two groups

项目	右心功能 正常组 (n=75)	右心功能 障碍组 (n=53)	统计值	P
HRV 参数				
SDNN/ms	104.39 $\pm$ 6.15	87.52 $\pm$ 5.38	16.085	<0.001
SDANN/ms	85.72 $\pm$ 5.38	75.16 $\pm$ 4.93	11.319	<0.001
RMSSD/ms	37.84 $\pm$ 4.62	23.29 $\pm$ 3.76	18.918	<0.001
PNN50/%	13.27 $\pm$ 2.76	7.94 $\pm$ 1.35	12.993	<0.001
LF/(ms $^2$ /Hz)	132.51 $\pm$ 14.82	115.26 $\pm$ 13.91	6.652	<0.001
HF/(ms $^2$ /Hz)	84.39 $\pm$ 5.17	72.35 $\pm$ 4.23	13.965	<0.001
LF/HF	1.58 $\pm$ 0.61	1.60 $\pm$ 0.52	0.194	0.847
右心功能参数				
TAPSE/mm	19.17 $\pm$ 2.05	12.62 $\pm$ 1.86	18.493	<0.001
FAC/%	40.51 $\pm$ 4.27	32.39 $\pm$ 3.62	11.272	<0.001
S'/(cm/s)	15.74 $\pm$ 3.16	10.48 $\pm$ 2.81	9.705	<0.001
E/A	0.98 $\pm$ 0.07	0.97 $\pm$ 0.05	0.891	0.374
E'/A'	0.59 $\pm$ 0.12	0.56 $\pm$ 0.09	1.539	0.126
E/E'	5.78 $\pm$ 0.45	5.84 $\pm$ 0.39	0.784	0.434

表 3. HRV 参数与右心功能参数的相关性分析

Table 3. Correlation analysis between HRV parameters and right heart function parameters

项目	TAPSE		FAC		S'	
	r	P	r	P	r	P
SDNN	0.732	<0.001	0.865	<0.001	0.513	<0.001
SDANN	0.468	<0.001	0.529	<0.001	0.437	<0.001
RMSSD	0.391	0.015	0.623	<0.001	0.265	0.027
PNN50	0.624	<0.001	0.176	0.038	0.652	<0.001
LF	0.285	0.024	0.474	<0.001	0.549	<0.001
HF	0.306	0.018	0.619	<0.001	0.732	<0.001

表 4. HRV 参数与 RVD 发生率的多因素广义线性混合效应模型分析

Table 4. Multivariate generalized linear mixed effects model analysis of HRV parameters and RVD incidence

模型	$\beta$	P	OR	95% CI
模型 1				
SDNN	-0.823	<0.001	0.439	0.382 ~ 0.753
SDANN	-1.184	<0.001	0.306	0.175 ~ 0.581
RMSSD	-0.285	<0.001	0.752	0.504 ~ 0.875
PNN50	-0.207	<0.001	0.813	0.627 ~ 0.918
LF	-0.516	<0.001	0.597	0.451 ~ 0.726
HF	-0.449	<0.001	0.638	0.539 ~ 0.814
模型 2				
SDNN	-0.168	<0.001	0.845	0.675 ~ 0.913
SDANN	-0.431	<0.001	0.650	0.531 ~ 0.797
RMSSD	-0.662	<0.001	0.739	0.582 ~ 0.860
PNN50	-0.662	<0.001	0.516	0.437 ~ 0.735
LF	-0.214	<0.001	0.807	0.639 ~ 0.894
HF	-0.383	<0.001	0.682	0.517 ~ 0.758

续表

模型	$\beta$	P	OR	95% CI
模型 3				
SDNN	-0.465	<0.001	0.628	0.483 ~ 0.769
SDANN	-0.205	<0.001	0.815	0.728 ~ 0.904
RMSSD	-0.559	<0.001	0.572	0.416 ~ 0.682
PNN50	-0.293	<0.001	0.746	0.659 ~ 0.846
LF	-0.732	<0.001	0.481	0.357 ~ 0.583
HF	-0.147	<0.001	0.863	0.725 ~ 0.934

注:模型 1:未调整混杂因素;模型 2:调整年龄、性别、BMI;模型 3:在模型 2 的基础上调整腰臀比、收缩压、舒张压、心率、NYHA 心功能分级、吸烟史、饮酒史以及是否存在高血压、糖尿病、冠心病、高脂血症等慢性疾病。

## 2.5 HRV 参数与 RVD 发生率的剂量-反应关系

采用限制性立方样条模型分析 HRV 参数与 RVD 发生率之间的剂量-反应关系,结果显示,随着 SDNN、SDANN、RMSSD、PNN50、LF 及 HF 的逐渐升高,RVD 的发生率呈现出一种显著的、非线性的下降趋势(图 1)。

## 2.6 HRV 参数及联合检测对 RVD 的诊断价值

HRV 参数联合检测的 AUC 值为 0.946,敏感度和特异度分别为 93.56%、94.57%,与单一参数诊断的 AUC 值比较差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ;表 5)。

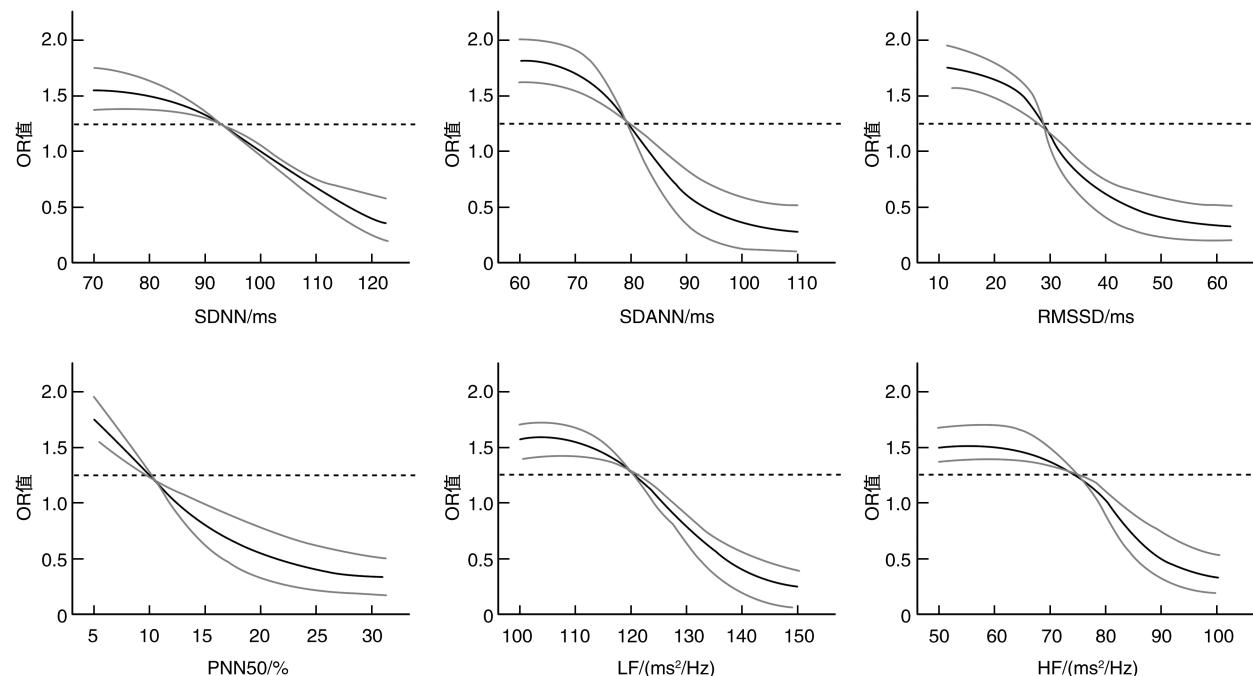


图 1. HRV 参数与 RVD 发生率的限制性立方样条分析

Figure 1. Restricted cubic spline analysis of HRV parameters and RVD incidence

表 5. HRV 参数及联合检测对 RVD 的诊断价值

Table 5. Diagnostic values of HRV parameters and combined detection for RVD

影响因素	AUC	95% CI	P	临界值	约登指数	敏感度/%	特异度/%
SDNN	0.839	0.715 ~ 0.892	0.013	92.37 ms	0.883	86.29	85.72
SDANN	0.827	0.736 ~ 0.925	0.017	80.45 ms	0.865	87.31	86.38
RMSSD	0.852	0.793 ~ 0.916	<0.001	29.52 ms	0.871	85.62	86.41
PNN50	0.865	0.804 ~ 0.928	<0.001	10.16%	0.862	88.16	87.53
LF	0.823	0.751 ~ 0.882	0.021	121.83 ms <sup>2</sup> /Hz	0.894	84.93	85.65
HF	0.846	0.765 ~ 0.894	<0.001	78.29 ms <sup>2</sup> /Hz	0.876	86.74	87.32
联合检测	0.949	0.863 ~ 0.976	<0.001		0.952	93.56	94.57

注:空白表示不适用。

## 3 讨 论

HFpEF 是 HF 领域中的一个特殊且复杂的类

型,其病情常伴随多种疾病,呈现出多样的临床表现,给治疗带来了巨大挑战。HFpEF 与 AF 之间存在着高度的共存性,HFpEF 患者中 AF 的发病率高

达40%~60%<sup>[15]</sup>。这两种疾病不仅共享着相似的致病风险因素和病理生理机制,而且彼此间互为因果,形成恶性循环<sup>[4]</sup>。当HFpEF与AF合并发生时,患者的心脏负担显著增加,这不仅会导致临床症状的恶化,还会严重影响患者的预后和生存质量<sup>[16-17]</sup>。因此,对于这类患者而言,及时地诊断以及确定并实施有效的治疗方案显得尤为关键。

HRV是连续窦性心搏之间心电信号的微观时间间隔变化,这一指标被广泛用于评估自主神经系统的功能状态及其对心血管健康的影响<sup>[18]</sup>。HRV深刻揭示了自主神经系统中交感神经与迷走神经之间的动态平衡与协调,一旦这种平衡被打破,可能引发心血管系统功能紊乱,甚至演变为严重的心律失常或猝死<sup>[19]</sup>。在HRV的分析方法中,时域分析和频域分析是两种主要手段,尤以时域法在临床实践中应用最为普遍<sup>[20]</sup>。本研究聚焦于一系列关键HRV参数,包括SDNN(反映总自主神经活性)、SDANN(侧重评价交感神经活性)、RMSSD(评估迷走神经活性)、PNN50(评估迷走神经活性)、LF(体现交感神经与迷走神经的双重作用)、HF(主要反映迷走神经活性)和LF/HF(指示交感神经与迷走神经的动态平衡状态)。HF合并AF患者所呈现的HRV降低现象,其核心病理机制可归因于自主神经功能的显著损害<sup>[21]</sup>。在HF的病理进程中,心脏自主神经系统会启动一系列代偿性反应,这些反应意外地触发了肾素-血管紧张素-醛固酮系统的异常亢进,进而导致交感神经活性过度增强与迷走神经活性相应减弱。交感神经的过度亢进状态会引发心率显著加快以及心肌收缩力增强等生理效应,然而,若此状态长期持续,将不可避免地诱发心肌肥厚与心肌纤维化等病理改变,从而进一步加剧心脏的负荷压力<sup>[22]</sup>。在AF发作期间,心房的有效收缩功能丧失,导致心排血量减少,这一变化进一步加剧了自主神经功能的紊乱状态,形成恶性循环,最终使得HRV持续降低<sup>[23]</sup>。研究显示,在HF患者中,HRV的时域和频域分析均呈现出下降趋势,这提示在HF状态下,迷走神经与交感神经对心脏的调节功能显著减弱<sup>[21]</sup>。本研究发现,右心功能障碍组SDNN、SDANN、RMSSD、PNN50、LF及HF低于右心功能正常组,HRV参数与右心功能参数之间存在显著的正相关,且HRV参数与RVD的发生率呈现出显著的负相关关系。这一结果表明,自主神经功能状态的改变在RVD的演变进程中扮演着关键角色。当交感神经出现过度激活时,会引发外周血管的收缩反应,促使回心血量增多,这一变化无疑加

重了右心室的负荷压力;而迷走神经活性的减弱,则会导致右心室舒张功能受损,干扰其正常的充盈过程。长期处于HF合并AF状态,会引发心肌细胞的凋亡和坏死,导致心肌的收缩和舒张能力显著下降,最终诱发RVD<sup>[11]</sup>。

综上所述,HFpEF合并AF患者的HRV与RVD之间存在相关性,HRV作为一种评估手段,可以反映RVD患者的自主神经系统状态。因此,在临床实践中,可以通过监测HRV来评估RVD患者的病情和预后。然而,本项研究仍存在一定的局限性:第一,本研究采用单中心设计,受限于研究范围,纳入的样本数量相对较少,这可能潜在地引入选择偏倚,进而影响研究结果的普适性。其次,研究的数据分析仅聚焦于患者入院时的即时信息,缺乏对患者进行长期且连续的跟踪观察,无法观察HRV及RVD的动态变化情况。因此,未来研究的方向应当需要进一步扩大样本量、开展多中心研究;同时,建立并实施长期随访机制,以动态监测HFpEF合并AF患者HRV与RVD之间的复杂关系。

#### [参考文献]

- FAUCHIER L, BISSON A, BODIN A. Heart failure with preserved ejection fraction and atrial fibrillation: recent advances and open questions[J]. BMC Med, 2023, 21(1): 54.
- 贾晓艳, 刘离香, 王东伟, 等. H2FPEF和HFA-PEFF评分在我国射血分数保留心力衰竭及射血分数保留心力衰竭合并心房颤动患者中的适用性分析[J]. 中国医学科学院学报, 2024, 46(2): 154-160.
- JIA X Y, LIU L X, WANG D W, et al. Applicability of H2FPEF and HFA-PEFF scores in Chinese patients suffering from heart failure with preserved ejection fraction and heart failure with preserved ejection fraction complicated with atrial fibrillation[J]. Acta Acad Med Sin, 2024, 46(2): 154-160.
- 孙聪, 戴国华, 高武霖, 等. 基于随机森林与Logistic回归的723例慢性心力衰竭合并心房颤动患者心源性死亡中西医预后因素分析[J]. 北京中医药大学学报, 2022, 45(6): 621-629.
- SUN C, DAI G H, GAO W L, et al. Prognostic factors of Chinese and western medicine analysis of cardiogenic death in 723 patients with chronic heart failure complicated by atrial fibrillation based on the random forest and Logistic regression methods[J]. J Beijing Univ Tradit Chin Med, 2022, 45(6): 621-629.
- MUNDISUGIH J, FRANKE K B, TULLY P J, et al. Prevalence and prognostic implication of atrial fibrillation in heart failure subtypes: systematic review and meta-analysis[J]. Heart Lung Circ, 2023, 32(6): 666-677.
- SAVARESE G, BECHER P M, LUND L H, et al. Global burden of heart failure: a comprehensive and updated review of epidemiology[J]. Cardiovasc Res, 2023, 118(17): 3272-3287.
- 王雲, 沈琳, 马子霖, 等. 室性心律失常与心率变异性中的中西医研究进展[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2021, 19(17):

- 2939-2942.
- WANG Y, SHEN L, MA Z L, et al. Research progress on ventricular arrhythmia and heart rate variability in traditional Chinese and western medicine[J]. Chin J Integr Med Cardio-Cerebrovasc Dis, 2021, 19(17): 2939-2942.
- [7] KWON P M, LAWRENCE S, MUELLER B R, et al. Interpreting resting heart rate variability in complex populations: the role of autonomic reflexes and comorbidities[J]. Clin Auton Res, 2022, 32(3): 175-184.
- [8] 焦学会, 郭丽霞, 张北雁, 等. 心率变异性对老年心力衰竭患者预后的影响[J]. 中国心血管杂志, 2022, 27(2): 149-152.
- JIAO X H, GUO L X, ZHANG B Y, et al. The influence of heart rate variability on the prognosis of elderly patients with heart failure [J]. Chin J Cardiovasc Med, 2022, 27(2): 149-152.
- [9] 吕翊君, 唐守义, 张敏, 等. 老年高血压患者脑小血管病影像总负荷与心率变异性相关性的研究[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2023, 25(12): 1297-1301.
- LÜ Y J, TANG S Y, ZHANG M, et al. Correlation between total burden of small cerebral vascular disease and heart rate variability in elderly hypertension patients[J]. Chin J Geriatr Heart Brain Vessel Dis, 2023, 25(12): 1297-1301.
- [10] 荀春丽, 刘永铭, 薛丽丽, 等. 射血分数保留的心力衰竭患者右心功能障碍特征及影响因素分析[J]. 中国循环杂志, 2022, 37(5): 494-499.
- GOU C L, LIU Y M, XUE L L, et al. Analysis of the features and risk factors of right ventricular dysfunction in patients with heart failure with preserved ejection fraction[J]. Chin Circ J, 2022, 37(5): 494-499.
- [11] 荀春丽, 刘永铭. 射血分数保留心力衰竭患者右心室功能障碍的研究进展[J]. 中国全科医学, 2020, 23(16): 2085-2089.
- GOU C L, LIU Y M. Research advances in right ventricular dysfunction in heart failure with preserved ejection fraction[J]. Chin Gen Pract, 2020, 23(16): 2085-2089.
- [12] 胡耀武, 田志文, 车鸿平, 等. 无症状性心房颤动患者临床特征和预后分析[J]. 中国循环杂志, 2021, 36(3): 278-282.
- HU Y W, TIAN Z W, CHE H P, et al. Clinical characteristics and prognosis of the patients with asymptomatic atrial fibrillation [J]. Chin Circ J, 2021, 36(3): 278-282.
- [13] GORTER T M, VAN VELDHUISEN D J, BAUERSACHS J, et al. Right heart dysfunction and failure in heart failure with preserved ejection fraction: mechanisms and management. Position statement on behalf of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology[J]. Eur J Heart Fail, 2018, 20(1): 16-37.
- [14] 薛聪, 杨晓宇, 贾方, 等. 射血分数保留和射血分数降低的心力衰竭患者心率变异性及心律失常特点及差异分析[J]. 中国老年学杂志, 2021, 41(9): 1802-1805.
- XUE C, YANG X Y, JIA F, et al. Characteristics and differences of heart rate variability and arrhythmia in heart failure patients with preserved ejection fraction and decreased ejection fraction [J]. Chin J Gerontol, 2021, 41(9): 1802-1805.
- [15] 乔荞, 张艳, 赵倩, 等. 射血分数保留的心力衰竭合并心房颤动的诊疗进展[J]. 中国心血管杂志, 2024, 29(3): 274-277.
- QIAO Q, ZHANG Y, ZHAO Q, et al. New progress in diagnosis and treatment of heart failure with preserved ejection fraction with atrial fibrillation[J]. Chin J Cardiovasc Med, 2024, 29(3): 274-277.
- [16] 马宗宾, 赵永辉, 刘倩玲. 心房颤动合并心力衰竭的治疗进展[J]. 中国动脉硬化杂志, 2022, 30(6): 535-540.
- MA Z B, ZHAO Y H, LIU Q L. Progress in treatment of atrial fibrillation complicated with heart failure [J]. Chin J Arterioscler, 2022, 30(6): 535-540.
- [17] 胡华超, 陈娴雅, 谢思媛, 等. 心房颤动合并心力衰竭患者的临床特点及治疗现状分析的多中心研究[J]. 中国全科医学, 2023, 26(5): 541-549.
- HU H C, CHEN X Y, XIE S Y, et al. Clinical characteristics and treatment of atrial fibrillation and heart failure: a multicenter survey [J]. Chin Gen Pract, 2023, 26(5): 541-549.
- [18] 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.
- XUE X Q, CHEN W X, LAN C Z M, et al. Predictive value of heart rate variability for long-term prognosis of patients with stable coronary heart disease[J]. Chin J Geriatr Heart Brain Vessel Dis, 2024, 26(6): 614-618.
- [19] 费敏, 雷思, 许琰, 等. 阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征对高血压患者血压变异性及心率变异性影响研究[J]. 中国全科医学, 2023, 26(20): 2459-2468.
- FEI M, LEI S, XU Y, et al. Association of obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome with blood pressure variability and heart rate variability in patients with hypertension [J]. Chin Gen Pract, 2023, 26(20): 2459-2468.
- [20] 孙传名, 周荣生, 刘志. 心率变异性对妊娠期高血压患者心脏自主神经功能及围产结局的影响[J]. 中华高血压杂志, 2024, 32(1): 87-91.
- SUN C M, ZHOU R S, LIU Z. The effect of heart rate variability on cardiac autonomic nervous function and perinatal outcomes in patients with gestational hypertension [J]. Chin J Hypertens, 2024, 32(1): 87-91.
- [21] 雷芾华, 张峰, 龚辉. 不同类型老年心力衰竭患者 QRS 波时限及心率变异性与心功能相关性[J]. 中国老年学杂志, 2023, 43(4): 785-788.
- LEI F H, ZHANG F, GONG H. The correlation between QRS duration, heart rate variability, and cardiac function in elderly patients with different types of heart failure[J]. Chin J Gerontol, 2023, 43(4): 785-788.
- [22] 王永成, 张仪美, 王馨慧, 等. 慢性心力衰竭患者阴阳虚证与心率变异性及神经因子表达的相关性研究[J]. 中华中医药杂志, 2022, 37(5): 2697-2701.
- WANG Y C, ZHANG Y M, WANG X H, et al. Correlation study of chronic heart failure with yin-yang deficiency syndrome with heart rate variability and nerve factors[J]. Chin J Tradit Chin Med Pharm, 2022, 37(5): 2697-2701.
- [23] 秦娜娜, 武文军, 祝岩, 等. 年龄及术后心房颤动对主动脉瓣置换术后患者心率变异性影响探究[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2025, 27(4): 454-458.
- QIN N N, WU W J, ZHU Y, et al. Effects of age and postoperative atrial fibrillation on heart rate variability in patients after aortic valve replacement [J]. Chin J Geriatr Heart Brain Vessel Dis, 2025, 27(4): 454-458.

(此文编辑 文玉珊)