

# 超灵敏脉波传感器联合医院社区家庭三维模式管理在慢性心力衰竭中的应用

房辉<sup>1,2\*</sup>, 冷楠楠<sup>3</sup>, 赵丹<sup>4</sup>, 李峰<sup>2</sup>, 彭青<sup>5</sup>, 张文忠<sup>1#</sup>

<sup>1</sup>青岛大学附属医院心血管内科, 山东 青岛

<sup>2</sup>青岛市市南区八大湖街道巢湖路社区卫生服务中心, 山东 青岛

<sup>3</sup>青岛市西海岸新区人民医院心血管内科, 山东 青岛

<sup>4</sup>胶州市阜安街道社区卫生服务中心, 山东 青岛

<sup>5</sup>高密市人民医院药品采购科, 山东 潍坊

收稿日期: 2025年5月5日; 录用日期: 2025年5月28日; 发布日期: 2025年6月6日

## 摘要

目的: 本研究旨在探讨超灵敏脉波传感器联合医院社区家庭三维模式在心衰患者管理中的应用, 以改善患者的临床结局。方法: 本研究为多中心、前瞻性、随机、对照研究, 选取2020年1月1日~2023年12月30日于青岛大学附属医院及市南区社区卫生服务中心就诊的心力衰竭(CHF)患者, 按照入选及排除标准共纳入172例CHF患者进入本研究, 并随机分为三维模式观察组、传感器联合三维模式观察组。根据课题设计给予不同干预方式, 平均随访时间为6个月, 观察两组患者干预随访后NT-proBNP、左室射血分数(LVEF)值指标的变化, 以及六分钟步行测试(6MWT)、生活质量表(MLHFQ)评分、再住院率的差异。结果: 干预随访后, 观察组与联合观察组的LVEF值显著升高, NT-proBNP水平显著降低, 且联合观察组的效果最为显著, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。此外, 干预后6MWT距离增加, MLHFQ评分降低, 联合观察组效果最佳, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。尽管两组患者在干预后再住院率差异无统计学意义( $P > 0.05$ ), 但联合观察组和观察组均显示出下降趋势, 且联合观察组下降幅度最大。结论: 通过超灵敏脉波传感器联合三维模式在心衰患者管理中的应用能够改善患者预后, 降低再住院率, 提高患者的生活质量, 展现出良好的临床应用前景。

## 关键词

超灵敏脉波传感器, 三维模式管理, 慢性心力衰竭, 6MWT, 患者生活质量, 再住院率

\*第一作者。

#通讯作者。

# Application of Ultra-Sensitive Pulse Wave Sensor Combined with Three-Dimensional Management Mode of Hospital-Community-Family in Chronic Heart Failure

Hui Fang<sup>1,2\*</sup>, Nannan Leng<sup>3</sup>, Dan Zhao<sup>4</sup>, Feng Li<sup>2</sup>, Qing Peng<sup>5</sup>, Wenzhong Zhang<sup>1#</sup>

<sup>1</sup>Department of Cardiovascular Medicine, Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Chaohu Road Community Health Service Center of Badahu Subdistrict, Shinan District, Qingdao Shandong

<sup>3</sup>Department of Cardiovascular Medicine, The People's Hospital of West Coast New District Qingdao, Qingdao Shandong

<sup>4</sup>Fuan Community Health Center, Jiaozhou, Qingdao Shandong

<sup>5</sup>Department of Drug Procurement, Gaomi People's Hospital, Weifang Shandong

Received: May 5<sup>th</sup>, 2025; accepted: May 28<sup>th</sup>, 2025; published: Jun. 6<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

**Objective:** The purpose of this study was to investigate the application of an ultra-sensitive pulse wave sensor combined with three-dimensional hospital-community-family model in the management of heart failure (HF) patients to improve clinical outcomes. **Methods:** This multicenter, prospective, randomized, controlled trial included 172 patients with chronic heart failure (CHF) admitted to the Affiliated Hospital of Qingdao University and Shinan District Community Health Service Center between January 1, 2020, and December 30, 2023, who met predefined inclusion and exclusion criteria. Participants were randomized into two groups: a three-dimensional model observation group, and a sensor combined with three-dimensional model observation group. Interventions were administered according to the study protocol, with a mean follow-up period of 6 months. Outcomes assessed included changes in NT-proBNP levels, left ventricular ejection fraction (LVEF), 6-minute walk test (6MWT) distance, Minnesota Living with Heart Failure Questionnaire (MLHFQ) scores, and rehospitalization rates. **Results:** After the intervention and follow-up, both the observation group and the combined observation group showed significantly increased LVEF values and significantly reduced NT-proBNP levels, with the most pronounced effects observed in the combined observation group ( $P < 0.05$ ). Additionally, the 6MWT distance increased and the MLHFQ score decreased post-intervention, with the combined observation group demonstrating the greatest improvement, and these differences were statistically significant ( $P < 0.05$ ). Although there was no statistically significant difference in rehospitalization rates between the two groups after the intervention ( $P > 0.05$ ), both the combined observation group and the observation group exhibited a downward trend, with the largest reduction seen in the combined observation group. **Conclusion:** The integration of an ultra-sensitive pulse wave sensor with a three-dimensional hospital-community-family model in HF management improves prognosis, reduces rehospitalization trends, enhances quality of life, and exhibits significant clinical potential for optimizing patient care.

## Keywords

Ultra-Sensitive Pulse Wave Sensor, Three-Dimensional Management Model, Chronic Heart Failure

## (CHF), 6-Minute Walk Test (6MWT), Patient's Quality of Life, Rehospitalization Rate

Copyright © 2025 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

心力衰竭是一种严重的不可逆的心血管疾病，具有高患病率、高致死率，低生活质量等特点，近年来，慢性心力衰竭的患病率和发病率在全球范围内仍呈现上升趋势，尽管临床试验和科学管理都在不断进步和创新，但仍有较高的发病率和死亡率[1][2]。随着人口老龄化、生活习惯紊乱、疾病逐渐年轻化等问题的出现，以及心衰发生发展与管理资源的不协调，导致心衰的患病率及住院率至今尚未得到改善[3]。因此，寻找有效的管理策略以改善患者预后和生活质量，已成为研究的热点之一[4]。随着医学模式向生物-心理-社会医学模式的转变，临床上对于心衰患者不仅关注其住院期间治疗情况，更加关注长期管理及生活质量的提高，特别是对于出院后患者的长期综合管理[5]。目前，慢性心力衰竭的管理方式多样化，包括传统的药物治疗、生活方式干预、定期随访等。然而，传统的管理方式在实施过程中也存在不足，未能充分满足患者的个体化需求[6]。CHF患者出院后，常缺乏对患者遵医嘱情况、疾病相关专业知识及康复指导，缺乏对患者心功能、运动耐力和生活质量的监管[7]。在此背景下，医院-社区-家庭一体化管理模式的出现则克服了传统模式的不足[8]。该模式不仅重视其住院期间的治疗成效，同时强化其院内的自我照护能力，进而实现住院周期的缩短与再入院率的降低，并且通过构建一套科学、系统的管理体系，既能够优化患者的治疗体验与预后质量，还能有效减轻医疗系统的负担，促进医疗资源的合理配置。

脉搏与血压是反映心血管状态最直观的指标参数，这些指标亦是诊断心血管疾病、观察疗效的重要手段[9]。大多数心血管疾病可以通过长期心血管动态监测来评估和有效预防，为早期诊断及患者长期预后效果提供大量数据支撑。随着科技的进步，可穿戴设备和智能健康监测系统的出现，为CHF患者的管理提供了新的可能性。研究表明，利用可穿戴设备进行血压、脉搏等参数的监测，实时掌握患者的健康状况，从而及时调整治疗方案，可以提高管理效果[10][11]。另有研究表明，超灵敏脉搏传感器的使用与改善患者的生活质量显著相关，能够有效降低再住院率，并改善患者的整体健康状态[12]-[16]。

本课题应用的超灵敏脉搏传感器，利用非侵入性多指标高灵敏传感器技术和机器学习(ML)算法相结合，以无创心衰评估系统为主要研究内容，实现对脉搏与血压无创监测。此传感器的设计研发是与专门从事传感器设计与信号处理的青岛大学电子信息学院合作，依托其丰富的研究经验，保证项目的顺利实施。所制备传感器具有较高性能参数(传感器灵敏度  $\geq 8$  nA/kPa，响应时间不高于 20 ms，血压最低检测限小于 0.2 mmHg)，通过使用喷墨打印制造具有高产量和均匀性的薄膜晶体管(TFT)阵列，将其与高灵敏度压阻片集成在一起，利用可穿戴主动矩阵压力传感器对动脉脉搏波进行时空测量，传感器阵列在手腕上创建一个时空脉冲波图，以获得最佳脉冲波形。该装置通过战略性地调制 TFT 工作电压，实现了压力灵敏度的最大化，克服了传统单点传感器位置不准确的缺点，同时实现了低功耗，可与皮肤兼容并紧密贴合，患者佩戴依从性高。通过分析两组共 172 例 CHF 患者的随访结果，评估不同干预措施对患者预后的影响，对比两组患者的管理效果，发现新型管理模式的潜在价值，为慢性心力衰竭的临床管理提供新的思路 and 依据。该研究不仅有助于提高患者的生活质量，改善患者预后，还可能为减少医疗资源的浪费和提高医疗服务的有效性提供切实的支持。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 一般资料

本研究连续纳入 2020 年 1 月 1 日~2023 年 12 月 30 日青岛大学附属医院及市南区社区卫生服务中心就诊的 CHF 患者共 172 例。纳入标准：① 符合《中国心力衰竭诊断和治疗指南 2018》中关于 CHF 的诊断标准；② 左室射血分数(LVEF)在 45%及以下；③ 纽约心脏病协会(NYHA)心功能分级为II~III 级；④ 具有正常的视力、听力以及交流沟通能力；⑤ 对本研究知情同意。排除标准：① 患有急性心肌梗死、先天性心脏病、严重心律失常、心源性休克、恶性高血压等疾病的患者；② 严重肝肾功能衰竭、血液系统、自身免疫病及恶性肿瘤的患者；③ 严重神经退行性疾病、脑梗死后遗症、认知功能、言语功能障碍、严重精神分裂症、抑郁症的患者；④ 严重慢性阻塞性肺疾病、肺栓塞等疾病的患者。

### 2.2. 研究方法

本研究为多中心、前瞻性、随机、对照研究，研究方案已通过青岛大学附属医院医学伦理委员会的审核批准，伦理编号为：QYFYWZLL29157。随机化入组之前，所有患者均获得知情同意。

所有研究对象均在入组后 48 小时之内完善信息采集，并以 1:1 的比例随机分为三维模式观察组，传感器联合三维模式观察组，按照心衰指南指导给予常规新四联抗心衰用药，如  $\beta$  受体阻滞剂、ACEI/ARB、SGLT2i 和螺内酯等药物，干预时间为 6 个月，若有其他症状予对症处理。两组患者均给予常规随访，实施常规管理：疾病治疗与检测、饮食运动指导、用药护理、心理护理、健康宣教、门诊或者电话随访。

(1) 三维模式观察组：在常规管理基础上给予医院社区家庭三维模式管理，包括阶梯式健康教育(初级健康教育、中级健康教育、高级健康教育)以及结合医院、社区、家庭的三维一体化管理。具体实施策略如下：① 组建多学科的管理干预团队，成员构成涵盖心内科专家、专科护士、社区基层医疗团队以及患者家庭的核心成员。制定全面管理计划，内容涵盖患者健康教育、个性化饮食规划、精准用药指导、个体化心脏康复训练方案以及定期的健康复诊等。② 心内科的专业医护人员定期下沉社区，开展专题健康宣教，向患者及其家属讲解健康知识，特别强调健康生活习惯、坚持药物治疗及定期复诊的重要性。③ 社区家庭医生团队与患者家庭保持紧密联系，通过家庭医生随诊、健康讲座、组织患者分享交流会等多元化社区活动，鼓励患者彼此交流沟通，以此增强患者治疗信心，为患者提供全方位管理支持。④ 赋予患者家庭重要角色，鼓励引导患者家属参与患者健康管理，包括患者的日常照护、监督用药、情绪疏导，及时反馈患者健康状况、用药依从性等。社区医护人员依托患者家庭的支持，建立监管数据库，并通过组建微信群、QQ 群等线上方式，向患者发送心血管疾病的相关健康知识，及时接收患者家庭反馈的健康状况，确保在紧急情况下患者及家属能够迅速联系到心内科专家，获得及时、专业的指导与帮助。

(2) 传感器联合三维模式观察组：在三维模式观察组的基础上采用无创心衰评估系统收集患者心率、血压、血氧等数据，给予联合管理。具体实施策略如下：① 指导患者及其家属了解此传感器设备，并通过智能手机以蓝牙方式与超灵敏脉波传感器进行连接，叮嘱患者坚持佩戴；② 根据患者所佩戴的超灵敏脉波传感器所监测的血压、心率，以及主观反馈症状如头晕、乏力等实际情况对药物剂量及时进行调整及作出相应处理。③ 在佩戴周期结束后，团队将远程设备所储存的血压、心率、血氧等信息进行整合分析，根据患者的指标变化及自身症状再次给予评估，根据结果给予治疗方案的调整。

对两组人群第 1、3、6 月定期进行随访评估，根据患者的病情变化给予用药指导以及健康教育，期间如果出现病情变化可随时就诊。随访完成后，将采集的两组患者第 1、3、6 月的指标进行统计分析。

### 2.3. 观察指标

(1) 一般基线及生化资料：性别、年龄、BMI、既往史、吸烟史、空腹血糖，血红蛋白，NT-proBNP，

血浆 HDL、eGFR、Cr、SUA、TG、TC、LDL、ALT、AST、K<sup>+</sup>等。

(2) 检查指标：心脏超声。

(3) 症状与体征指标：体重、身高、BMI、坐位动脉血压、心衰症状、静息心率、外周血氧饱和度、肺啰音、外周性水肿。

(4) 生活质量指标：6 分钟步行试验，明尼苏达心力衰竭生活质量调查表。

(5) 预后：患者 6 个月期间的再住院率。

## 2.4. 统计学方法

采用 SPSS25.0 软件进行统计学分析。计量资料均通过 Shapiro Wilk test P 检验判断是否为正态分布，两组间比较采用秩和检验 Wilcoxon rank sum test；分类变量以例(率)表示，组间比较采用卡方检验。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 3. 结果

### 3.1. 基线及生化资料比较

本前瞻性研究共纳入临床观察心力衰竭患者 172 例，其中三维模式观察组 86 例，传感器联合三维模式观察组 86 例。三维模式观察组中男 53 例(62%)，女 33 例(38%)；传感器联合三维模式观察组中男 51 例(59%)，女 35 例(41%)。两组患者在年龄、性别、BMI、原发病、血浆 HDL、eGFR、Cr、TG、TC、HDL、LDL、AST、ALT、NT-proBNP、LVEF、6MWT、MLHFQ 等基线及生化资料方面，组间比较无统计学差异( $P > 0.05$ )。见表 1。

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

**表 1.** 两组患者基线资料比较

变量	观察组	联合观察组	Overall, N = 172 <sup>1</sup>	观察组, N = 86 <sup>1</sup>	联合观察组, N = 86 <sup>1</sup>	P-value <sup>2</sup>
Gender						0.755
1			104 (60%)	53 (62%)	51 (59%)	
2			68 (40%)	33 (38%)	35 (41%)	
Age	0.092	0.001	64 (57, 69)	65 (57, 70)	64 (56, 68)	0.358
BMI	0.000	0.002	24.70 (23.70, 26.43)	24.75 (23.60, 26.63)	24.50 (23.83, 26.40)	0.957
Smoking						0.639
0			105 (61%)	54 (63%)	51 (59%)	
1			67 (39%)	32 (37%)	35 (41%)	
Drinking						0.647
0			89 (52%)	46 (53%)	43 (50%)	
1			83 (48%)	40 (47%)	43 (50%)	
Hypertension						0.647
0			91 (53%)	47 (55%)	44 (51%)	
1			81 (47%)	39 (45%)	42 (49%)	
Diabetes						0.876
0			103 (60%)	51 (59%)	52 (60%)	

续表

	1		69 (40%)	35 (41%)	34 (40%)	
FBG	0.000	0.001	5.70 (5.38, 6.54)	5.68 (5.36, 6.17)	5.79 (5.40, 6.80)	0.317
NT-proBNP.base	0.000	0.000	788 (483, 1645)	735 (469, 1793)	916 (491, 1594)	0.636
LVEF.base	0.020	0.033	0.36 (0.32, 0.40)	0.37 (0.31, 0.40)	0.36 (0.32, 0.40)	0.784
6MWT.base	0.470	0.001	405 (380, 430)	406 (385, 425)	405 (376, 435)	0.863
MLHFQ.base	0.079	0.054	52.0 (49.0, 55.0)	52.0 (49.0, 54.0)	52.5 (49.3, 56.0)	0.202
WBC	0.090	0.354	6.56 (5.66, 7.44)	6.55 (5.65, 7.45)	6.58 (5.69, 7.44)	0.678
NEU%	0.001	0.735	66 (59, 68)	66 (59, 68)	66 (60, 69)	0.486
CRP	0.000	0.000	3.12 (2.36, 3.77)	3.05 (2.50, 3.73)	3.14 (2.33, 4.16)	0.836
ALT	0.000	0.000	23 (17, 32)	23 (16, 33)	24 (17, 32)	0.504
AST	0.001	0.000	25 (18, 32)	25 (18, 31)	24 (19, 32)	0.759
TG	0.011	0.000	1.72 (1.56, 2.10)	1.76 (1.56, 2.07)	1.71 (1.55, 2.10)	0.841
TC	0.168	0.691	5.61 (5.16, 6.11)	5.66 (5.22, 5.99)	5.56 (4.88, 6.16)	0.460
LDH	0.022	0.004	3.04 (2.56, 3.37)	3.02 (2.60, 3.55)	3.07 (2.56, 3.32)	0.626
HDL	0.000	0.000	1.02 (0.90, 1.21)	1.02 (0.91, 1.23)	1.01 (0.89, 1.21)	0.541
UA	0.315	0.240	365 (307, 423)	350 (295, 439)	367 (325, 411)	0.782
CR	0.005	0.501	73 (65, 84)	70 (61, 84)	75 (68, 85)	0.109
K	0.001	0.146	3.99 (3.78, 4.31)	3.97 (3.76, 4.34)	3.99 (3.85, 4.27)	0.627

<sup>1</sup>n (%); Median (IQR)<sup>2</sup>Pearson's Chi-squared test; Wilcoxon rank sum test

### 3.2. NT-proBNP、LVEF 值的比较

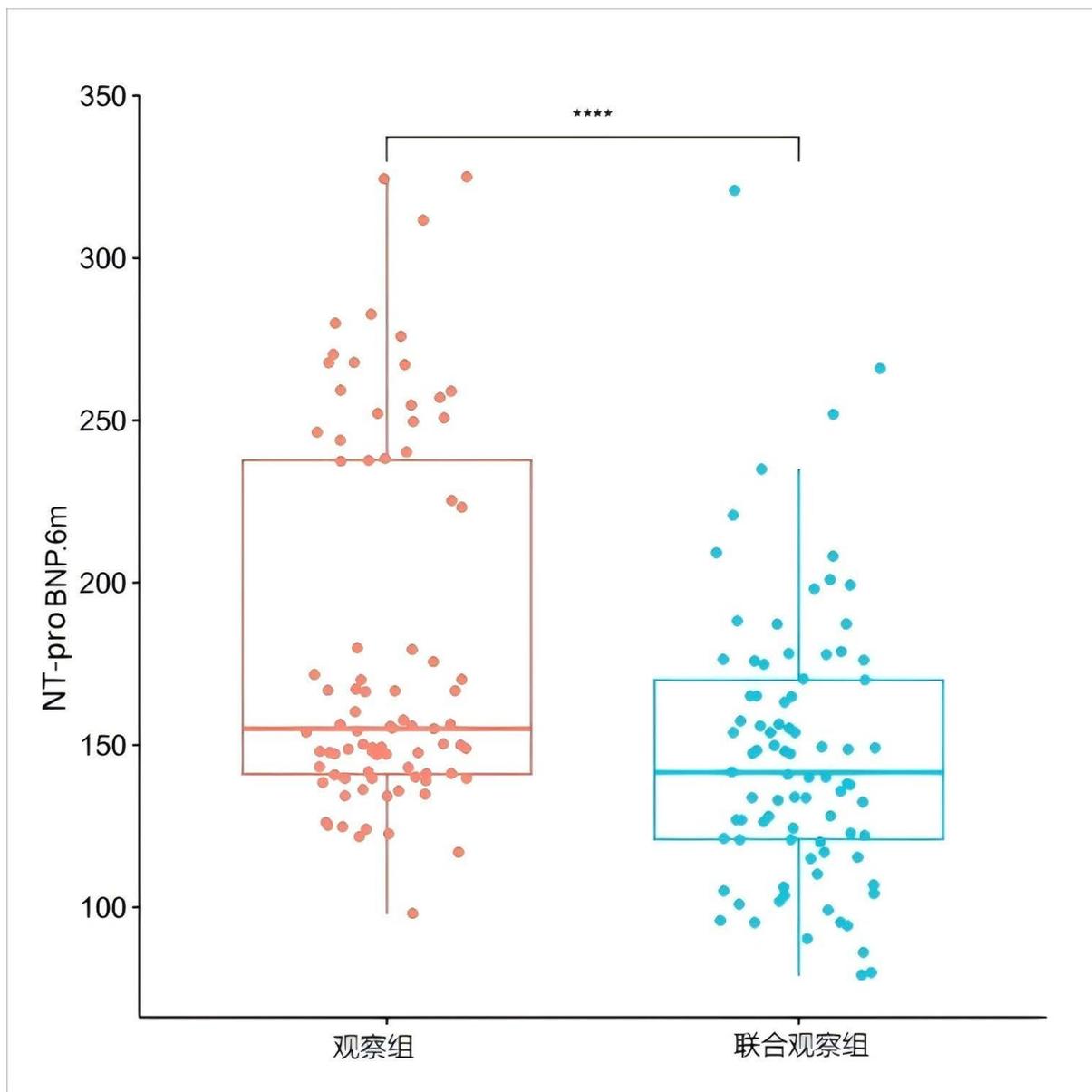
两组患者干预前 NT-proBNP、LVEF 值组间比较无统计学差异( $P > 0.05$ )。干预后两组间比较 NT-proBNP 水平有统计学差异( $P < 0.05$ )，联合观察组疗效优于观察组。两组间比较 LVEF 值水平有统计学差异( $P < 0.05$ )，联合观察组疗效优于观察组( $P < 0.05$ )。见表 2、表 3，图 1、图 2。

**Table 2.** Comparison of NT-proBNP value by the two patient groups

**表 2.** 两组患者 NT-proBNP 值比较

变量	观察组	联合观察组	Overall, N = 172 <sup>1</sup>	观察组, N = 86 <sup>1</sup>	联合观察组, N = 86 <sup>1</sup>	P-value <sup>2</sup>
NT-proBNP.1m	0.000	0.000	385 (255, 634)	376 (266, 649)	410 (237, 627)	0.686
NT-proBNP.3m	0.000	0.000	249 (157, 325)	262 (178, 349)	209 (144, 311)	0.005
NT-proBNP.6m	0.000	0.000	149 (134, 178)	155 (141, 238)	142 (121, 170)	<0.001

<sup>1</sup>n (%); Median (IQR)<sup>2</sup>Pearson's Chi-squared test; Wilcoxon rank sum test



**Figure 1.** 6-month NT-proBNP value comparison between the two patient groups

**图 1.** 两组患者 6 个月 NT-proBNP 值比较

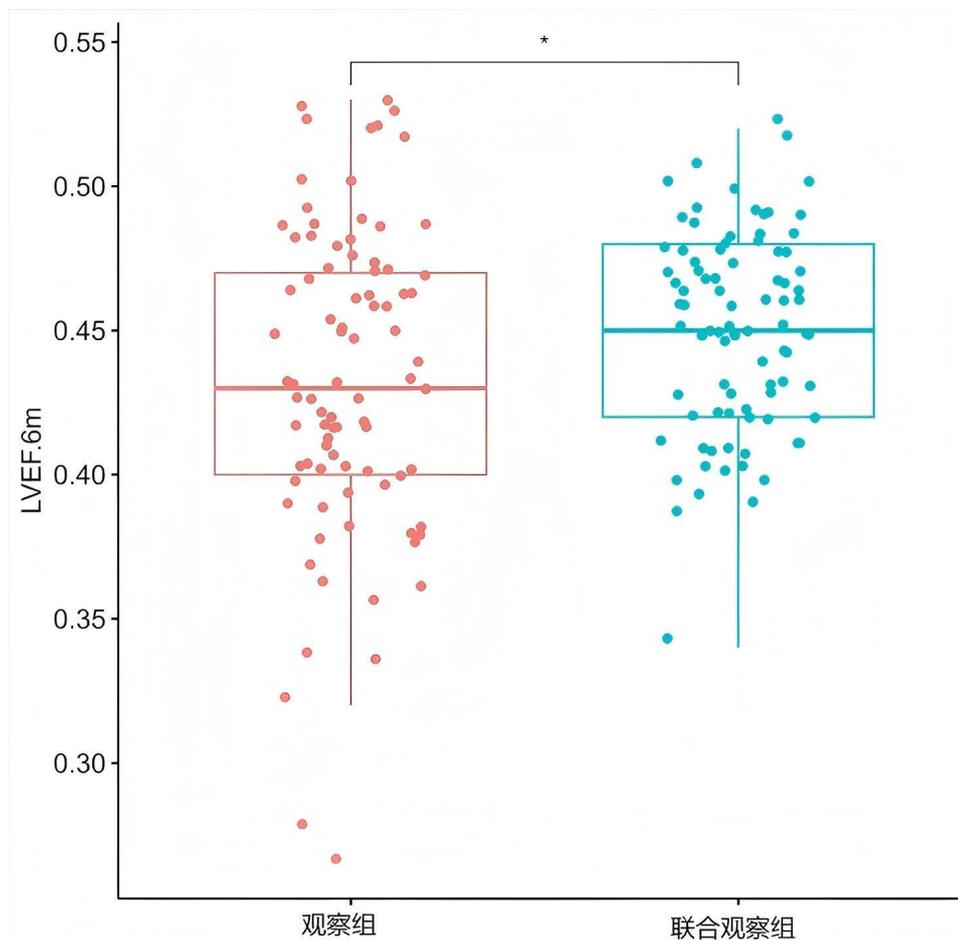
**Table 3.** Comparison of LVEF value between the two patient groups

**表 3.** 两组患者 LVEF 值比较

变量	观察组	联合观察组	Overall, N = 172 <sup>1</sup>	观察组, N = 86 <sup>1</sup>	联合观察组, N = 86 <sup>1</sup>	P-value <sup>2</sup>
LVEF.1m	0.138	0.006	0.39 (0.36, 0.42)	0.38 (0.34, 0.41)	0.40 (0.36, 0.43)	0.002
LVEF.3m	0.293	0.002	0.42 (0.39, 0.45)	0.40 (0.37, 0.44)	0.42 (0.39, 0.45)	0.026
LVEF.6m	0.072	0.055	0.45 (0.41, 0.47)	0.43 (0.40, 0.47)	0.45 (0.42, 0.48)	0.030

<sup>1</sup>n (%); Median (IQR)

<sup>2</sup>Pearson's Chi-squared test; Wilcoxon rank sum test



**Figure 2.** 6-month LVEF value comparison between the two patient groups  
**图 2.** 两组患者 6 个月 LVEF 值比较

### 3.3. 6MWT、MLHFQ 的变化

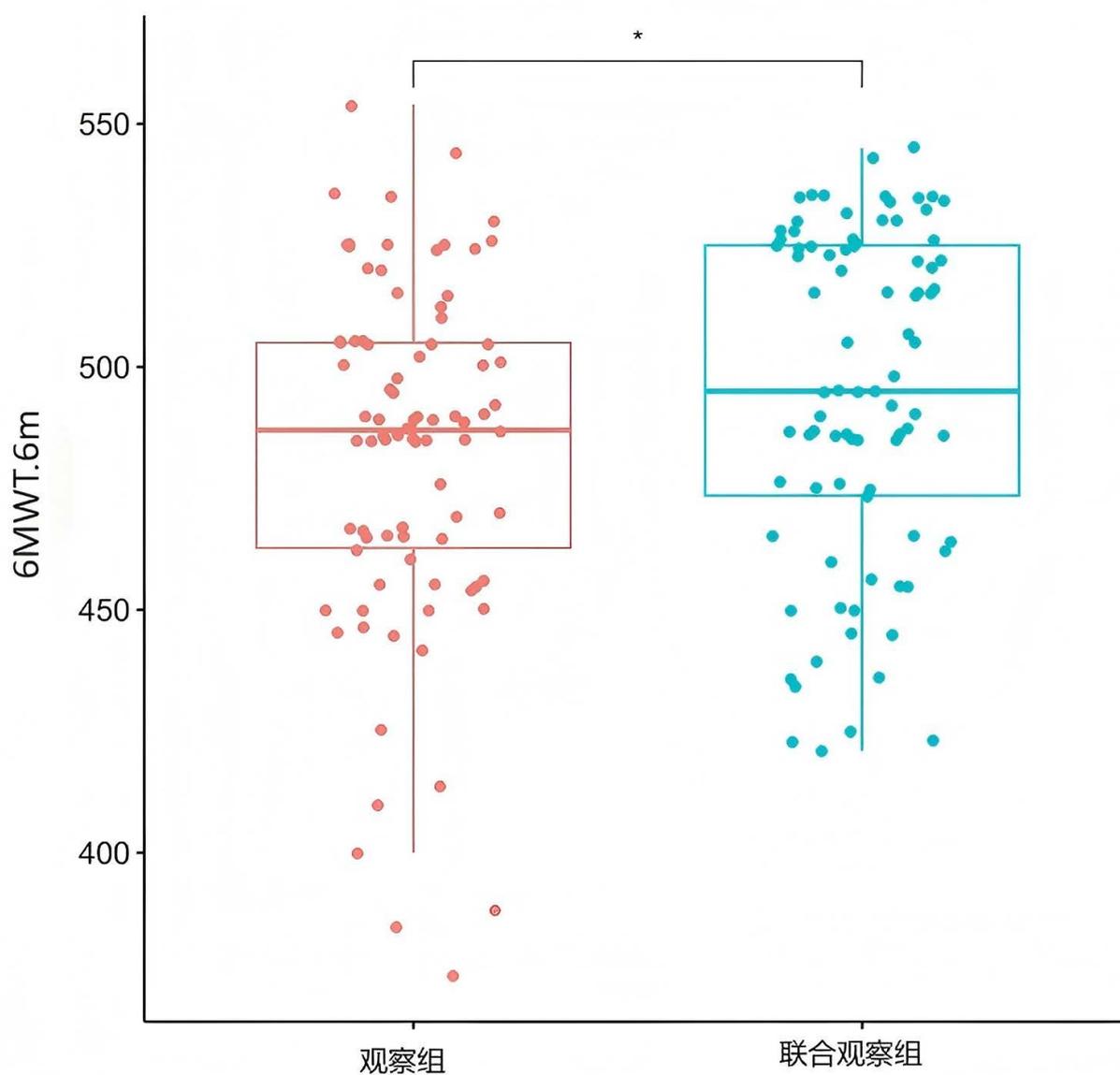
干预前，6MWT 距离两组间比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ )；干预后，联合观察组、观察组组间对比有统计学差异( $P < 0.05$ )。详见表 4、图 3。MLHFQ 评分在干预前两组间比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ )；干预后，联合观察组、观察组组间对比后有统计学差异( $P < 0.05$ )。见表 4、表 5，图 3、图 4。

**Table 4.** Comparison of the 6MWT between the two patient groups  
**表 4.** 两组患者 6MWT 的比较

变量	观察组	联合观察组	Overall, N = 172 <sup>1</sup>	观察组, N = 86 <sup>1</sup>	联合观察组, N = 86 <sup>1</sup>	P-value <sup>2</sup>
6MWT.1m	0.015	0.002	435 (404, 455)	435 (396, 450)	437 (408, 459)	0.163
6MWT.3m	0.309	0.000	465 (434, 487)	456 (425, 480)	475 (435, 488)	0.025
6MWT.6m	0.004	0.000	490 (465, 521)	487 (463, 505)	495 (474, 525)	0.023

<sup>1</sup>n (%); Median (IQR)

<sup>2</sup>Pearson's Chi-squared test; Wilcoxon rank sum test



**Figure 3.** 6-month 6MWT comparison between the two patient groups

**图 3.** 两组患者 6 个月 6MWT 的比较

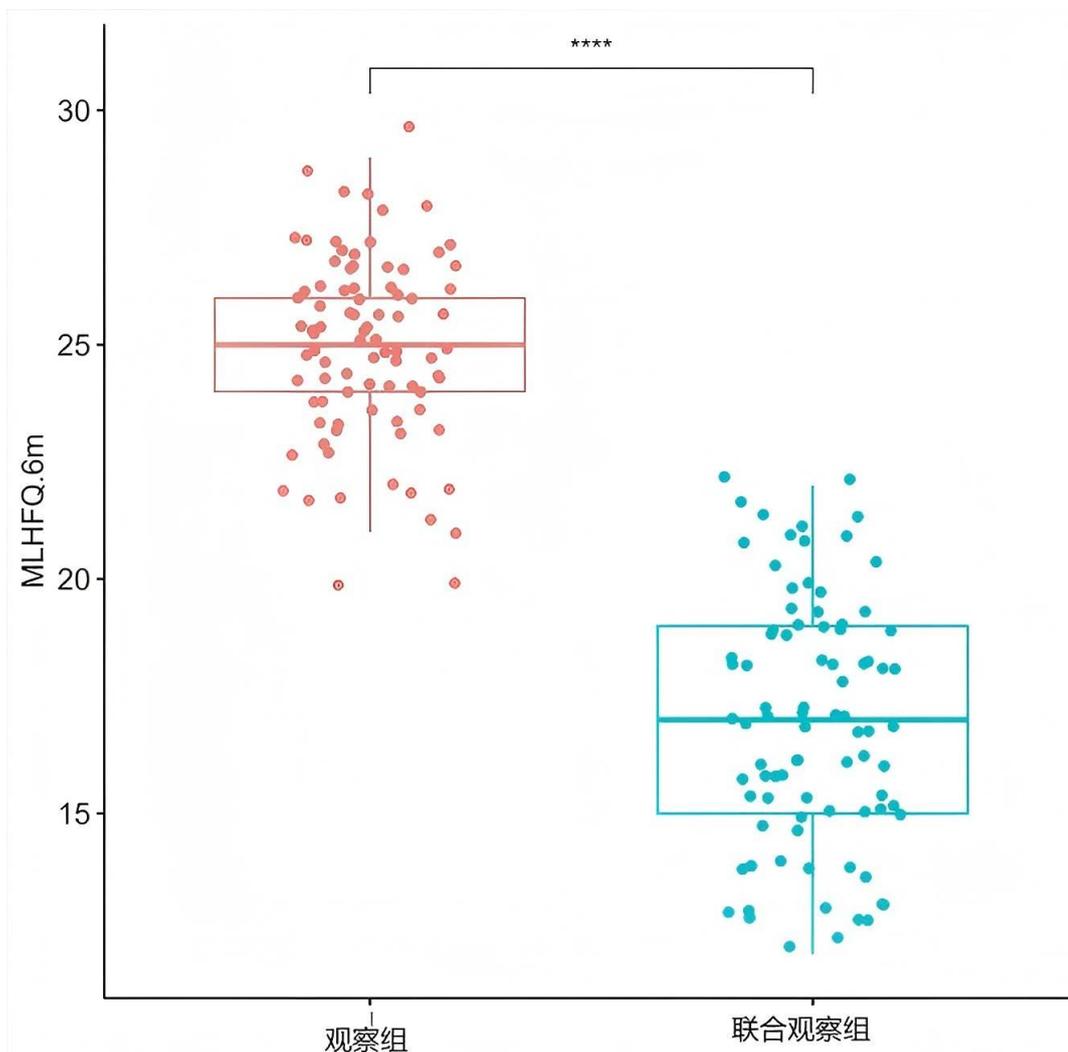
**Table 5.** MLHFQ score comparison by the two patient groups

**表 5.** 两组患者生活质量评分(MLHFQ)的比较

变量	观察组	联合观察组	Overall, N = 172 <sup>1</sup>	观察组, N = 86 <sup>1</sup>	联合观察组, N = 86 <sup>1</sup>	P-value <sup>2</sup>
MLHFQ.1m	0.005	0.050	40.0 (38.0, 42.0)	39.0 (38.0, 42.0)	40.0 (38.0, 42.0)	0.977
MLHFQ.3m	0.000	0.318	30.0 (27.0, 33.0)	32.0 (29.0, 36.0)	28.0 (26.0, 30.0)	<0.001
MLHFQ.6m	0.051	0.025	21.0 (17.0, 25.0)	25.0 (24.0, 26.0)	17.0 (15.0, 19.0)	<0.001

<sup>1</sup>n (%); Median (IQR)

<sup>2</sup>Pearson's Chi-squared test; Wilcoxon rank sum test



**Figure 4.** Six-month MLHFQ scores by the two patient groups  
**图 4.** 两组患者 6 个月 MLHFQ 的比较

### 3.4. 再住院率的变化

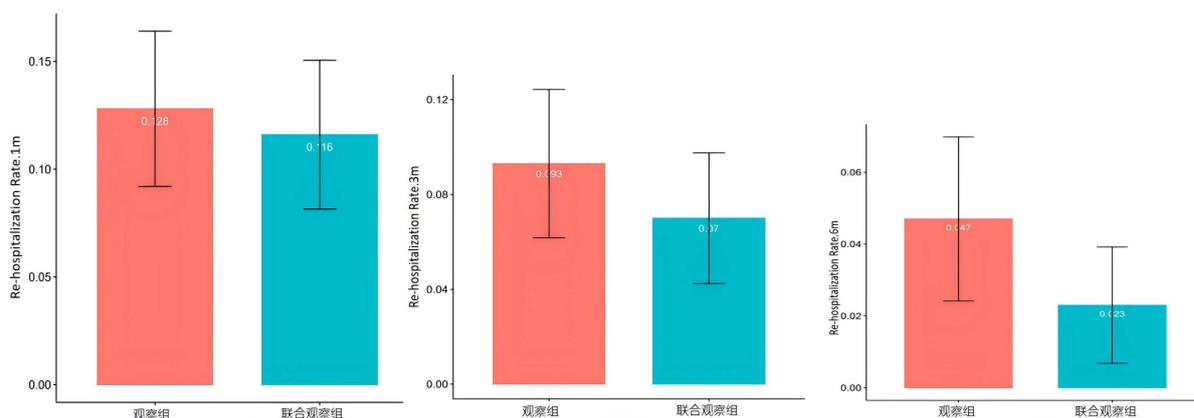
干预后，再住院率差异无统计学意义( $P > 0.05$ )，但存在下降趋势，下降幅度：联合观察组 > 观察组，见表 6，图 5。

**Table 6.** Re-hospitalization rate comparison by the two patient groups  
**表 6.** 两组患者再住院率的比较

变量	观察组	联合观察组	Overall, N = 172 <sup>1</sup>	观察组, N = 86 <sup>1</sup>	联合观察组, N = 86 <sup>1</sup>	P-value <sup>2</sup>
Re-hospitalization Rate.1m			21 (12%)	11 (13%)	10 (12%)	0.816
Re-hospitalization Rate.3m			14 (8.1%)	8 (9.3%)	6 (7.0%)	0.577
Re-hospitalization Rate.6m			6 (3.5%)	4 (4.7%)	2 (2.3%)	0.406

<sup>1</sup>n (%); Median (IQR)

<sup>2</sup>Pearson's Chi-squared test; Wilcoxon rank sum test



**Figure 5.** Comparison of rehospitalization rate bar plots between the two patient groups

**图 5.** 两组患者再住院率柱状图的比较

## 4. 讨论

### 4.1. 主要发现

通过超灵敏脉搏传感器联合三维模式管理在心衰患者管理中的应用, 实现多指标(脉搏频率、节律、强度和血压)动态监测与数据管理, 提高了患者治疗依从性, 降低 NT-proBNP 水平, 提升 LVEF 值, 降低再住院率, 改善患者预后; 增加患者 6MWT, 提高了患者的运动耐力, 改善了患者的生活质量。

### 4.2. 相关研究结果解读及机制探讨

#### 4.2.1. 新型慢病管理模式在慢性心衰管理中的应用

随着老龄化社会的进展, CHF 作为各种心血管疾病的终末期阶段已经成为重要的公共卫生问题[17]。虽然近年来其管理水平有所提高, 但中国目前尚无统一有效的心衰管理措施。基于我国人口庞大、医院之间水平差异大、患者依从性差等特点, 应探索用中国式办法破解我国心衰管理这个难题。近年来, 医院-社区-家庭三维模式的管理策略逐渐受到慢病管理的重视。该模式强调多方协作, 充分利用医院的专业资源、社区的支持服务以及家庭的参与, 形成一个全方位的健康管理模式。有研究显示, 三维模式的实施有助于帮助患者提高健康知识水平, 鼓励患者积极参与健康管理, 提升自我管理能力和, 从而降低再住院率[18][19]。研究也表明, 三维模式管理能够有效识别患者的高风险因素, 及时进行干预, 从而减少急性加重发生率[20]。数据显示, 使用三维管理模式的患者在出院后的再入院率降低约 30%, 而住院时间平均缩短 15% [21]。

本课题设计的团队拥有心内科专科医生、专科护理、药学、康复、营养等多学科医务人员共同组成, 覆盖了从医院到社区、家庭的治疗全过程, 以患者为中心, 为心衰患者提供个性化诊疗方案, 通过健康状况反馈机制, 专业团队能够及时向患者提供健康指导与干预措施; 重视患者的健康教育, 采用阶梯式宣教与管理的方法, 多层次、全方位加强患者的依从性。强化了患者的自我管理能力, 提高自身健康素养和自我管理水平。

#### 4.2.2. 可穿戴传感器联合新型慢病管理模式对心衰慢病管理的影响

慢性心力衰竭(CHF)是一种复杂的临床综合征, 近年来其患病率和死亡率均呈上升趋势, 严重影响患者的生活质量和社会经济负担。心力衰竭患者常伴有多种合并症, 如高血压、糖尿病及慢性肾病等, 导致其预后较差。因此, 早期识别和有效管理心力衰竭至关重要。随着医疗技术的进步, 利用新兴的监测

技术和管理模式为 CHF 患者提供个性化的健康管理方案成为新的研究趋势。《中国心血管健康与疾病报告》指出,“互联网 + 智慧医疗”的构想已成为心血管疾病预防控制及提升医疗质量不可或缺的关键策略。在推动医疗领域的信息化建设的进程当中,深度融合了卫生信息技术、远程诊疗、智能医疗等高科技元素,并依托大数据分析能力,实现优化资源配置、提升医疗服务效率与精准度,能够有效应对心血管疾病的挑战,促进整体医疗质量的稳步提升[22]。因此,在心力衰竭新管理模式中,同样可以借用智慧医疗、网络平台进行远程医疗,还可以通过患者管理群及直播患教形式实现自我管理、远程监督,从而使更多慢病患者得到系统化、规范化、全程化的管理。

本课题将基于互联网的超灵敏脉波传感器与医院 - 社区 - 家庭三维模式管理联合起来,应用于慢性心力衰竭患者的日常管理中,通过干预后观察组与联合观察组的 LVEF 值显著升高,NT-proBNP 水平显著降低,且联合观察组的效果最为显著,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),这一结果表明,该干预措施能够有效减轻心衰患者的心脏负担,改善心脏功能。此外,干预后 6MWT 距离增加,MLHFQ 评分降低,联合观察组效果最佳,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),进一步支持了超灵敏脉波传感器联合三维模式管理在提升患者生活质量方面的有效性。尽管在随访期间再住院率的差异未达到统计学显著性,但再住院率呈下降趋势,且联合观察组的下降趋势明显,提示该干预措施可能在降低再住院风险方面具有潜在的临床意义。这一趋势可能与联合观察组在干预过程中接受了更为全面的管理和监测有关。超灵敏脉波传感器的应用在患者的病情监控和管理中发挥了重要作用,通过连续、无创监测多指标,医务人员可以通过超灵敏脉波传感器的监测数据以及患者反馈的自身症状及时与患者进行有效沟通,询问病情,给予患者治疗方案的调整,避免漏服药等问题,提高了患者的依从性及自我管理能力,能够有效控制血压、心率水平,提高了患者生活质量及预后。

### 4.3. 研究优势及创新性

本研究的创新点在于将超灵敏脉波传感器与医院、社区和家庭的三维模式相结合,形成了一种全新的慢性心力衰竭(CHF)患者管理策略。以往的研究大多集中于单一的管理模式,如药物治疗或健康教育,而本研究则通过整合多种管理手段,探讨了其对心衰患者预后的影响。采用的无创心衰评估系统,利用可穿戴设备实时监测患者的生理参数,增强了患者自我管理和家庭参与的能力;本研究进一步多层次诠释了现阶段互联网慢性病管理的问题,不仅立足于我国互联网慢性病管理的实际,提出互联网慢性病管理的对策建议,实现了医院 - 社区 - 家庭三维模式的上下联动,打破信息孤岛,更好地落实了我国的分级诊疗制度,实现信息共享。同时也强调了作为中间环节的社区卫生机构的重要性,强化了社区机构在互联网慢性病管理中的能力,调动患者参与健康管理的积极性,进一步改善患者生活质量。

### 4.4. 本研究的不足及未来研究方向的思考

尽管本研究取得了一定的成果,但仍存在一些局限性。首先,鉴于本研究为前瞻性研究,因此存在样本量相对较小和临床数据相对较少的问题,可能导致结果的普适性受到限制;其次,随访时间为 6 个月,无法评估长期干预效果和患者预后的持续改善。因此,未来的研究应考虑多中心设计、增加样本量以及延长随访时间,以进一步验证超灵敏脉波传感器联合医院社区家庭三维模式对心力衰竭患者管理的长期效果。

## 5. 结论

综上所述,超灵敏脉波传感器联合医院社区家庭三维模式在慢性心力衰竭患者管理中显示出显著的改进效果。经过干预随访后,患者的左心室射血分数(LVEF)显著提高,N 端前脑钠尿肽(NT-proBNP)水平

显著降低, 6 分钟步行试验(6MWT)距离增加, 生活质量评分改善, 同时再住院率呈下降趋势。这些结果表明该管理模式不仅能够有效提高患者的生存质量, 还可能降低再住院风险, 为慢性心力衰竭患者的管理提供了新的思路与方法, 具有良好的临床应用前景。

## 作者贡献

房辉负责实验实施及文章撰写; 冷楠楠、赵丹、李锋、彭青参与实验实施; 房辉与张文忠负责文章修订; 房辉和张文忠共同完成研究设计与文章审校。全体作者均阅读并确认最终稿件内容。

## 基金项目

超灵敏脉搏传感器联合社区医院家庭三维模式管理在慢性心力衰竭中的应用项目(项目编号 2023-2-023-YY)(山东省青岛市市南区科技基金资助项目)。

## 参考文献

- [1] Bui, A.L., Horwich, T.B. and Fonarow, G.C. (2010) Epidemiology and Risk Profile of Heart Failure. *Nature Reviews Cardiology*, **8**, 30-41. <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2010.165>
- [2] Cai, A., Qiu, W., Zhou, Y., Feng, Y., Chen, J., Xia, S., *et al.* (2022) Clinical Characteristics and 1-Year Outcomes in Hospitalized Patients with Heart Failure with Preserved Ejection Fraction: Results from the China Cardiovascular Association Database-Heart Failure Center Registry. *European Journal of Heart Failure*, **24**, 2048-2062. <https://doi.org/10.1002/ejhf.2654>
- [3] Roger, V.L. (2021) Epidemiology of Heart Failure. *Circulation Research*, **128**, 1421-1434. <https://doi.org/10.1161/circresaha.121.318172>
- [4] 赵田田, 李萍. 多学科协作护理在慢性心衰合并高血压患者中的应用[J]. 黑龙江医学, 2020, 44(3): 407-408.
- [5] 李世军. 老年心力衰竭流行病学和病理生理学及预后的研究进展[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2021, 23(3): 318-320.
- [6] 汪冰清, 宋永霞, 何红叶, 等. 慢性心力衰竭患者自我护理影响因素的研究进展[J]. 护理学报, 2020, 27(2): 33-37.
- [7] 杜颖平. 自我管理在慢性心力衰竭病人护理中的应用[J]. 护理研究, 2018, 32(8): 1327-1328.
- [8] 胡康勇, 叶海标, 陈宏爱. 医院-社区-家庭一体化模式在严重精神障碍患者管理中的应用[J]. 海南医学, 2018, 29(10): 1389-1391.
- [9] Wang, S., Wu, D., Li, G., Song, X., Qiao, A., Li, R., *et al.* (2022) A Machine Learning Strategy for Fast Prediction of Cardiac Function Based on Peripheral Pulse Wave. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, **216**, Article ID: 106664. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.106664>
- [10] Romagnoli, S., Ripanti, F., Morettini, M., Burattini, L. and Sbröllini, A. (2023) Wearable and Portable Devices for Acquisition of Cardiac Signals While Practicing Sport: A Scoping Review. *Sensors*, **23**, Article 3350. <https://doi.org/10.3390/s23063350>
- [11] Deng, Z., Guo, L., Chen, X. and Wu, W. (2023) Smart Wearable Systems for Health Monitoring. *Sensors*, **23**, Article 2479. <https://doi.org/10.3390/s23052479>
- [12] Lohse, K. and Weir, J. (2021) The Genome Sequence of the Meadow Brown, *Maniola jurtina* (Linnaeus, 1758). *Wellcome Open Research*, **6**, Article 296. <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.17304.1>
- [13] 杨君仪, 徐晓龙, 莫华清, 等. 一种基于云计算的老年人健康监测系统设计[J]. 微处理机, 2016, 37(4): 71-74, 78.
- [14] 李雄英, 董庆贺, 何倩, 等. 面向智慧医疗云的 SDN 动态负载均衡方法[J]. 计算机科学, 2018, 45(11): 75-81.
- [15] 贾顺贺, 陈建飞, 陈古运, 等. 基于 MVC 架构的个人健康信息管理系统设计与实现[J]. 计算机应用与软件, 2018, 35(3): 43-48.
- [16] 刘航, 腾峭莹, 曲晓鹏, 等. 基于大数据的社区老年用户智能监测系统的研究与设计[J]. 智能计算机与应用, 2018, 8(6): 104-107.
- [17] Kozak, A.T., Rucker-Whitaker, C., Basu, S., Mendes de Leon, C.F., Calvin, J.E., Grady, K.L., *et al.* (2007) Elements of Nonpharmacologic Interventions That Prevent Progression of Heart Failure: A Meta-Analysis. *Congestive Heart Failure*, **13**, 280-287. <https://doi.org/10.1111/j.1527-5299.2007.07236.x>

- [18] Henke, R.M., Karaca, Z., Lin, H., Wier, L.M., Marder, W. and Wong, H.S. (2015) Patient Factors Contributing to Variation in Same-Hospital Readmission Rate. *Medical Care Research and Review*, **72**, 338-358. <https://doi.org/10.1177/1077558715577478>
- [19] Synhorst, D.C., Hall, M., Harris, M., Gay, J.C., Peltz, A., Auger, K.A., *et al.* (2020) Hospital Observation Status and Readmission Rates. *Pediatrics*, **146**, e2020003954. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-003954>
- [20] Yu, R., Wang, C., Du, X., Bai, X., Tong, Y., Chen, H., *et al.* (2024) *In-Situ* Forming Ultra-Mechanically Sensitive Materials for High-Sensitivity Stretchable Fiber Strain Sensors. *National Science Review*, **11**, nwae158. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwae158>
- [21] Wang, J., Zhu, X., Wang, S., *et al.* (2023) Phosphoproteomic and Proteomic Profiling in Post-Infarction Chronic Heart Failure. *Frontiers in Pharmacology*, **14**, Article 1181622.
- [22] 刘泽华, 夏有兵, 赵高潮, 等. 基于数字健康家庭服务与中医杂合以治理论的心脑血管病二级预防管理研究[J]. 现代医药卫生, 2024, 40(16): 2809-2812, 2819.