

# 可穿戴 12 导联智能心电衣在肺血管介入术后的应用

赵甜, 王雪纯, 李发久, 胡钰, 陈莹, 刘恩红, 周琴, 曹琴琴, 黄莹, 金宵, 刘爽

**摘要:**目的 探讨可穿戴 12 导联智能心电衣在肺血管介入术后患者心电监测中的应用效果。方法 将 88 例肺血管介入术后患者随机分为对照组与观察组各 44 例。对照组应用传统心电图机进行心电监测, 观察组应用无创可穿戴 12 导联智能心电衣进行心电监测。比较两组监测 24 h 心律失常检出率、患者体验舒适度及护理人员使用满意度。结果 观察组期前收缩、心率变异性异常、房性心动过速检出率显著高于对照组(均  $P < 0.05$ ), 患者体验舒适度及护理人员使用满意度显著高于对照组(均  $P < 0.05$ )。结论 可穿戴 12 导联智能心电衣穿着舒适, 能及时发现患者心律失常, 保障患者安全。

**关键词:**肺血管疾病; 肺血管介入术; 心电监护; 智能心电衣; 心律失常; 患者体验; 内科护理

**中图分类号:**R473.5 **DOI:**10.3870/j.issn.1001-4152.2025.16.049

## Application of a wearable 12-lead intelligent ECG vest for post-procedural monitoring following pulmonary vascular intervention

Zhao Tian, Wang Xuechun, Li Fajiu, Hu Yu, Chen Ying, Liu Enhong, Zhou Qin, Cao Qinqin, Huang Ying, Jin Xiao, Liu Shuang, Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Jianghan University Affiliated Hospital, Wuhan 430015, China

**Abstract:** **Objective** To evaluate the effectiveness of a wearable 12-lead intelligent ECG vest for post-procedural monitoring following pulmonary vascular intervention. **Methods** Eighty-eight patients undergoing pulmonary vascular intervention were randomized to receive post-procedural monitoring with either a traditional ECG device (control group,  $n=44$ ) or a non-invasive wearable intelligent ECG vest (observation group,  $n=44$ ). Arrhythmia detection rates within post-operative 24 h, patient comfort, and nursing staff satisfaction were compared between the two groups. **Results** Compared to the control group, the observation group demonstrated significantly higher detection rates for premature complexes, abnormal heart rate variability, and atrial tachycardia (all  $P < 0.05$ ). Patient comfort and nursing staff satisfaction were also significantly higher in the observation group (both  $P < 0.05$ ). **Conclusion** The wearable intelligent ECG vest provides enhanced patient comfort and facilitates real-time arrhythmia identification, thereby improving patient safety during post-procedural ambulatory monitoring.

**Keywords:** pulmonary vascular disease; pulmonary vascular intervention; ECG monitoring; intelligent ECG vest; arrhythmia; patient experience; internal medicine nursing

肺血管介入术主要用于肺血管疾病的诊断与治疗, 手术包括右心导管术及肺动脉造影术、肺血管栓塞术及肺血管开通术等<sup>[1-2]</sup>。心律失常是肺动脉高压的常见并发症之一, 肺动脉高压患者心律失常发生率约为 44.4%<sup>[3]</sup>。确诊急性肺栓塞 24 h 内约 50% 的患者发生心律失常<sup>[4]</sup>。研究表明, 心血管介入治疗后发生再灌注心律失常的风险较高<sup>[5-6]</sup>。肺血管介入术也面临再灌注肺水肿及心率加快、心房颤动等问题<sup>[7]</sup>。且肺血管亦参与人体循环, 右心室的血液进入肺动脉, 再经肺静脉的毛细血管网回流至右心房, 因此肺血管与心脏系统紧密相连, 肺血管介入术后可能会继发心脏系统相关不良事件。临床上常用心电图机或 24 h Holter 心电监护系统监测心律失常。但是, 心脏疾病往往发病突然, 病理性电信号很难及时发现, 且医院的 12 导联心电图机仅能记录约 30 s 的片段心电图, 难以捕捉出一些非持续的异常生物电信号。Holter 心电监护系统虽然能够实现在医院外 24

h 持续监测并准确记录患者正常活动下的心脏情况, 但结果要等到电信号被存储下来后再由技师或医生判读, 无法及时预警。近年来, 研究人员研制了可穿戴心电监测系统, 但存在使用场景受限、舒适性差、衣服电极贴合不佳或对信号要求高等问题<sup>[8]</sup>。可穿戴 12 导联智能心电衣(下称智能心电衣)柔软舒适且能实现 24 h 长程监测, 发现并预警隐匿性、一过性心血管疾病。我科将智能心电衣应用于肺血管介入术后患者心律失常的识别及预警, 并与床边心电图机的监测效果进行比较, 旨在促进肺血管介入患者术后心脏突发事件的早期发现, 保障患者安全。报告如下。

### 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 选择 2024 年 1—7 月在我院行肺血管介入术的患者为研究对象。纳入标准: ①年龄  $\geq 14$  岁; ②符合肺血管介入术标准; ③有认知和行为能力; ④自愿参加本研究。排除标准: ①精神异常; ②有语言障碍、沟通障碍; ③孕妇; ④皮肤异常敏感; ⑤大面积的皮肤感染、烧伤; ⑥某些全身性皮肤病, 如全身性重症银屑病、中毒性表皮坏死松懈症、恶性大疱性红斑等。设两组样本量相同, 根据样本量估算公式<sup>[9]</sup>:  $n_1 = n_2 = 1/2[(u_{\alpha/2} + u_{\beta}) / (\sin^{-1} \sqrt{p_1} - \sin^{-1} \sqrt{p_2})]^2$ , 采

作者单位: 江汉大学附属医院呼吸与危重症医学科(湖北武汉, 430015)

通信作者: 王雪纯, wangxexhy@163.com

赵甜: 女, 本科, 主管护师, 277639858@qq.com

收稿: 2025-02-05; 修回: 2025-04-08

用双侧检验,  $\alpha=0.05$ , 则  $u_{\alpha/2}=1.96$ ;  $\beta$  取 0.10,  $u_{\beta}=1.28$ ; 相关研究<sup>[10]</sup>指出, 两组心律失常检出率  $p_1$ 、 $p_2$  分别为 27.9%、63.2%, 则  $n_1=n_2=40$ , 考虑 10% 的脱落率, 每组需要 44 例。采用类实验研究设计, 将

2024 年 1—3 月收治的 44 例患者作为对照组, 2024 年 4—7 月收治的 44 例患者作为干预组。两组一般资料比较, 见表 1。本研究已通过本院伦理委员会批准(WHSHIRB-K-2024002)。

表 1 两组一般资料比较

组别	例数	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$ )	文化程度(例)			支付方式(例)	
		男	女		小学及以下	中学/中专	大专及以上学历	医保或商业保险	新农合
对照组	44	26	18	60.02±14.80	9	20	15	27	17
观察组	44	23	21	60.50±15.10	10	19	15	24	20
统计量		$\chi^2=0.414$		$t=0.150$	$Z=-0.130$			$\chi^2=0.420$	
<i>P</i>		0.520		0.881	0.896			0.517	

  

组别	例数	疾病诊断(例)					手术方式(例)					术前心律失常失常
		支气管扩张	肺癌	肺栓塞	肺动脉高压	支气管动脉肺动脉瘘	肺动脉栓塞术	肺动脉栓塞术+肺动脉造影	右心导管+肺动脉造影	肺动脉栓塞术+右心导管+肺动脉造影	其他	
对照组	44	16	4	14	5	5	5	5	11	15	8	6
观察组	44	13	3	6	12	10	2	1	10	22	9	5
统计量		$\chi^2=8.414$					$\chi^2=0.182$					
<i>P</i>		0.078					0.269*					0.670

注: \* 为 Fisher 精确概率法。

## 1.2 心电数据采集方法

### 1.2.1 对照组

患者介入术返回病房后, 常规采用 24 h 床旁心电监测进行生命体征监测。考虑到本科室仪器设备多、报警频发等现实原因, 本研究将 24 h 心电监护作为两组常规监测病情的手段, 不采集其心律失常报警数据。同时, 分别于术后即刻、术后 12 h 及术后 24 h 采用床边心电图机采集 18 导联心电数据。护士使用床边心电图机(型号 EDAN SE-1280)对患者进行心电数据采集。采集前检查心电图机功能, 在患者卧床休息 5 min 后, 取平卧位并充分暴露前胸、双侧手腕以及足踝, 使用 75%乙醇擦拭接触导联的皮肤, 依次连接 6 个胸壁导联; 采集时嘱患者保持全身放松、不随意活动肢体、平稳呼吸; 采集后将数据立即上传, 后台经人工判读结果后上传至医生系统进行判读。

### 1.2.2 观察组

常规采用 24 h 床旁心电监测进行生命体征监测。同时, 采用智能心电衣(深圳新康医疗科技有限公司提供)收集心律失常心电数据。

#### 1.2.2.1 设备构造

智能心电衣由心电衣、心电网络系统(Holter 主机、智能软件)、充电仓、连接线和电池组成。智能心电衣为标准 12 导联, 内面设有 10 个银纤维柔性电极, 电极胸部导联为 V1~V6, 肢体导联为 R、L、F、N。心电衣为背心形状, 由尼龙及氨纶组成, 含 35% 新型莱卡纤维, 舒适弹力足, 排气透汗。心电衣外面腹部处有一可与连接线相连的金属扣。连接线通过接口与主机相连, 通过采集扣与心电衣金属扣相连。心电网络系统由 Holter 主机及智能软件组成, Holter 主机内置 4G 通讯模块, 4G 信号数据传输稳定, 如遇到信号不稳定或信号中断, 数据将被本地存储。主机佩戴完成后将进行动态心电实时监测。智能软件系统分为 3 个部分: 第 1 部分为心电网络系

统, 功能为预约登记、诊断、报告下载; 第 2 部分为实时监护平台; 第 3 部分为 AI 智能监测预警辅助实时监护平台, 进行 AI 智能监测预警。

#### 1.2.2.2 操作培训

在智能心电衣应用前, 科室操作培训老师(高年资主管护师)按照说明书及厂家提供的操作视频制订操作步骤及评分标准, 护士长审核。培训老师按照操作标准练习, 经护士长考核通过后, 对全科室护士面对面培训。培训结束后对护士进行考核, 考核通过的护士方可实施智能心电衣监测。同时由培训老师按操作标准录制操作视频, 总时长 5 min。操作视频分享至科室微信群供护士随时观看。

#### 1.2.2.3 应用方法

①准备工作: 检查产品配件是否完整。在计算机端软件系统输入患者信息及主机设备号进行人机信息匹配。②穿着智能心电衣: 患者术后返回病房, 责任护士安置好患者后, 向患者说明穿戴心电衣的相关事项。调整心电衣, 为患者穿上; 双手各拿住双侧拉手, 同时向前收紧, 调整衣服松紧后, 拉手贴紧魔术贴; 轻扯下摆, 调整肩带, 使衣服穿着平整舒适; 用手轻轻触碰每个电极, 确保电极面完全贴合皮肤; 向患者确认是否需要调整。③调试主机, 开启心电采集模式: 首先取出 Holter 主机, 轻轻拨动背部盖板锁扣, 解锁后即可打开电池盖板、放入电池并拨动锁扣锁紧盖板。电池组装完成后, 主机显示亮屏。将连接线一端采集扣与心电衣金属扣相连。对准后压紧金属扣与采集扣, 确保两者完全连接, 连接线另一端插头部分连接 Holter 主机, 插头完全插进 Holter 后, 主机部分连接完成。最后在主机上按确认键进入心电采集模式。按 4 次“确认”键即可进入心电采集。④开启心电监测: 智能软件实时监测患者心电状态, 责任护士每天下载并保存患者心电监测数据的结果。当出现异常心电时, AI 后台会智能捕捉信号

并通知医生诊断。⑤应用指导:告知患者佩戴中需留意心电衣平整度,如果发现过于松弛、电极折叠等,要及时调整平顺,保障电极接触;佩戴过程中避免剧烈运动,不可大幅度摆动手臂,减少上肢及胸廓过度运动;远离电磁辐射环境,如微波炉等,避免干扰心电信号采集;记录过程中不要打开电池盖,更不可取出电池;佩戴心电衣的过程中如有任何问题,立即咨询责任护士。

**1.3 评价方法** ①心律失常检出率:统计两组患者术后 24 h 内心律失常检出率。心律失常包括期前收缩(房性/室性)、心率变异性异常、短阵性房性心动过速、T 波改变、阵发性心房颤动、ST-T 改变等<sup>[11]</sup>。对照组通过 3 次心电图检查收集,任一次阳性即计为阳性。②患者设备舒适度体验:参考朱晨瑜<sup>[12]</sup>关于服装舒适度的研究,结合设备特点自行编制患者设备舒适度体验问卷。该问卷包含对日常活动干扰、总体舒适体验、使用意愿 3 个条目。采用 Likert 5 级评分法对各条目评分,从“非常不赞同”到“非常赞同”依次计 1~5 分,总分为 3~15 分。采集全部心电数据后现场发放问卷,研究护士讲解调查的目的、问卷填写方法,

取得调查对象同意后进行调查。③护士设备使用满意度:参考计虹等<sup>[13]</sup>关于对医疗信息系统使用满意度研究,自行编制问卷,评估护士对 2 种设备的使用满意度。包括空间需求(设备占用空间对护士操作的影响)、操作简便性、软件易用性(查看下载及打印报告)、数据安全性(网络不稳定、数据丢失、死机)、信息及时性(及时反馈异常)、数据的准确性以及总体满意度 7 个条目,采用 Likert 5 级评分法对各条目评分,从“非常不赞同”到“非常赞同”。第 1 个条目计分为 5~1 分,其余条目依次计 1~5 分,满分 35 分。请 5 名专家对问卷进行评价,其内容效度为 0.914。由研究护士现场发放纸质版满意度问卷,本研究共发放问卷 35 份,均有效回收。

**1.4 统计学方法** 数据采用 SPSS29.0 软件进行分析。计量资料服从正态分布以( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用 *t* 检验;计数资料比较采用  $\chi^2$  检验及 Fisher 精确概率法;等级资料比较采用 Wilcoxon 秩和检验。检验水准  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 两组心律失常检出率比较 见表 2。

表 2 两组心律失常检出率比较

组别	例数	房性期前收缩	室性期前收缩	心率变异性异常	房性心动过速	T 波改变	心房颤动	ST-T 改变
对照组	44	3(6.8)	1(2.3)	2(4.5)	0(0)	4(9.1)	1(2.3)	5(11.4)
观察组	44	39(88.6)	32(72.7)	16(36.4)	19(43.2)	7(15.9)	3(6.8)	3(6.8)
$\chi^2$		59.031	46.594	13.689	24.232	0.935	0.262	0.138
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.334	0.609	0.711

### 2.2 两组患者设备舒适度体验及护士对设备使用满意度评分比较 见表 3。

表 3 两组患者设备舒适度体验及护士对设备使用满意度评分比较

组别	例数	患者设备舒适度体验	护士对设备使用满意度
对照组	44	7.00±1.51	20.11±1.41
观察组	44	11.32±1.93	26.63±3.64
<i>t</i>		11.829	11.079
<i>P</i>		<0.001	<0.001

## 3 讨论

**3.1 智能心电衣的应用可提高心律失常检出率** 本研究结果显示,观察组患者期前收缩、心率变异性异常、房性心动过速检出率显著高于对照组(均  $P < 0.05$ )。肺血管介入是治疗肺动脉高压、肺栓塞、支气管扩张伴咯血等的重要手段。肺动脉高压主要影响右心系统,右心压力异常升高导致右心结构改变,右心重构及纤维化通过机械-电反馈机制使心肌细胞自律性增加、心肌复极异质性、机械离子门控通道表达而引起心律失常<sup>[14-15]</sup>。肺栓塞时肺血管阻力增加,使右心室压力容量增大、右心室扩张,进而使室壁张力

增大、肌纤维拉伸,影响右心室的收缩性。而右心室壁张力的增加使右冠状动脉供血相对不足,加之右心室心肌氧耗增多,引发心肌缺血,加重右心室功能不全,造成心室超负荷,继而可能诱发心律失常<sup>[16]</sup>。肺血管介入术因导管操作可能会导致严重心律失常、右束支传导阻滞或完全性心脏传导阻滞等并发症,在导管插入或撤出过程中,轻微的心律失常经常发生<sup>[17-19]</sup>。常规心电图或 24 h 动态心电图监测心律失常时,存在部分心律失常未被发现的现象。且由于多数心律失常具有突发突止的特点,某些阵发性心律失常还呈现出持续时间短的特点,心电图只有当患者在检测当时发作心律失常才能够进行诊断,对于阵发性或反复发作心律失常的患者,往往多次检查仍不能确诊<sup>[20]</sup>。因此,采取有效方法评估肺血管介入术后心律失常发生率非常重要。智能心电衣通过附着在皮肤表面的监测电极来收集人体心电数据,再通过无线技术将收集到的数据传输到计算机终端,AI 后台会智能捕捉异常心电信号,为临床诊断提供即时的心电数据,且智能心电衣无创、柔软舒适,可以长时间穿戴,能够实现长程、连续的动态心电监测,尤其是对偶发心律失常的检测,降低了心血管事件的漏诊率<sup>[21]</sup>,提高了心律失常检出率。

### 3.2 智能心电衣的应用提高了患者设备使用舒适度

本研究结果显示,观察组患者舒适体验得分显著高于对照组( $P < 0.05$ ),表明在采集心电数据时,使用智能心电衣能提高患者舒适度。传统心电图采集数据时需要涂抹大量的导电膏,易引起患者感觉不适甚至部分患者会发生皮肤瘙痒或过敏,而织物电极是导电材料通过纺织加工工艺织造的一种柔性干电极,柔软的织物电极可较好地适应皮肤的曲面并与其贴合,数据采集较为稳定,且具有良好的透气透湿及舒适性,不会引起皮肤过敏等问题<sup>[22]</sup>。智能心电衣穿着时没有体位限制,患者可随意移动。同时,智能心电衣使用莱卡运动布料,弹性好,排气透汗,患者在穿戴过程中舒适体验较好。

### 3.3 智能心电衣的应用可提高护士满意度

本研究结果显示,护士对观察组设备使用满意度总分显著高于对照组( $P < 0.05$ ),表明护士对智能心电衣的接受度较好。传统的心电图机有多条线缆,这些线缆必须通过多个电极连接到人体,操作方法较为复杂<sup>[23]</sup>。智能心电衣系统相比心电图机更轻巧便捷,主机体积及重量小,不需要占用病房空间,且操作比较简单,只需要穿戴好后确认数据采集正常即可,穿戴时对患者配合度要求较低;12导联数据同步采集,采集标准高,高含量导电纤维、银纤维电极极致贴肤,导电稳定,此外,4G信号数据传输稳定,保证了数据的准确及安全性。采集的数据实时记录,有异常会立刻反馈至后台并在软件系统弹出预警,可以及时发现心律失常,保障了患者安全,因而护士的使用满意度较高。

## 4 结论

本研究将智能心电衣应用在肺血管介入术后心电图监测中,可提高心律失常检出率,且患者在使用该设备过程中总体感到舒适,护士对智能心电衣的使用普遍感到满意。本研究样本量较小,且未与其他长程监测方法进行比较,未来的研究可扩大样本量,进一步对可穿戴智能心电衣临床应用的优点进行探讨。

### 参考文献:

[1] 张辉,胡海波,罗勤,等.肺血管疾病介入治疗的现状与进展[J].中国医药,2020,15(2):307-310.  
 [2] 吴仕波,江森.肺血管介入在呼吸系统疾病中的临床应用[J].现代实用医学,2022,34(1):1-3.  
 [3] Xue L, Yang Y C, Zhao Q, et al. The spectrum and prevalence of arrhythmia in different clinical pulmonary hypertension groups in Chinese population[J]. Clin Cardiol, 2022, 45(5): 495-502.  
 [4] 万建平,杨伟烙,杨旭丽,等.心率变异性 and 心律失常对急性肺栓塞预后的评估价值[J].实用心电图学杂志,2021,30(1):32-36.  
 [5] 臧佳佳,陈敬华.急性心肌梗死患者急诊介入术后发生再灌注心律失常的危险因素分析[J].临床医学工程,2024,

31(6):763-764.  
 [6] 林力扬,林玉霜.老年冠心病患者经皮冠状动脉介入治疗术后发生主要不良心血管事件的影响因素分析[J].中国现代药物应用,2024,18(11):48-51.  
 [7] 黎金玲,孙春燕,毛燕君,等.慢性血栓栓塞性肺动脉高压患者球囊肺血管成形术的护理[J].护理学杂志,2019,34(7):28-30.  
 [8] 王宪忠.穿戴式多生理参数健康监测系统的研制[D].长春:吉林大学,2017.  
 [9] 颜艳.医学统计学[M].5版.北京:人民卫生出版社,2020:525.  
 [10] Duncker D, Ding W Y, Etheridge S, et al. Smart wearables for cardiac monitoring: real-world use beyond atrial fibrillation[J]. Sensors (Basel), 2021, 21(7): 2539.  
 [11] 陈灏珠.心脏病学[M].北京:人民卫生出版社,2022:640-655.  
 [12] 朱晨瑜.基于服装舒适度模型的警用防弹背心舒适度分析[J].中国个体防护装备,2016(1):35-40.  
 [13] 计虹,金昌晓,郭岩.门诊医生工作站信息系统满意度调查与分析研究[J].中国医院,2010,14(2):54-56.  
 [14] Pfeuffer-Jovic E, Weiner S, Wilkens H, et al. Impact of the new definition of pulmonary hypertension according to world symposium of pulmonary hypertension 2018 on diagnosis of post-capillary pulmonary hypertension[J]. Int J Cardiol, 2021, 335: 105-110.  
 [15] 饶洋洋,周红梅,李艺,等.肺动脉高压合并心律失常的研究进展[J].临床心血管病杂志,2020,36(6):577-580.  
 [16] Konstantinides S V, Meyer G, Becattini C, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS)[J]. Eur Heart J, 2019, 41(4): 543-603.  
 [17] Bootsma I T, Boerma E C, Scheeren T W L, et al. The contemporary pulmonary artery catheter. Part 2: measurements, limitations, and clinical applications [J]. J Clin Monit Comput, 2022, 36(1): 17-31.  
 [18] 中华医学会呼吸病分会,中国医师协会呼吸医师分会,全国肺动脉高压标准化体系建设项目专家组,等.肺动脉造影操作规范专家共识[J].中华结核和呼吸杂志,2024,47(7):623-631.  
 [19] 刘创星,孟哲,邢钰,等.左心疾病相关肺动脉高压患者的心律失常患病率及相关因素[J].临床心血管病杂志,2023,39(1):10-15.  
 [20] Kirchhof P, Camm A J, Goette A, et al. Early rhythm-control therapy in patients with atrial fibrillation[J]. N Engl J Med, 2020, 383(14): 1305-1316.  
 [21] 肖学良,董科,何文涛,等.可穿戴电子服装中织物电极的研究进展[J].服装学报,2017,2(1):1-6.  
 [22] 董科,张玲,范佳璇,等.织物电极监测心电信号与穿戴压力作用机制分析[J].纺织学报,2019,40(9):75-82.  
 [23] 陈怡.可穿戴式心电监测设备对老年心律失常的临床诊断价值[D].成都:四川大学,2021.