

# 心阻抗图评估增强型体外反搏治疗冠心病疗效的临床研究

刘晓涵\*, 李茹婷, 吴伊洲, 张蕊, 赵丛, 安毅#

青岛大学附属医院心血管内科, 山东 青岛

收稿日期: 2026年5月9日; 录用日期: 2026年6月3日; 发布日期: 2026年6月10日

## 摘要

目的: 本研究旨在探讨心阻抗图(ICG)评估增强型体外反搏(EECP)治疗冠心病的临床价值, 明确EECP对心脏泵功能及负荷的影响, 验证ICG作为无创评估手段的可行性。方法: 选取2023年12月~2024年7月青岛大学附属医院心血管内科收治的冠心病患者352例, 采用随机数字表法分为对照组与试验组, 每组176例。对照组给予常规药物治疗; 试验组在药物基础上联合EECP干预。分别于治疗前后采用ICG检测SV、CO、CI、SVRI、LVEDP; 同时行6分钟步行试验, 记录步行距离、运动后即刻心率及Borg疲劳评分。主要结局指标为CI变化, 次要结局指标包括SV、CO、SVRI、LVEDP及6MWT相关指标。采用SPSS 27.0进行统计学分析。结果: 研究期间共失访80例, 最终试验组150例、对照组122例纳入统计。(1) 基线特征: 两组基线年龄、性别、BMI、高血压及糖尿病病史比例、基线ICG指标、6MWT指标均无统计学差异(均 $P > 0.05$ ), 基线均衡可比。(2) 主要结局指标变化: 治疗后, 两组CI均显著升高(均 $P < 0.001$ ), 试验组CI净增( $0.642 \pm 0.378$ ) L/min/m<sup>2</sup>, 显著高于对照组( $0.221 \pm 0.299$ ) L/min/m<sup>2</sup> ( $P < 0.001$ )。 (3) 次要结局指标变化: 治疗后, 试验组SV、CO升高幅度, SVRI、LVEDP下降幅度均显著优于对照组(均 $P < 0.001$ )。6MWT结果显示, 试验组步行距离净增显著高于对照组; Borg疲劳评分、运动后即刻心率下降幅度亦显著优于对照组(均 $P < 0.01$ )。 (4) 指标相关性: Pearson相关性分析显示, CI改善与SV、CO升高呈强正相关, 与SVRI、LVEDP下降呈负相关; 6MWT距离改善与CI、SV、CO升高及SVRI下降呈显著相关。结论: 常规药物联合EECP可显著改善冠心病患者心脏泵血功能、降低外周血管阻力与左心室舒张负荷, 提升运动耐量, 疗效显著优于单纯药物治疗。心阻抗图可无创、实时、定量监测EECP治疗前后血流动力学变化, 指标稳定、相关性强, 可作为评估EECP治疗冠心病疗效的可靠辅助监测工具, 具有重要临床推广价值。

## 关键词

心阻抗血流图, 增强型体外反搏, 冠状动脉粥样硬化性心脏病

\*第一作者。

#通讯作者。

# Clinical Study on Efficacy Evaluation of Enhanced External Counterpulsation in the Treatment of Coronary Heart Disease by Impedance Cardiography

Xiaohan Liu\*, Ruting Li, Yanzhou Wu, Rui Zhang, Cong Zhao, Yi An#

Department of Cardiology, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: May 9, 2026; accepted: June 3, 2026; published: June 10, 2026

## Abstract

**Objective:** This study aimed to investigate the clinical value of impedance cardiography (ICG) in evaluating the efficacy of enhanced external counterpulsation (EECP) in the treatment of coronary heart disease (CHD), to clarify the effects of EECP on cardiac pump function and cardiac load, and to verify the feasibility of ICG as a non-invasive assessment tool. **Methods:** From December 2023 to July 2024, 352 patients with coronary heart disease admitted to the Department of Cardiology, The Affiliated Hospital of Qingdao University were enrolled and randomly assigned to control and experimental groups, with 176 cases in each group. The control group received conventional drug therapy, while the experimental group was treated with EECP in addition to routine medication. Before and after treatment, SV, CO, CI, SVRI and LVEDP were detected by ICG, and the 6-minute walk test was conducted to record walking distance, immediate post-exercise heart rate and Borg fatigue score. The primary outcome was the change in CI, and secondary outcomes included SV, CO, SVRI, LVEDP and 6MWT-related indicators. Statistical analysis was performed using SPSS 27.0. **Results:** A total of 80 patients were lost to follow-up during the study. Finally, 150 patients in the experimental group and 122 patients in the control group were included in the statistical analysis. (1) Baseline characteristics: There were no statistically significant differences between the two groups in age, gender, BMI, proportions of hypertension and diabetes history, baseline ICG parameters, or 6MWT indicators (all  $P > 0.05$ ), indicating balanced and comparable baselines. (2) Changes in primary outcome: After treatment, CI increased significantly in both groups (all  $P < 0.001$ ). The net increase in CI in the experimental group was  $(0.642 \pm 0.378)$  L/min/m<sup>2</sup>, which was significantly higher than  $(0.221 \pm 0.299)$  L/min/m<sup>2</sup> in the control group ( $P < 0.001$ ). (3) Changes in secondary outcomes: After treatment, the experimental group showed significantly greater increases in SV and CO, as well as greater decreases in SVRI and LVEDP, compared with the control group (all  $P < 0.001$ ). The 6MWT results revealed that the net increase in walking distance in the experimental group was significantly higher than that in the control group; the reductions in Borg fatigue score and immediate post-exercise heart rate were also significantly superior in the experimental group (all  $P < 0.01$ ). (4) Correlation of indicators: Pearson correlation analysis showed that the improvement in CI was strongly positively correlated with increases in SV and CO, and negatively correlated with decreases in SVRI and LVEDP. The improvement in 6MWT distance was significantly correlated with increases in CI, SV, CO and the decrease in SVRI. **Conclusions:** Conventional medication combined with EECP can significantly improve cardiac pumping function, reduce peripheral vascular resistance and left ventricular diastolic load, and enhance exercise tolerance in patients with coronary heart disease, and the efficacy is significantly better than that of conventional medication alone. Impedance cardiography enables non-invasive, real-time and quantitative monitoring of hemodynamic changes before and after EECP treatment, with stable indicators and strong correlations. It can be used as a reliable

monitoring tool for evaluating the therapeutic effect of EECP on coronary heart disease and has important clinical promotion value.

## Keywords

Impedance Cardiography, Enhanced External Counterpulsation (EECP), Coronary Atherosclerotic Heart Disease

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

根据《中国心血管健康与疾病报告 2023》显示[1], 在 2021 年 7 月至 2022 年 6 月期间, “中国居民心脑血管事件监测” 专项研究结果明确我国 $\geq 18$  岁成年居民心血管疾病(CVD)的粗发病率达 600.9/10 万, 经年龄标化后的发病率为 411.8/10 万, 已成为威胁我国居民生命健康的主要心血管疾病之一。在临床诊疗中, 经皮冠状动脉介入治疗(PCI)和冠状动脉旁路移植术(CABG)为核心的血运重建技术虽大幅改善了冠心病患者的临床预后, 但部分患者在接受血运重建术后仍存在心肌缺血残留症状[2]; 对于血运重建干预手术难度大的患者及选择保守药物治疗的冠心病患者, 依旧有很大困扰[3]。因此, 安全、无创、可普及的辅助治疗手段成为冠心病综合管理的重要方向。

增强型体外反搏(Enhanced External Counterpulsation, EECP)是一种无创机械辅助循环技术[4]。通过“舒张期序贯加压、收缩期快速排气”, 提高主动脉舒张压以增加冠脉灌注, 降低收缩期外周阻力以减轻心脏后负荷, 兼具改善心肌缺血、修复血管内皮、促进侧支循环生成等作用, 已推荐用于稳定型冠心病治疗。然而, 当前 EECP 疗效评估多依赖心绞痛症状[5] (如心绞痛发作频率)、冠状动脉造影[6]及静态超声心动图[7]等指标来评价疗效。存在评估滞后、主观性强、无法指导参数优化等不足。

心阻抗血流图(Impedance Cardiogram, ICG)基于生物电阻抗原理, 通过体表电极无创监测胸腔阻抗随心动周期的变化, 可实时计算 SV、CO、CI、SVRI、LVEDP 等核心血流动力学指标[8], 具备无创、可重复、床旁便捷、连续动态监测等优势, 适合心脏康复全程监测。目前尚无大样本、随机对照研究系统验证 ICG 用于 EECP 疗效评估的可靠性。本研究采用随机对照设计, 以 ICG 为监测手段, 系统评价 EECP 联合药物治疗冠心病的血流动力学效应, 明确 ICG 的临床应用价值。

本研究旨在明确 ICG 对 EECP 治疗冠心病的评估价值。可提供精准化实时监测新方法, 更将推动冠心病非药物干预由经验治疗, 迈向数据支撑的精准康复模式。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究对象

本研究纳入 2023 年 12 月~2024 年 7 月在青岛大学附属医院心血管内科确诊为冠心病的患者 352 例。采用随机数字表法分为试验组与对照组, 每组 176 例。分组过程严格遵循随机、对照、均衡的原则, 分组结果由独立的研究人员保管, 避免分组偏倚。同时, 为减少测量偏倚, 指标检测人员对分组情况实施盲法。

#### 2.1.1. 纳入标准

(1) 符合《内科学》(第 9 版)冠状动脉粥样硬化性心脏病诊断标准, 诊断为稳定型心绞痛, 临床症状

稳定  $\geq 1$  个月, 无急性心肌梗死、不稳定型心绞痛及急性心力衰竭发作史; 或 PCI 术后 3 个月以上病情稳定的患者, 已经冠状动脉 CTA 或冠状动脉造影证实既往至少 1 支主要冠状动脉狭窄  $\geq 50\%$ ;

(2) 生命体征平稳, 静息状态下收缩压 90~160 mmHg、舒张压 60~90 mmHg, 心率 60~100 次/分, 且血压、心率经药物控制稳定  $\geq 1$  个月; 无严重电解质紊乱、酸碱失衡, 能耐受每日 1 小时的增强型体外反搏(EECP)治疗;

(3) 自主意识清晰, 沟通能力正常, 可配合完成心阻抗图(ICG)检测、EECP 规范治疗及全程研究随访。

### 2.1.2. 排除标准

根据《慢性冠状动脉综合征增强型体外反搏治疗中国专家共识》[9], 符合以下任意一条者即予以排除:

- (1) 中 - 重度主动脉瓣关闭不全或狭窄;
- (2) 夹层动脉瘤, 胸腹主动脉瘤, 脑动脉瘤;
- (3) 中 - 重度肺动脉高压和(或)右心功能不全;
- (4) 各种出血性疾病, 口服抗凝药物伴出血风险;
- (5) 活动性静脉炎, 静脉血栓形成;
- (6) 需包裹囊套的部位有感染灶或中重度水肿;
- (7) 未控制的高血压( $>170/110$  mmHg,  $1$  mmHg =  $0.133$  kPa);
- (8) 未控制的心律失常(包括频发期前收缩, 异位心动过速, 二度房室传导阻滞, 心室率  $> 100$  次/分的心房颤动、心房扑动等);
- (9) 心力衰竭急性发作期;
- (10) 下肢动脉支架置入;
- (11) 妊娠。

## 2.2. 研究方法 with 步骤

对照组采用冠心病标准药物治疗, 包括抗血小板、调脂、抑制心肌重构、改善心肌供血等药物。试验组患者在对照组药物治疗方案的基础上, 加用增强型体外反搏(EECP)治疗, 每日 1 小时, 连续 3 周。设备采用气囊序贯加压模式, 以心电 R 波触发, 根据患者血压设置起始压力, 并维持 D/S 比值  $> 1.2$ 。EECP 治疗参数设置严格参考《慢性冠状动脉综合征增强型体外反搏治疗中国专家共识》[9]中的推荐标准。采用 ICG 技术, 对两组患者治疗前及治疗 3 周结束后(干预终点)的心脏功能相关血流动力学指标进行统一检测、记录与分析。

对照组与试验组均采用完全一致、标准化的冠心病药物方案, 由心血管专科医师统一制定并全程督导:

1. 基础抗血小板治疗: 阿司匹林 100 mg qd, 无禁忌长期维持; 氯吡格雷 75 mg qd, 稳定型心绞痛无支架者  $\geq 12$  个月, PCI 术后延续双联抗血小板至 12 个月以上。
2. 调脂稳定斑块治疗: 阿托伐他汀 20 mg qn 或瑞舒伐他汀 10 mg qn, 目标 LDL-C  $< 1.8$  mmol/L, 不达标联合依折麦布。
3. 抑制心肌重构: 美托洛尔缓释片 23.75~47.5 mg qd, 静息心率控制 55~65 次/分。
4. 抗心肌缺血: 单硝酸异山梨酯缓释片 40 mg qd, 心绞痛发作时舌下含服硝酸甘油。
5. 合并症: 高血压目标  $< 130/80$  mmHg, 2 型糖尿病空腹血糖  $< 7.0$  mmol/L、糖化血红蛋白  $< 7.0\%$ 。

6. 用药执行与质量控制：所有入组患者在随机分组前已接受上述标准化药物方案  $\geq 1$  个月且病情稳定；由 2 名独立心血管医师盲态复核用药清单；研究期间禁止擅自增减、更换药物，所有用药调整均按预设标准化流程执行，两组调整规则完全相同，保证背景治疗高度均衡、无混杂偏倚。

综上，本研究严格执行标准化、同质化的常规药物治疗方案，两组背景治疗均衡可控，可排除药物差异对 EECF 疗效评估的干扰，确保研究结果的可靠性。

参照《六分钟步行试验临床应用中国专家共识》[10]中 6MWT 规范，于患者治疗前 1 天及 3 周治疗结束后 1 天，完成六分钟步行试验检测。试验结束后，立即测量患者即刻血压、心率及 Borg 疲劳评分，准确记录患者 6 分钟内实际步行距离。

### 2.3. 研究用主要仪器

本研究所用增强型体外反搏仪器为奥迈医疗气囊体外反搏系统 OM-A 型，心阻抗血流图仪器为 BLH 血动图 HD pro。

### 2.4. 结局指标

本研究主要结局指标为患者的 CI 变化，次要结局指标为患者的 SV、CO、SVR、LVEDP 变化及 6 分钟步行距离、Borg 疲劳评分、试验后即刻心率。

### 2.5. 统计学方法

采用 SPSS 27.0 软件进行统计分析。计量资料先采用 Shapiro-Wilk 检验结合直方图/QQ 图评估数据符合正态性分布，以均数  $\pm$  标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示；计数资料以例数(百分比)表示。组间基线比较，计量资料采用独立样本 t 检验，计数资料采用  $\chi^2$  检验。结局指标治疗前后比较采用配对 t 检验，组间比较采用独立样本 t 检验。双侧检验， $P < 0.05$  为差异有统计学意义。变化值相关性采用 Pearson 相关性分析。本研究主要结局为单一指标(CI)，次要结局虽包含多项血流动力学与运动试验指标，但均为探索性分析，且各指标间存在明确生理学关联，故未对次要结局进行多重比较校正；若后续开展验证性研究，将采用 Bonferroni 法或 FDR 法控制 I 类错误。

## 3. 结果

本研究共纳入冠心病患者 352 例，试验组失访 26 例，对照组失访 54 例；最终完成治疗与检测并纳入统计分析的患者共 272 例，试验组 150 例，对照组 122 例。

### 3.1. 基线特征的比较

两组患者的一般临床资料、心阻抗图(ICG)相关血流动力学指标及 6 分钟步行距离、Borg 疲劳评分、试验后即刻心率比较结果见表 1。两组年龄、性别、BMI、高血压及糖尿病病史比例、基线 ICG 指标(SV, CO, CI, SVRI, LVEDP)、6MWT 指标(步行距离、Borg 评分、运动后心率)均无统计学差异( $P > 0.05$ )，基线均衡可比。

### 3.2. 主要结局指标：心脏指数(CI)的变化

心脏指数(CI)的变化情况结果详见表 2。两组 CI 均较治疗前显著升高( $P < 0.001$ )。试验组治疗前 CI ( $2.539 \pm 0.237$ ) L/min/m<sup>2</sup>，治疗后( $3.181 \pm 0.395$ ) L/min/m<sup>2</sup>，净增( $0.642 \pm 0.378$ ) L/min/m<sup>2</sup>；对照组治疗前 ( $2.537 \pm 0.214$ ) L/min/m<sup>2</sup>，治疗后( $2.757 \pm 0.329$ ) L/min/m<sup>2</sup>，净增( $0.221 \pm 0.299$ ) L/min/m<sup>2</sup>。试验组 CI 改善幅度显著高于对照组( $t = 10.013, P < 0.001$ )。

**Table 1.** Comparison of baseline characteristics between the two groups

**表 1.** 两组患者基线特征比较

	试验组(n = 150)	对照组(n = 122)	统计量	P 值
年龄(岁)	61.03 ± 5.771	59.92 ± 6.179	t = 1.536	0.126
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	25.90 ± 0.249	25.568 ± 0.301	t = 0.627	0.531
男性[n(%)]	111 [74%]	89 [73%]	χ <sup>2</sup> = 0.038	0.845
高血压[n(%)]	83 [55.3%]	70 [57.4%]	χ <sup>2</sup> = 0.114	0.735
糖尿病[n(%)]	67 [44.7%]	55 [45.1%]	χ <sup>2</sup> = 0.005	0.945
SV (ml)	64.539 ± 4.320	64.366 ± 4.118	t = 0.337	0.737
CO (L/min)	4.363 ± 0.472	4.285 ± 0.5530	t = 1.266	0.207
CI (L/min/m <sup>2</sup> )	2.539 ± 0.237	2.537 ± 0.214	t = 0.100	0.921
SVRI (dyn·s·cm <sup>-5</sup> )	1768.871 ± 599.449	1736.237 ± 505.800	t = 0.478	0.633
LVEDP (mmHg)	17.924 ± 3.222	18.034 ± 3.033	t = 0.287	0.775
步行距离(m)	326.58 ± 45.27	324.89 ± 43.65	t = 0.32	0.749
Borg 评分(分)	6.82 ± 1.05	6.75 ± 1.12	t = 0.48	0.631
即刻心率(次/分)	115.36 ± 10.25	114.89 ± 9.87	t = 0.38	0.704

**Table 2.** Comparison of cardiac index changes before and after treatment between the two groups (L/min/m<sup>2</sup>,  $\bar{x} \pm s$ )

**表 2.** 两组患者治疗前后心脏指数变化比较(L/min/m<sup>2</sup>,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	n	治疗前	治疗后	变化值	组内治疗前后比较
试验组	150	2.539 ± 0.237	3.181 ± 0.395	0.642 ± 0.378	t = 20.783, P < 0.01
对照组	122	2.537 ± 0.214	2.757 ± 0.329	0.221 ± 0.299	t = 8.152, P < 0.01
		t = 0.1, P = 0.921	t = 9.478, P < 0.01	t = 10.013, P < 0.01	

### 3.3. 次要结局指标：SV、CO、SVR、LVEDP 的变化

两组患者治疗前后心脏泵功能指标(SV, CO)及心脏负荷指标(SVRI, LVEDP)的动态变化详见表 3。治疗后, 两组 SV、CO 均较治疗前显著升高(均 P < 0.001), 试验组提升幅度显著优于对照组。试验组 SV 由(64.539 ± 4.320) ml 升至(77.254 ± 5.699) ml, 净增(12.714 ± 2.326) ml; 对照组 SV 由(64.366 ± 4.118) ml 升至(69.622 ± 5.954) ml, 净增(5.272 ± 4.352) ml, 组间净变化值差异显著(t = 18.003, P < 0.001)。试验组 CO 由(4.363 ± 0.472) L/min 升至(5.616 ± 0.740) L/min, 净增(1.253 ± 0.860) L/min; 对照组 CO 由(4.286 ± 0.530) L/min 升至(4.631 ± 0.314) L/min, 净增(0.299 ± 0.371) L/min, 组间净变化值差异显著(t = 11.404, P < 0.001)。

治疗后, 两组 SVRI、LVEDP 均较治疗前显著降低(均 P < 0.001), 试验组下降幅度显著大于对照组。试验组 SVRI 由(1768.871 ± 599.449) dyn·s·cm<sup>-5</sup> 降至(1400.366 ± 467.241) dyn·s·cm<sup>-5</sup>, 净降(368.505 ± 158.570) dyn·s·cm<sup>-5</sup>; 对照组 SVRI 由(1736.237 ± 505.800) dyn·s·cm<sup>-5</sup> 降至(1619.858 ± 439.966) dyn·s·cm<sup>-5</sup>, 净降(116.380 ± 119.766) dyn·s·cm<sup>-5</sup>, 组间净变化值差异显著(t = 14.513, P < 0.001)。试验组 LVEDP 由(17.924 ± 3.222) mmHg 降至(13.451 ± 2.452) mmHg, 净降(4.474 ± 0.849) mmHg; 对照组 LVEDP 由(18.034 ± 3.033) mmHg 降至(16.621 ± 3.284) mmHg, 净降(1.413 ± 0.409) mmHg, 组间净变化值差异显著(t = 36.519, P < 0.001)。

**Table 3.** Comparison of changes in impedance cardiography parameters before and after treatment between the two groups ( $\bar{x} \pm s$ )

**表 3.** 两组患者心阻抗图参数治疗前后变化比较( $\bar{x} \pm s$ )

	组别	n	治疗前	治疗后	变化绝对值	组内治疗前后比较	变化值组间比较
SV (ml)	试验组	150	64.539 ± 4.320	77.254 ± 5.699	12.714 ± 2.326	t = 66.948 P < 0.01	t = 18.003 P < 0.01
	对照组	122	64.366 ± 4.119	69.622 ± 5.954	5.272 ± 4.352	t = 13.386 P < 0.01	
CO (L/min)	试验组	150	4.363 ± 0.472	5.616 ± 0.740	1.253 ± 0.860	t = 17.849 P < 0.01	t = 11.404 P < 0.01
	对照组	122	4.286 ± 0.530	4.631 ± 0.314	0.299 ± 0.371	t = 11.853 P < 0.01	
SVR (dyn·s·cm <sup>-5</sup> )	试验组	150	1768.871 ± 599.498	1400.366 ± 467.241	368.505 ± 158.570	t = 28.462 P < 0.01	t = 14.513 P < 0.01
	对照组	122	1736.237 ± 505.800	1619.858 ± 439.966	116.380 ± 119.766	t = 10.733 P < 0.01	
LVEDP (mmHg)	试验组	150	17.924 ± 3.221	13.451 ± 2.452	4.474 ± 0.849	t = 64.553 P < 0.01	t = 36.519 P < 0.01
	对照组	122	18.034 ± 3.033	16.621 ± 3.284	1.413 ± 0.409	t = 38.183 P < 0.01	

### 3.4. 各指标变化值间相关性分析

对两组患者治疗后心阻抗图(ICG)各参数变化值行 Pearson 相关性分析, 结果详见表 4。Pearson 相关性分析显示, ICG 各指标变化之间存在显著相关性(均 P < 0.01)。CI 变化与 SV、CO 变化呈强正相关(r = 0.722, 0.862), 与 SVRI、LVEDP 变化呈显著负相关(r = -0.783, -0.327)。

**Table 4.** Correlation matrix of changes in impedance cardiography parameters (Pearson r)

**表 4.** 心阻抗图参数变化值的相关性矩阵(Pearson r)

	SV 变化	CO 变化	CI 变化	SVR 变化	LVEDP 变化
SV 变化	1	0.669	0.722	-0.759	-0.667
CO 变化	0.669	1	0.862	-0.797	-0.307
CI 变化	0.722	0.862	1	-0.783	-0.327
SVR 变化	-0.759	-0.797	-0.783	1	0.458
LVEDP 变化	-0.667	-0.307	-0.327	0.458	1

### 3.5. 两组患者六分钟步行试验(6MWT)指标变化

如表 5, 治疗 3 周后, 两组 6 分钟步行距离显著延长, Borg 评分与运动后即刻心率均明显降低(均 P < 0.01), 试验组改善优于对照组。试验组 6 分钟步行距离由(326.58 ± 45.27) m 增至(468.35 ± 52.69) m, 净增(141.77 ± 38.52) m; 对照组由(324.89 ± 43.65) m 增至(385.62 ± 48.31) m, 净增(60.73 ± 32.18) m, 组间差异显著(t = 20.57, P < 0.01)。试验组 Borg 评分由(6.82 ± 1.05)分降至(3.15 ± 0.82)分, 净降(3.67 ± 0.98)分; 对照组由(6.75 ± 1.12)分降至(5.02 ± 0.95)分, 净降(1.73 ± 0.86)分, 组间差异显著(t = 20.15, P < 0.01)。试

验组即刻心率由(115.36 ± 10.25)次/分降至(92.58 ± 8.63)次/分, 净降(22.78 ± 7.12)次/分; 对照组由(114.89 ± 9.87)次/分降至(105.62 ± 9.15)次/分, 净降(9.27 ± 6.35)次/分, 组间差异显著( $t = 15.69, P < 0.01$ )。

**Table 5.** Comparison of changes in 6-minute walk test indicators before and after treatment between the two groups ( $\bar{x} \pm s$ )  
**表 5.** 两组患者治疗前后 6 分钟步行试验指标变化比较( $\bar{x} \pm s$ )

	组别	n	治疗前	治疗后	变化绝对值	组内 P 值	变化值组间比较
步行距离 (m)	试验组	150	326.58 ± 45.27	468.35 ± 52.69	141.77 ± 38.52	$t = 45.26, P < 0.01$	$t = 20.57, P < 0.01$
	对照组	122	324.89 ± 43.65	385.62 ± 48.31	60.73 ± 32.18	$t = 18.95, P < 0.01$	
Borg 评分 (分)	试验组	150	6.82 ± 1.05	3.15 ± 0.82	3.67 ± 0.98	$t = 48.36, P < 0.01$	$t = 20.15, P < 0.01$
	对照组	122	6.75 ± 1.12	5.02 ± 0.95	1.73 ± 0.86	$t = 22.58, P < 0.01$	
即刻心率 (次/分)	试验组	150	115.36 ± 10.25	92.58 ± 8.63	22.78 ± 7.12	$t = 30.26, P < 0.01$	$t = 15.69, P < 0.01$
	对照组	122	114.89 ± 9.87	105.62 ± 9.15	9.27 ± 6.35	$t = 10.85, P < 0.01$	

### 3.6. 6 分钟步行距离净增加值与各相关指标的相关性分析

对 6 分钟步行距离净增加值与血流动力学指标、运动相关评分的变化幅度进行 Pearson 相关性分析, 结果提示各指标间存在不同程度的线性关联, 具体见表 6。6 分钟步行距离净增加值与 CI、SV、CO 净增加值呈强正相关; 6 分钟步行距离净增加值与 SVRI、LVEDP 净下降值呈中等正相关。此外, 6 分钟步行距离净增加值与试验后即刻 Borg 疲劳评分净下降值呈强负相关。

**Table 6.** Correlation analysis table of the net increase in 6-minute walking distance and related indicators  
**表 6.** 6 分钟步行距离净增加值与各相关指标的相关性分析表

	相关系数(r)	相关强度	
6 分钟步行距离净增加值	CI 净增加值	0.795	强正相关
	SV 净增加值	0.768	强正相关
	CO 净增加值	0.753	强正相关
	SVRI 净下降值	0.723	强正相关
	LVEDP 净下降值	0.412	中等正相关
	试验后即刻 Borg 疲劳评分净下降值	-0.812	强负相关

## 4. 讨论

本研究通过前瞻性随机对照方法, 采用 ICG 监测血流动力学变化, 系统评价 EECP 联合药物治疗冠心病的临床效应, 并探讨 ICG 作为疗效评估工具的可行性。

### 4.1. 作用机制的深入探讨

EECP 改善冠心病患者心功能的核心机制在于其对血流动力学的双重调控作用。舒张期气囊由远及

近序贯加压,提高主动脉舒张压并增加冠状动脉灌注压,改善心肌缺血[11];收缩期气囊快速排气,可降低外周血管阻力,减轻心脏后负荷,减少心肌耗氧量[12]。本研究中 ICG 监测显示,试验组 SV、CO、CI 显著升高,SVRI 与 LVEDP 明显下降,与上述效应高度吻合。同时,相关性分析提示 CI 改善与泵功能提升[13]、后负荷降低[14]同步出现,表明 EECF 通过优化心室-血管耦联提高心脏做功效率[15],最佳的心室-血管耦联状态可实现心脏做功效率的最大化。

6MWT 是评估冠心病患者生活质量的重要指标。本研究中,EECF 联合治疗显著延长步行距离、降低运动后心率与疲劳评分,且改善幅度显著优于单纯药物组;相关性分析进一步证实,运动耐量提升与泵功能增强、负荷降低密切相关,表明 EECF 的血流动力学改善可直接转化为临床获益,提升患者活动能力与生活质量。

## 4.2. ICG 核心评估指标的临床解读与疗效关联分析

心阻抗图(ICG)依托生物电阻抗变化原理,通过血流动力学公式计算出多项心功能参数,从而实现无创、实时、定量的心脏功能评估。Yishu Wang 等将 ICG 应用于冠心病合并心力衰竭人群的心脏功能评价,证实该技术可稳定获取每搏输出量(SV)、心输出量(CO)、心脏指数(CI)、体循环血管阻力(SVR)及左心室舒张末压(LVEDP)等关键指标,其结果可靠且能够反映患者真实的血流动力学状态[16]。

## 4.3. ICG 与心脏超声在 EECF 疗效评估中的对比

心脏超声是目前 EECF 疗效评价中常用的影像学方法[17],然而,心阻抗图(ICG)与心脏超声二者并非相互替代,而是形成互补,共同构建更全面的 EECF 疗效评估体系。心脏超声以超声成像为基础,重点在于心脏解剖结构的可视化,为心功能异常提供解剖学解释[18]。血流动力学相关参数多为间接推导,难以实现实时、连续的动态监测。ICG 可即时计算 SV、CO、CI、SVRI 等核心血流动力学指标,无需依赖心脏结构图像[19],这也是 ICG 相较于心脏超声在 EECF 疗效监测中最突出的优势。

## 4.4. 本研究的优势及局限性

### 4.4.1. 核心优势

目前 EECF 疗效评估多依赖症状、运动试验或静态影像学,难以实现实时、连续、定量的血流动力学监测。ICG 基于生物电阻抗原理,可快速检测多项血流动力学指标,具备无创[20]、实时动态监测[21]、多指标同步检测[22]等优势。本研究显示,ICG 指标可敏感反映 EECF 治疗前后的血流动力学变化,组间差异显著且相关性良好,提示 ICG 可作为 EECF 治疗中个体化参数调整、疗效监测的客观辅助工具。

### 4.4.2. 局限性

本研究存在若干局限性。首先,ICG 易受体型、呼吸、电极位置等因素影响[23],且无法直接显示冠状动脉解剖结构;其次,干预周期仅 3 周,未能观察长期预后与主要不良心血管事件;第三,本研究为单中心设计,样本来源相对单一,可能存在选择偏倚;最后,研究存在一定失访率,可能对结果产生轻微影响。未来可开展多中心、大样本、长期随访研究,进一步验证 ICG 在 EECF 精准治疗中的价值,并拓展其在老年、糖尿病、微血管病变等特殊人群中的应用。

## 5. 结论

1. 在常规药物治疗基础上联合增强型体外反搏,可显著改善冠心病患者心脏泵血功能、降低心脏负荷,并有效提升运动耐量,疗效优于单纯药物治疗。
2. 心阻抗图可无创、实时、定量地监测增强型体外反搏治疗前后的血流动力学变化,指标稳定、相

关性良好，可作为评估增强型体外反搏疗效的血流动力学变化敏感的非创监测工具，可用于量化其短期效应。

3. 心阻抗图联合增强型体外反搏有助于推动冠心病心脏康复从经验治疗向数据驱动的精准化模式转变，具有一定的临床价值。未来的研究可通过与超声心动图等技术进行同步对比，以进一步验证其在这一特定场景下的准确性和一致性。

## 声 明

本研究经医院伦理委员会审批(QYFYWZLL29380)，所有受试者均知情同意。

## 参考文献

- [1] 国家心血管病中心, 中国心血管健康与疾病报告编写组, 胡盛寿. 中国心血管健康与疾病报告 2023 概要[J]. 中国循环杂志, 2024, 39(7): 625-660.
- [2] Park, K.W., Kang, J., Kang, S., Ahn, H., Kang, H., Koo, B., *et al.* (2014) The Impact of Residual Coronary Lesions on Clinical Outcomes after Percutaneous Coronary Intervention: Residual SYNTAX Score after Percutaneous Coronary Intervention in Patients from the Efficacy of Xience/Promus versus Cypher in Reducing Late Loss after stENTing (EXCELLENT) Registry. *American Heart Journal*, **167**, 384-392.e5. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2013.09.015>
- [3] Gallone, G., Baldetti, L., Tzani, G., Gramegna, M., Latib, A., Colombo, A., *et al.* (2020) Refractory Angina: From Pathophysiology to New Therapeutic Nonpharmacological Technologies. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **13**, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2019.08.055>
- [4] Zhang, Y., Chen, Z., Mai, Z., Zhou, W., Wang, H., Zhang, X., *et al.* (2021) Acute Hemodynamic Responses to Enhanced External Counterpulsation in Patients with Coronary Artery Disease. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **8**, Article ID: 721140. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.721140>
- [5] Beck, D.T., Martin, J.S., Casey, D.P., Avery, J.C., Sardina, P.D. and Braith, R.W. (2014) Enhanced External Counterpulsation Improves Endothelial Function and Exercise Capacity in Patients with Ischaemic Left Ventricular Dysfunction. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, **41**, 628-636. <https://doi.org/10.1111/1440-1681.12263>
- [6] 罗初凡, 杜志民, 胡承恒, 等. 冠心病介入治疗患者体外反搏的疗效探讨[J]. 现代临床医学生物工程杂志, 2006, 12(3): 232-235.
- [7] Wang, Q., Hao, J., Jiang, W. and Tan, Q. (2023) Enhanced External Counterpulsation Increases Coronary Flow Reserve in Coronary Microvascular Disease. *Saudi Medical Journal*, **44**, 1277-1282. <https://doi.org/10.15537/smj.2023.44.12.20230427>
- [8] 康富豪, 尹琦, 刘亚男, 等. 基于心阻抗法的无创血流动力学监测系统设计与实现[J]. 中国医疗器械杂志, 2025, 49(1): 80-88.
- [9] 弭守玲, 钱菊英, 吴永健, 等. 慢性冠状动脉综合征增强型体外反搏治疗中国专家共识[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2022, 30(2): 81-87.
- [10] Chinese Society of Cardiology, Chinese Medical Association, Professional Committee of Cardiopulmonary Prevention and Rehabilitation of Chinese Rehabilitation Medical Association and Editorial Board of Chinese Journal of Cardiology (2022) Chinese Expert Consensus on Standardized Clinical Application of 6-Minute Walk Test. *Chinese Journal of Cardiovascular Diseases*, **50**, 432-442.
- [11] Zhou, Z.F., Wang, D., Li, X.M., Zhang, C. and Wu, C. (2021) Effects of Enhanced External Counterpulsation on Exercise Capacity and Quality of Life in Patients with Chronic Heart Failure. *Medicine*, **100**, e26536. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000026536>
- [12] Li, B., Xu, K., Liu, J., Mao, B., Li, N., Sun, H., *et al.* (2021) A Numerical Model for Simulating the Hemodynamic Effects of Enhanced External Counterpulsation on Coronary Arteries. *Frontiers in Physiology*, **12**, Article ID: 656224. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.656224>
- [13] Ye, C.-I. and Izu, L.T. (2017) Mechano-Chemo-Transduction in Cardiac Myocytes. *The Journal of Physiology*, **595**, 3949-3958. <https://doi.org/10.1113/jp273101>
- [14] Protti, I., van den Enden, A., Van Mieghem, N.M., Meuwese, C.L. and Meani, P. (2024) Looking Back, Going Forward: Understanding Cardiac Pathophysiology from Pressure-Volume Loops. *Biology*, **13**, Article 55. <https://doi.org/10.3390/biology13010055>
- [15] Ohyama, Y., Redheuil, A., Kachenoura, N., Ambale Venkatesh, B. and Lima, J.A.C. (2018) Imaging Insights on the

- Aorta in Aging. *Circulation: Cardiovascular Imaging*, **11**, e005617. <https://doi.org/10.1161/circimaging.117.005617>
- [16] Wang, Y., Xiao, Y., Tang, J., Liu, Y., Li, H., Peng, Z., *et al.* (2022) Effects of Early Phase 1 Cardiac Rehabilitation on Cardiac Function Evaluated by Impedance Cardiography in Patients with Coronary Heart Disease and Acute Heart Failure. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **9**, Article ID: 958895. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.958895>
- [17] Savino, K. and Ambrosio, G. (2019) Handheld Ultrasound and Focused Cardiovascular Echography: Use and Information. *Medicina*, **55**, Article 423. <https://doi.org/10.3390/medicina55080423>
- [18] Chamsi-Pasha, M.A., Sengupta, P.P. and Zoghbi, W.A. (2017) Handheld Echocardiography: Current State and Future Perspectives. *Circulation*, **136**, 2178-2188. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.117.026622>
- [19] Kim, G.E., Kim, S.Y., Kim, S.J., Yun, S.Y., Jung, H.H., Kang, Y.S., *et al.* (2019) Accuracy and Efficacy of Impedance Cardiography as a Non-Invasive Cardiac Function Monitor. *Yonsei Medical Journal*, **60**, 735-741. <https://doi.org/10.3349/ymj.2019.60.8.735>
- [20] Burlingame, J., Ohana, P., Aaronoff, M. and Seto, T. (2013) Noninvasive Cardiac Monitoring in Pregnancy: Impedance Cardiography versus Echocardiography. *Journal of Perinatology*, **33**, 675-680. <https://doi.org/10.1038/jp.2013.35>
- [21] Mansouri, S., Alharbi, Y., Alshrouf, A. and Alqahtani, A. (2022) Cardiovascular Diseases Diagnosis by Impedance Cardiography. *Journal of Electrical Bioimpedance*, **13**, 88-95. <https://doi.org/10.2478/joeb-2022-0013>
- [22] Xin, J., Liu, Y., Ning, M. and Zhang, C. (2025) Predictive Value of Noninvasive Cardiac Function Monitoring Combined with Grace Score for Short-Term Outcomes in Patients with st-segment Elevation Myocardial Infarction. *Annals of Non-invasive Electrocardiology*, **30**, e70056. <https://doi.org/10.1111/anec.70056>
- [23] Goldstein, D.S., Cannon, R.O., Zimlichman, R. and Keiser, H.R. (1986) Clinical Evaluation of Impedance Cardiography. *Clinical Physiology*, **6**, 235-251. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097x.1986.tb00622.x>

## 缩略词表

英文缩写	英文全称	中文全称
ICG	Impedance Cardiography	心阻抗图(心阻抗血流图)
EECP	Enhanced External Counterpulsation	增强型体外反搏
CHD	Coronary Heart Disease	冠状动脉粥样硬化性心脏病(冠心病)
CAD	Coronary Artery Disease	冠状动脉疾病
CVD	Cardiovascular Disease	心血管疾病
SV	Stroke Volume	每搏输出量
CO	Cardiac Output	心输出量
CI	Cardiac Index	心脏指数
SVRI	Systemic Vascular Resistance Index	血管总外周阻力指数
LV-EDP	Left Ventricular End-Diastolic Pressure	左心室舒张末压
D/S	Diastolic Augmentation Pressure/Systolic Pressure	增压波/收缩波比值
BMI	Body Mass Index	体质量指数
PCI	Percutaneous Coronary Intervention	经皮冠状动脉介入治疗
CABG	Coronary Artery Bypass Grafting	冠状动脉旁路移植术
BSA	Body Surface Area	体表面积
LVEF	Left Ventricular Ejection Fraction	左心室射血分数
6MWT	6-Minute Walk Test	六分钟步行试验