

# 可穿戴压力监测系统对 ICU 患者压力性损伤发生的影响

雷花<sup>1a,2</sup>, 蒋文春<sup>1b</sup>, 李哲<sup>3</sup>, 曾斌<sup>1c</sup>, 陶彦灵<sup>1d</sup>, 李航<sup>3</sup>

1. 四川省医学科学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院) a. 康复医学科, b. 护理部, c. 外科监护室, d. 器官移植中心, 四川 成都 610072;  
2. 电子科技大学医学院, 四川 成都 610054; 3. 电子科技大学自动化工程学院人智能技术与系统教育部工程研究中心, 四川 成都 610054

**【摘要】 目的** 探讨基于可穿戴压力动态监测系统的翻身护理在预防 ICU 患者压力性损伤中的有效性和可行性。**方法** 采用目的抽样法纳入 2023 年 10 月至 2024 年 6 月我院外科 ICU 住院患者 298 例, 按 1:1 比例随机分入穿戴组与常规组各 149 例。穿戴组使用可穿戴压力动态监测系统的视听提醒按需提供翻身护理, 常规组采用常规翻身护理, 记录比较两组患者的压力性损伤发生率、翻身有效性、平均每位患者翻身次数、每次翻身护理平均耗时等指标。**结果** 两组压力性损伤分期差异有统计学意义( $P<0.05$ ), 穿戴组压力性损伤发生率(2.67%)低于常规组(6.67%), 翻身有效性和及时性均优于常规组, 平均翻身次数及 1 次翻身平均耗时均少于常规组, 差异有统计学意义( $P<0.05$ )。两组患者 ICU 住院天数和住院费用比较, 差异无统计学意义( $P>0.05$ )。**结论** 基于可穿戴压力动态监测系统的压力性损伤管理能够提高护士翻身的有效性和及时性, 降低 ICU 压力性损伤发生率, 具有临床推广的价值。

**【关键词】** 可穿戴技术; 压力性损伤; 重症监护; 翻身护理; 护理效率

**【中图分类号】** R472 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-6170(2026)01-0160-04

**The effect of wearable pressure monitoring system on the occurrence of pressure injury in ICU patients** LEI Hua<sup>1a,2</sup>, JIANG Wen-chun<sup>1b</sup>, LI Zhe<sup>3</sup>, ZENG Bin<sup>1c</sup>, TAO Yan-ling<sup>1d</sup>, LI Hang<sup>3</sup> 1a. Department of Rehabilitation Medicine, 1b. Department of Nursing, 1c. Surgery Intensive Care Unit, 1d. Center of Organ Transplantation, Sichuan Academy of Medical Sciences & Sichuan Provincial People's Hospital (Affiliated Hospital of University of Electronic Science and Technology of China), Chengdu 610072, China; 2. School of Medicine, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China; 3. Engineering Research Center of Human-Robot Intelligent Technologies and Systems, MOE of China, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China

**【Corresponding author】** JIANG Wen-chun

**【Abstract】 Objective** To explore the effectiveness and feasibility of turning care based on wearable pressure dynamic monitoring systems in preventing pressure injuries in ICU patients. **Methods** A total of 298 patients admitted to the surgical ICU of our hospital from October 2023 to June 2024 were included using purposive sampling method. The patients were randomly divided into a wearing group and a conventional group in a 1:1 ratio, 149 in each group. The wearable group received turning care based on the wearable pressure dynamic monitoring system with audiovisual reminders as needed. The conventional group received routine turning care. The incidence of pressure injuries, effectiveness of turning, average number of turns per patient, and average time spent per turning care were recorded and compared between the two groups. **Results** There was a statistically significant difference in the staging of pressure injuries between the two groups ( $P<0.05$ ). The incidence of pressure injuries in the wearing group was 2.67% that was lower than 6.67% of the conventional group. Both the effectiveness and timeliness of turning in the wearing group were better than those in the conventional group. The average number of turns and the average time per turn were also less than those in the conventional group ( $P<0.05$ ). There was no statistically significant difference in ICU hospital stay days and hospitalization costs between the two groups ( $P>0.05$ ). **Conclusions** Pressure injury management based on wearable pressure dynamic monitoring system can improve the effectiveness and timeliness of nurses turning over. It reduces the incidence of pressure injury in ICU. It has clinical promotion value.

**【Key words】** Wearable technology; Pressure injuries; Intensive care; Turning care; Nursing efficiency

医院获得性压力性损伤(hospital acquired pressure injury, HAPI)发生率是国内外评价医院护理质量的重要指标<sup>[1,2]</sup>, 尤其是重症监护病房(ICU)。ICU 患者由于病情危重、长期卧床和频繁使用医疗器械, 是压力性损伤的高危人群, HAPI 发生率为 8.0%~56.0%, 是普通病区患者的 4 倍<sup>[3]</sup>。HAPI 不仅增加了患者痛苦和感染风险, 而且给护士带来了巨大的照护负荷和造成了沉重的疾病负担<sup>[4,5]</sup>。

2019 版国际《压力性损伤预防和治疗: 临床实践指南》指出<sup>[6]</sup>, 负荷和压力是发生 HAPI 的关键作用, 定期帮助患者实施体位变化(翻身)是预防 HAPI 的标准护理措施, 强烈推荐“实施体位变化提醒策略, 以促进其依从性”, 但 ICU 病房患者病情重且变化快, 每日治疗和护理措施较多, 这种繁忙、复杂的工作环境增加了护士落实定期或按需翻身的难度, 临床常使用床头挂翻身卡、旋转纸张、闹钟等传统方式提醒策略, 其翻身依从性不佳和翻身效果不可测, 本研究采用可穿戴式受压部位动态多点压力监测系统对 ICU 患者的多个受压部位压力实施动态

**【基金项目】** 四川省科技计划资助项目(编号: 2022YFS0570)

**【通讯作者】** 蒋文春

监测和预警,实现翻身视听提醒预警、翻身效果可视化 and 翻身执行报告自动生成功能,从而促进护士精准、及时、有效的落实体位变化(翻身)策略,真正实现指南所要求的按需翻身,降低 ICU 患者 HAPI 发生率,以及减少翻身护理时间,降低护士时间成本,为 HAPI 预防工作提供新思路。

## 1 对象与方法

**1.1 研究对象** 选取 2023 年 10 月至 2024 年 6 月在我院外科 ICU 住院的患者 298 例作为研究对象。纳入标准:①ICU 住院时间时间 $\geq 24$  小时;②年龄 18 岁以上;③愿意参加该研究并签署知情同意者。

表 1 两组患者临床资料比较

临床资料		穿戴组( $n=149$ )	常规组( $n=149$ )	统计量	$P$
年龄(岁)		49.36 $\pm$ 19.11	48.16 $\pm$ 18.14	$t=0.456$	0.65
性别[ $n(\%)$ ]	男	83(55.70)	95(63.80)	$\chi^2=2.07$	0.15
	女	66(44.30)	54(36.20)		
民族[ $n(\%)$ ]	汉	118(79.20)	125(83.90)	$\chi^2=3.6$	0.058
	其他	31(20.80)	24(16.10)		
入科方式[ $n(\%)$ ]	平车	139(93.30)	139(93.30)	$\chi^2=0$	1
	轮椅	10(6.70)	10(6.70)		
手术时长(h)		3.36 $\pm$ 1.22	3.12 $\pm$ 1.32	$t=1.06$	0.29
营养风险评分(分)		2.21 $\pm$ 0.91	2.32 $\pm$ 0.91	$t=0.855$	0.395
白蛋白(g/L)		37.15 $\pm$ 3.49	37.06 $\pm$ 3.93	$t=0.39$	0.698
BMI 指数(kg/m <sup>2</sup> )		23.88 $\pm$ 4.18	23.77 $\pm$ 4.39	$t=0.175$	0.861
压力性损伤风险程度评分(分)		11.06 $\pm$ 1.25	11.15 $\pm$ 1.24	$t=0.573$	0.568
压疮高风险等级[ $n(\%)$ ]	极高危	12(8.10)	11(7.40)	$\chi^2=0.6699$	0.715
	高危	132(88.50)	131(87.90)		
	中危	5(3.40)	7(4.70)		
吸烟史[ $n(\%)$ ]		66(44.30)	63(42.30)	$\chi^2=0.122$	0.73
高血压史[ $n(\%)$ ]		49(32.90)	44(29.50)	$\chi^2=0.39$	0.53
糖尿病史[ $n(\%)$ ]		28(18.80)	41(27.50)	$\chi^2=3.31$	0.069
使用低分子肝素钠[ $n(\%)$ ]		77(51.70)	70(46.90)	$\chi^2=0.89$	0.35
使用镇静剂[ $n(\%)$ ]		10(6.70)	9(6.00)	$\chi^2=0.052$	0.82
使用类固醇[ $n(\%)$ ]		147(98.70)	146(98.00)	$\chi^2=0.204$	0.65

**1.2 可穿戴设备** 由护理学和信息工程学领域的专家们组成多学科研究团队进行研发并获得发明专利(ZL 2023 1 1546555.1)的一种基于柔性压力传感器的多点压力检测及压疮预警系统,在经过反复的测试和改进,确认系统功能已经完善之后,该系统开始在外科 ICU 全面投入使用。

**1.3 干预前培训** 在研究开始之前,对临床护理团队进行统一培训:①对患者穿戴设备监控系统的使用方法进行详细讲解,确保每位护士都能够熟练操作。②对 NPUAP 分期标准进行深度解读,让护士能够准确地对患者的状况进行评估和分期。此外,培训还包括了体位更换方案的制定和执行,如更换体位的时机选择、频次安排、有效翻身的评估方法以及如何进行相关记录。

排除标准:①入科时已发生压力性损伤患者;②研究期间死亡的病例;③由于出现不良事件或其他不可预见的情况而不得不终止研究的病例;④佩戴的可穿戴设备无法向数据收集者发送信号的病例;⑤在研究过程中选择中途退出的病例。通过随机数字表法按照 1:1 的比例分为常规组和穿戴组各 149 例患者。两组性别、年龄、基础疾病史、营养状态、压力性损伤风险程度等比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ ),见表 1。本研究已通过医院伦理委员会的批准(伦审(研)2022 年第 412 号)。

## 1.4 干预方法

**1.4.1 常规组** 传统的翻身护理措施:①护士至少每 2 个小时为患者更换 1 次体位,在患者处于坐位姿势期间,至少每 30 分钟更换 1 次体位;②每次翻身之后,护士临床护理系统上记录一次翻身卡,包括翻身的时间、翻身后的卧位方式以及受压部位的皮肤状况;③翻身时间提醒为查看翻身卡;④翻身方法按照指南及操作技术标准执行<sup>[7]</sup>。

**1.4.2 穿戴组** 接受可穿戴压力动态监测系统的视听提醒按需提供翻身护理。该系统集压力采集数据传导数据显示及时预警功能为一体,功能模块主要包括压力数据采集模块、压力数据预处理模块、通信模块以及上位机。当受压部位接收的压力阈值超过报警值时,发出报警信号,报警模块可以

采用语音播报结合加深当前部分热力图颜色的方式进行翻身提醒。①护士根据穿戴设备的视听提醒落实按需翻身,及时协助/帮助患者进行体位更换;②翻身后可根据视图显示压力值评价翻身是否达到减压的目的,确保翻身有效性;③系统自动记录压力值的变化,并生成相应的报告,这些报告会自动转入临床护理信息系统中;④翻身方法按照指南及操作技术标准执行<sup>[7]</sup>。

**1.5 效果评价** 主要结局指标:①压力性损伤发生率:研究周期内参与患者中发生医院获得性压力性损伤例数/同一周期内参与研究患者总数 $\times 100\%$ 。②压力性损伤分期参考 2019 版国际《压力性损伤预防和治疗:临床实践指南》<sup>[6]</sup>分为六期:1 期压力性损伤、2 期压力性损伤、3 期压力性损伤、4 期压力性损伤、深部组织压力性损伤和不可分期压力性损伤。次要结局指标:①护士翻身有效性:翻身角度达  $20^\circ$  以上并保持 1 分钟判定为有效翻身<sup>[8]</sup>;②翻身及时性,常规组查看翻身记录卡,穿戴组查看系统数据报表,延时 15 分钟判定为不及时。③翻身次数及 1 次翻身护理平均耗时:记录每次翻身及其翻身护理所需时间。

表 3 两组患者护士翻身次数及耗时比较

组别	例数	平均翻身次数 (次)	1 次翻身护理 平均耗时(min)	翻身及时性[n(%)]		翻身有效性[n(%)]	
				及时	不及时	合格	不合格
穿戴组	149	30.74 $\pm$ 1.32	3.51 $\pm$ 1.18	145(97.3)	4(2.78)	149(100.0)	0(0)
常规组	149	33.2 $\pm$ 1.27	5.58 $\pm$ 1.23	138(92.6)	11(7.4)	136(91.3)	13(8.7)
统计量		$t=8.25$	$t=7.843$	$\chi^2=4.810$		$\chi^2=14.059$	
<i>P</i>		0.001	0.005	0.0283		0.000	

**2.3 两组患者 ICU 住院天数和住院费用比较** 两组患者 ICU 住院天数和住院费用比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ )。见表 4。

表 4 两组患者 ICU 住院天数和住院费用比较

组别	例数	ICU 住院天数(天)	住院费用(元)
穿戴组	149	5.16 $\pm$ 1.25	28330.77 $\pm$ 10792.07
常规组	149	5.11 $\pm$ 1.26	28366.1 $\pm$ 10072.48
<i>t</i>		0.23	0.54
<i>P</i>		0.82	0.59

### 3 讨论

**3.1 穿戴设备提高了按需翻身可行性,降低 ICU 压力性损伤发生率** 本研究结果显示,穿戴组患者的压力性损伤发生率和发生压力性损伤的程度均要低于常规组,这与 Pickham 等在 ICU 开展的研究数据保持一致<sup>[8]</sup>。可穿戴设备是指可穿戴在身体或整合到其他物品上的便携式设备,它在相关软件支持下对数据进行实时监测和传输,广泛应用于疾病监测、康复护理等领域<sup>[9]</sup>,常见的穿戴方式有接

**1.6 统计学方法** 应用 SPSS 26.0 统计学软件对数据进行分析。计量资料以均数 $\pm$ 标准差进行描述,比较采用独立 *t* 检验或秩和检验;计数资料以例数(%)描述,比较采用卡方检验。 $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 两组患者主要结局指标比较** 穿戴组压力性损伤发生率(2.68%)显著低于常规组(6.72%),两组患者压力性损伤分期比较,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。见表 2。

表 2 两组患者压力性损伤发生率与发生压力性损伤分期比较 [n(%)]

组别	例数	压力性损伤	压力性损伤分期	
			I 期	II 期
穿戴组	149	4(2.68)	4(2.68)	0
常规组	149	10(6.72)	6(4.03)	4(2.68)
$\chi^2$		9.248	4.667	
<i>P</i>		0.002	0.031	

**2.2 两组患者护士翻身次数、耗时及翻身有效性和及时性比较** 穿戴组患者翻身有效性和及时性均优于常规组,平均翻身次数及 1 次翻身平均耗时均较少于常规组,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。见表 3。

触式、外接式和植入式<sup>[10]</sup>。本项目基于界面压力阈值和柔性压力传感器技术研发可穿戴式受压部位压力监测系统,其为接触式和外接式相结合的,具有便捷、无创的特点,比较适合临床压力性损伤预防实践。该系统集压力采集数据传导数据显示即时预警功能为一体,根据患者的各项指标设定个性化压力提醒阈值,实现了个性化的视听提醒,帮助临床护士真正实现了按需翻身,改变了以往定时翻身的传统模式,提升翻身依从性和合理性,进而有效降低压力性损伤发生率<sup>[11]</sup>。同时,可穿戴设备可视化压力动态监视的这一特性为翻身效果即刻评价提供了可行性,真正即刻视觉展现护士翻身是否有效,从而提醒护士即刻调整翻身角度,提高了翻身的合格率,最后达到翻身有效性<sup>[12]</sup>。本研究通过实时、精准地监测患者受压部位压力,护士能够依据设备预警及时、按需、正确为患者翻身,降低了压力性损伤发生率和发生压力性损伤的严重程度,充分彰显了该系统在预防损伤方面的卓越

功效。

### 3.2 穿戴设备降低了护士工作负荷,提高工作效率

本研究结果显示穿戴组较常规组平均翻身次数减少了 2.46 次,穿戴设备的视听提醒帮助临床护士实现了按需翻身,减少无效劳动,降低了护士翻身的工作负荷;穿戴组较常规组平均 1 次翻身护理耗时减少了 2.07 分钟,本研究预警按需个性化翻身和可视化翻身效果,使得翻身的角度正确及频率合理节省了护士时间,这与 Renganathan 等研究结果一致<sup>[14]</sup>。系统会自动记录翻身过程中压力值、生成相应的报告并自动转入临床护理信息系统中,从而减少护士文书书写时间;系统的视觉提醒功能也减少了护士翻阅翻身时间,显著提高了工作效率<sup>[13]</sup>。

### 3.3 穿戴设备减少 ICU 住院天数和住院费用,初显成本效益优势

本研究结果显示两组患者 ICU 住院天数和住院费用比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),但是穿戴组较常规组的 ICU 住院天数和住院费用略有下降。这与 NEPHEW 的一项为期 30 d 的患者使用可穿戴式传感器试点研究结果每月可节省 7 万美元有差距<sup>[15]</sup>,这可能与研究使用时间短(仅穿戴 3 天)从而导致穿戴设备在压力性损伤预防中经济效益体现不明显有关,后续需要进一步对医院获得性压力性损伤成本效益模型进行深入验证和远期效益的观察。

在研究过程中,也清晰认识到可穿戴设备的引入给护士工作带来的变革。护士需要花费时间与精力学习新的技术操作,适应全新的工作模式,这在初期可能会带来一定挑战。因此,未来的研究有必要深入思考如何将这些先进技术与现有的护理实践进行无缝对接,探索出一套科学、高效的整合方案,同时注重对护士开展持续、精准的培训,并给予充分的支持,确保他们能够熟练驾驭新技术,充分发挥可穿戴设备的最大效能<sup>[16]</sup>。

综上,HAPI 是护理质量敏感指标之一,对于重症患者的皮肤管理更为严峻<sup>[17]</sup>。本研究的发现有力支持了可穿戴压力动态监测系统在预防 ICU 患者压力性损伤方面的有效性。但要全面评估其在临床实践中的应用价值,后续仍需围绕长期使用的效果、成本效益分析以及对患者护理满意度的影响等方面展开深入的大样本研究,为该技术的广泛推广与持续优化提供更坚实的理论与实践支撑。

#### 【参考文献】

[1] Koivunen M, Hjerpe A, Luotola E, et al. Risks and prevalence of pressure ulcers among patients in an acute hospital in Finland[J]. J

Wound Care, 2018,27(Sup2):S4-S10.

- [2] 国家卫生计生委医院管理研究所护理中心护理质量指标研发小组. 护理敏感质量指标实用手册(2016 版)[M]. 北京:人民卫生出版社,2016:115-130.
- [3] Bredeesen I M, Bjørro K, Gunningberg L, et al. The prevalence, prevention and multilevel variance of pressure ulcers in Norwegian hospitals; a cross-sectional study [J]. Int J Nurs Stud, 2015, 52(1): 149-156.
- [4] Coyer F, Miles S, Gosley S, et al. Pressure injury prevalence in intensive care versus nonintensive care patients; a state-wide comparison [J]. Aust Crit Care, 2017, 30(5): 244-250.
- [5] Jentzer J, Anavekar N, Brenes Salazar J, et al. Admission braden skin score independently predicts mortality in cardiac intensive care patients [J]. Mayo Clinic Proceedings, 2019, 94(10): 1994-2003.
- [6] European Pressure Ulcer Advisory Pael. National Pressure Injury Advisory Pael, Pa Pacific Pressure Injury Alliance. Prevention and treatment of pressure ulcers/injuries: clinical practice guideline [R] [S. 1]: EPUAP/NPIAP/PPPIA, 2019:1.
- [7] 陈丽娟, 孙林利, 刘丽红, 等. 2019 版《压疮/压力性损伤的预防和治疗: 临床实践指南》解读 [J]. 护理学杂志, 2020, 35(13): 41-43, 51.
- [8] Pickham D, Berte N, Pihulic M, et al. Effect of a wearable patient sensor on care delivery for preventing pressure injuries in acutely ill adults: a pragmatic randomized clinical trial (LSHAP I study) [J]. Int J Nurs Stud, 2018(80): 12-19.
- [9] Kim K, Choi J, Jeong Y, et al. Highly sensitive and wearable liquid metal-based pressure sensor for health monitoring applications: integration of a 3D printed microbump array with the microchannel [J]. Adv Healthc Mater, 2020, 9(7): e2000313.
- [10] Hickie K, Slamin R, Baez A, et al. Wireless pressure ulcer sensor: validation in an animal model [J]. Ann Plast Surg, 2019, 82(4S Suppl 3): S215-S221.
- [11] 林淑洁, 张立秀, 陈香萍, 等. 可穿戴设备在压力性损伤预防中的研究进展 [J]. 军事护理, 2023, 40(12): 93-95.
- [12] 彭婉琳, 董旭辉, 李蓓, 等. 可穿戴式传感器预防医院获得性压力性损伤的研究进展 [J]. 护理研究, 2023, 37(14): 2602-2605.
- [13] 蒋琪霞, 洪艳燕, 彭青, 等. 21 所三级医院成人住院患者压力性损伤流行特征及 Braden 量表预测效能研究 [J]. 医学研究与战创伤救治, 2023, 36(4): 369-374.
- [14] Renganathan BS, Nagaiyan S, Preejith SP, et al. Effectiveness of a continuous patient position monitoring system in improving hospital turn protocol compliance in an ICU: a multiphase multisite study in India [J]. J Intensive Care Soc, 2019, 20(4): 309-315.
- [15] Nephew S. Leveraging novel technology to decrease hospital acquired pressure injuries [R]. Chicago: AONL Sunrise Symposia, 2020: 11-13.
- [16] 贾盈盈, 张红燕, 马媛媛, 等. ICU 患者压力性损伤风险预测模型的系统评价 [J]. 中华护理杂志, 2021, 56(8): 1242-1248.
- [17] 冯倩, 杜爱平, 刘欢, 等. 657 例重症患者院前压力性损伤发生情况分析 [J]. 实用医院临床杂志, 2022, 19(1): 174-176.

(收稿日期:2025-02-27;修回日期:2025-04-18)

(本文编辑:彭羽)