

· 论 著 ·

# 基于可穿戴传感器与人工智能的脑外伤 偏瘫患者良肢位摆放质量监测与干预研究

王兆鹏,徐洋,陈雯

(南京医科大学第三附属医院暨常州市第二人民医院 神经外科,江苏 常州 213000)

**【摘要】** 目的 评价基于可穿戴传感器与人工智能(artificial intelligence, AI)的监测与干预方案对脑外伤偏瘫患者良肢位摆放质量的影响,为智能化康复护理提供参考。方法 2023年8月至2024年8月采用便利抽样法选取某院脑外伤偏瘫患者120例为研究对象,采用随机数字表法将其分为观察组和对照组,每组60例。对照组实施常规良肢位摆放护理,观察组加用可穿戴传感器与AI的监测与干预。比较两组第1、7、14、28天良肢位摆放合格率及4周内并发症发生情况,以及护士主动体位核查频次。结果 两组患者良肢位摆放合格率在组别与时间交互效应上有统计学意义( $F=15.83, P<0.01$ ),且观察组第7、14、28天良肢位摆放合格率高于对照组(均 $P<0.01$ );肩关节半脱位、手部肿胀发生率及护士主动体位核查频次均低于对照组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。结论 基于可穿戴传感器与AI的监测与干预方案可提高良肢位摆放达标率,减少相关并发症并降低护理重复核查工作量。

**【关键词】** 脑外伤;偏瘫;良肢位;可穿戴传感器;人工智能;护理

DOI:10.3969/j.issn.2097-1826.2026.06.006

【中图分类号】R473.6 【文献标识码】A 【文章编号】2097-1826(2026)06-0022-04

## Quality Monitoring and Intervention of Good Limb Position Placement for Hemiplegic Patients with Traumatic Brain Injury Based on Wearable Sensors and Artificial Intelligence

WANG Zhaopeng, XU Yang, CHEN Wen (Department of Neurosurgery, The Third Affiliated Hospital of Nanjing Medical University & Changzhou Second People's Hospital, Changzhou 213000, Jiangsu Province, China)

Corresponding author: CHEN Wen, Tel: 0519-81087730

**【Abstract】 Objective** To evaluate the effect of a monitoring and intervention program based on wearable sensors and artificial intelligence (AI) on the quality of good limb position placement in hemiplegic patients with traumatic brain injury, so as to provide a reference for intelligent rehabilitation nursing. **Methods**

A total of 120 hemiplegic patients with traumatic brain injury admitted to a hospital from August 2023 to August 2024 were enrolled by the convenience sampling method and randomly divided into observation group and control group using a random number table method, with 60 cases in each group. The control group received routine nursing of good limb position placement, while the observation group was additionally given monitoring and intervention program based on wearable sensors and AI. The qualified rates of good limb position placement on days 1, 7, 14, and 28 and the incidence of complications within 4 weeks, as well as the frequency of nurses' active position verification were compared between the two groups. **Results**

There was a significant interaction effect between group and time on the qualified rate of good limb position placement ( $F=15.83, P<0.01$ ). The qualified rates in the observation group were significantly higher than those in the control group on days 7, 14, and 28 (all  $P<0.01$ ). The incidences of shoulder subluxation and hand swelling, as well as the frequency of nurses' active position verification, were significantly lower in the observation group than in the control group (all  $P<0.05$ ). **Conclusions** The monitoring and intervention program based on wearable sensors and AI can improve the compliance rate of good limb position placement, reduce related complications, and decrease the workload of repeated nursing verification.

**【Key words】** traumatic brain injury; hemiplegia; good limb position; wearable sensor; artificial intelligence; nursing

[Mil Nurs, 2026, 43(06): 22-25]

【收稿日期】2025-10-20 【修回日期】2026-04-20

【基金项目】常州大学护理专项科研课题(CDHL202505)

【作者简介】王兆鹏,本科,副主任护师,电话:0519-81099988

脑外伤是交通伤中较常见的严重损伤类型,患者可能会遗留不同程度偏瘫,影响后续康复训练及生活质量<sup>[1]</sup>。良肢位摆放是偏瘫患者早期康复护理

的重要内容,规范摆放有助于预防肌张力过高、肩关节半脱位、肢体肿胀和关节挛缩<sup>[2]</sup>。但在临床实践中,常规体位管理主要依赖护士间断巡视和人工调整,存在监测不连续、纠正滞后、记录主观性较强及重复劳动较多等问题;对于配合度一般或夜间翻身频繁的患者,上述不足更为突出。随着可穿戴传感器与人工智能(artificial intelligence, AI)技术的发展,连续体位识别和即时反馈为基础护理质量控制提供了新的技术路径<sup>[3]</sup>。本研究构建基于可穿戴传感器与AI技术的良肢位摆放监测与干预方案,观察其对脑外伤偏瘫患者良肢位摆放质量、相关并发症及护理工作量的影响,为智能化康复护理提供参考。

## 1 对象与方法

1.1 研究对象 2023年8月至2024年8月采用便利抽样法选取入住某院神经外科与康复科因交通事故导致的脑外伤偏瘫患者120例为研究对象,采用随机数字表法分为观察组和对照组,每组60例。样本量采用两独立样本率比较方法估算:以前期预试验结果中观察组良肢位摆放达标率85.0%(17/20)、对照组60.0%(12/20)为依据,取 $\alpha=0.05$ 、检验效能 $1-\beta=0.80$ ,计算每组至少需49例;考虑约20%的失访或退出,最终每组纳入60例。纳入标准:经计算机断层成像(computed tomography, CT)或磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)确诊为脑部损伤,并存在一侧肢体偏瘫;偏瘫侧肢体肌力 $\leq 3$ 级<sup>[4]</sup>;年龄18~75岁;生命体征平稳,格拉斯哥昏迷评分(Glasgow coma scale, GCS) $\geq 13$ 分,可进行基本交流<sup>[5-6]</sup>;患者或法定代理人签署知情同意书。入院时偏瘫侧肌力评定由2名经统一培训的神经康复护理人员在患者安静状态下采用英国医学研究委员会(Medical Research Council, MRC)制定的肌力分级标准<sup>[4]</sup>进行测评,记录偏瘫侧上、下肢主要肌群中较低等级作为该例患者入院时肌力等级;MRC分级0~5级,其中0级为无可见肌肉收缩,1级为可见或可触及肌肉收缩但无关节活动,2级为肌肉收缩可带动关节在水平面(无重力状态下)活动但不能对抗重力,3级为肌肉可对抗重力完成关节全范围活动但不能对抗额外阻力,4级为肌肉可对抗一定阻力完成动作但力量较正常减弱,5级为正常肌力<sup>[4]</sup>。GCS评分由2名责任护士于入院后24 h内根据睁眼反应、言语反应和运动反应3个维度进行评定,总分3~15分,分值越高表示患者意识水平越好;若2名评估者评分不一致,由主管医师复核后确定。排除标准:偏瘫侧肢体存在严重关节挛缩、骨折或皮肤破损,不宜佩戴传感器;合并严重心、肝、肾功能不全或其他终末期疾病;存在严重认知障碍或精神疾

病,不能配合研究。本研究经医院伦理委员会审批通过(2023YLJSA078)。

## 1.2 方法

1.2.1 对照组 对照组实施常规良肢位摆放护理。责任护士依据康复治疗师制订的方案,对患者及家属进行良肢位摆放目的和方法的健康教育,发放图文指导手册;住院期间每2 h巡视1次,评估仰卧位、健侧卧位、患侧卧位及坐位摆放情况;发现患肩内收内旋、肘腕关节屈曲、下肢外旋等不当体位时,立即调整并记录,干预期共4周。辅助用具包括枕头、软垫及足踝矫形器等。

1.2.2 观察组 观察组在对照组基础上增加基于可穿戴传感器与AI的监测与干预。系统由柔性传感器套件、床旁终端和护士移动端组成。本研究所用系统为研究团队联合医院信息工程人员基于临床良肢位管理需求开发的原型系统,目前尚未发表针对该系统的独立论文。

系统设计框架:柔性传感层采集多关节体位数据,床旁终端完成姿态融合与异常阈值判定,护士移动端接收预警并完成闭环核查。(1)系统构成。柔性传感器分别固定于患侧肩峰、上臂外侧、前臂背侧、手背、股外侧、小腿外侧及足背等部位,通过姿态融合算法(融合各传感节点的三轴加速度、角速度及相对方位信息,对关节角度进行实时估算)估算肩、肘、腕、髌、膝、踝关节角度。(2)参数设定。系统目标角度范围依据科室现行良肢位摆放规范预先设定,AI判定模块仅用于异常体位识别与预警,不替代临床判断。(3)培训与应用。患者入组后24 h内,由责任护士完成传感器佩戴、系统校准及患者/照护者培训,重点示教仰卧位、健侧卧位、患侧卧位和坐位下患肩外展前伸、前臂支托、腕背伸位摆放、患髌膝轻度屈曲及踝关节中立位维持等操作要点。(4)预警与核查。床旁终端每30 s按预设良肢位角度范围持续判定当前体位;若1个或多个关节持续偏离目标范围超过30 s,则触发预警。对于能自行配合的患者,系统通过图文及语音提示指导其利用躯干或健侧肢体完成补垫和微调;对于不能独立完成摆放调整者,由照护者依据床旁提示进行辅助纠正。每次预警均同步推送至护士移动端,责任护士随后到床旁核查摆放效果、记录处理结果,并视情况再次调整支托垫、上肢摆放及踝足位置,形成“监测-提醒-纠正-核查”的闭环流程。为降低误报及皮肤受压风险,研究期间每4 h检查1次传感器固定状况和接触部位皮肤情况。干预期共4周。

## 1.2.3 观察指标

1.2.3.1 良肢位摆放合格率 于干预后第1、7、14、

28天,由经统一培训且不知分组情况的2名研究护士在非系统预警时段实施盲法评估。每次评估随机选择3个时间点。评估量表为本研究在参考崔秋红等<sup>[2]</sup>、郭亚萍等<sup>[7]</sup>关于良肢位摆放要点的基础上编制的偏瘫患者良肢位摆放质量评估表,包含仰卧位、健侧卧位、患侧卧位和坐位下上肢及下肢摆放的10个条目,每项1分,总分 $\geq 8$ 分为合格。该评估表经5名神经康复护理专家内容审定,内容效度指数为0.92,评估者间信度为0.89。良肢位摆放合格率以合格次数占总评估次数的百分率表示。

1.2.3.2 并发症发生情况 记录干预4周内肩关节半脱位、患侧手部肿胀及传感器接触部位皮肤损伤发生情况。肩关节半脱位以床旁触诊提示肩峰与肱骨头间隙增宽,并经影像学证实肱骨头下移为诊断标准;手部肿胀采用周径测量法,于掌指关节近端同水平连续测量2次取均值,患侧较健侧增加 $\geq 2.0$  cm判定为肿胀;而皮肤损伤定义为传感器接触部位出现持续30 min以上不可褪色红斑、表皮擦伤/破溃或水疱。

1.2.3.3 护士主动体位核查频次 统计干预期间护士对每位患者主动进行体位核查和调整的平均次数,单位为次/d。

1.2.4 统计学处理 采用SPSS 25.0软件进行统计分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 $t$ 检验;良肢位摆放合格率采用两因素重复测量方差分析,组别为组间因素,时间为组内因素,交互效应有统计学意义时进一步进行组间简单效应分析。计数资料以例数和百分率表示,组间比较采用 $\chi^2$ 检验或Fisher精确概率法。所有检验均为双侧检验,以 $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 研究对象的一般资料 观察组男36例、女24例,年龄 $(48.62 \pm 10.73)$ 岁;对照组男34例、女26例,年龄 $(49.08 \pm 11.21)$ 岁,见表1。两组患者在性别、年龄、偏瘫侧别、受伤至入组时间、入院时肌力、入院时肌力等级分布、GCS评分及脑外伤类型等项目上的差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$ ),具有可比性。

2.2 两组患者不同时间点良肢位摆放合格率比较 干预后,两组患者良肢位摆放合格率均随时间的延长而升高,且观察组升高更明显。重复测量方差分析显示,组别与时间交互效应有统计学意义( $F = 15.83, P < 0.01$ )。进一步进行组间简单效应分析显示,干预后第7、14、28天观察组良肢位摆放合格率均高于对照组(均 $P < 0.01$ ),见表2。

表1 研究对象的一般资料

项目	观察组	对照组	$t$ 或 $\chi^2$	$P$
	( $n=60$ )	( $n=60$ )		
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$ )	48.62 $\pm$ 10.73	49.08 $\pm$ 11.21	0.23	0.819
性别[ $n(\%)$ ]			0.14	0.711
男	36(60.00)	34(56.67)		
女	24(40.00)	26(43.33)		
偏瘫侧别[ $n(\%)$ ]			0.13	0.715
左侧	28(46.67)	30(50.00)		
右侧	32(53.33)	30(50.00)		
受伤至入组时间( $t/d, \bar{x} \pm s$ )	5.18 $\pm$ 1.76	5.36 $\pm$ 1.82	0.55	0.583
入院时偏瘫侧肌力[ $n(\%)$ ]			0.16	0.923
1级	10(16.67)	9(15.00)		
2级	29(48.33)	28(46.67)		
3级	21(35.00)	23(38.33)		
4级	0(0.00)	0(0.00)		
5级	0(0.00)	0(0.00)		
入院时 GCS 评分(分, $\bar{x} \pm s$ )	14.08 $\pm$ 0.74	14.12 $\pm$ 0.76	0.29	0.771
脑外伤类型[ $n(\%)$ ]			0.35	0.986
挫裂伤	26(43.33)	24(40.00)		
急性硬膜下血肿	14(23.33)	16(26.67)		
硬膜外血肿	8(13.33)	9(15.00)		
脑内血肿	7(11.68)	6(10.00)		
弥漫性轴索损伤	5(8.33)	5(8.33)		

注:入院时偏瘫侧肌力按 MRC 肌力分级标准<sup>[4]</sup>评定;因本研究纳入标准为偏瘫侧肢体肌力 $\leq 3$ 级,表中4级和5级均为0级

表2 两组患者不同时间点良肢位摆放合格率比较( $\%, \bar{x} \pm s$ )

组别	第1天	第7天	第14天	第28天
观察组( $n=60$ )	65.3 $\pm$ 10.5	78.6 $\pm$ 8.7	85.2 $\pm$ 7.1	89.5 $\pm$ 6.3
对照组( $n=60$ )	64.8 $\pm$ 11.2	70.1 $\pm$ 9.4	73.8 $\pm$ 8.9	76.4 $\pm$ 7.8
$t$	0.25	5.18	7.69	9.81
$P$	0.80	$< 0.01$	$< 0.01$	$< 0.01$

注: $F_{组别} = 61.11, P_{组别} < 0.001; F_{时间} = 123.26, P_{时间} < 0.001; F_{交互} = 15.83, P_{交互} < 0.01$

2.3 两组患者并发症及护士主动核查频次比较 干预4周内,观察组肩关节半脱位和手部肿胀发生率均低于对照组,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$ ),见表3。两组均未发生严重皮肤损伤;轻度红斑经调整后均缓解,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。观察组护士主动体位核查频次为 $(3.2 \pm 1.0)$ 次/d,低于对照组的 $(8.5 \pm 1.6)$ 次/d,差异有统计学意义( $t = 12.46, P < 0.01$ )。

表3 两组患者并发症发生情况比较[ $n(\%)$ ]

组别	例数	肩关节半脱位	手部肿胀
观察组	60	3(5.00)	4(6.67)
对照组	60	10(16.67)	12(20.00)
$\chi^2$		4.900	5.230
$P$		0.027	0.022

## 3 讨论

3.1 实时监测与即时反馈对摆放质量的促进作用 本研究显示,观察组干预后第7、14、28天良肢位摆放合格率均高于对照组,说明基于可穿戴传感器与AI的监测方案有助于提高良肢位摆放达标情况。

与传统“巡视-发现问题-人工纠正”的管理方式相比,连续监测可缩短异常体位暴露时间,并通过床旁提示与护士移动端预警实现快速纠偏<sup>[3,8]</sup>。本研究中观察组优势自第7天开始出现,提示系统在住院护理流程中具有较好的应用可行性。需要强调的是,本研究直接观察到的是良肢位摆放合格率的提高,反映的是体位管理过程质量的改善,不能直接等同于患者主观依从性提高。观察组优势更可能来源于连续监测、即时提醒、患者或照护者先行纠正及护士随后核查所形成的闭环管理,而非单纯由AI监测本身直接改变患者行为。

**3.2 闭环管理对并发症和工作负荷的影响** 观察组肩关节半脱位和手部肿胀发生率低于对照组,提示较高的良肢位摆放达标率有助于降低并发症风险。患肩保持相对外展外旋、前臂和腕手处于支持位,可减轻肩关节牵拉并促进静脉与淋巴回流<sup>[2,9]</sup>。与此同时,研究期间两组均未发生严重皮肤损伤,说明在定时检查固定状况和皮肤受压情况的前提下,可穿戴传感器具有较好的短期应用安全性。观察组护士主动核查频次明显减少,说明AI预警可分担部分重复性体位核查工作,但该作用建立在“监测识别-提醒纠正-护士核查”的闭环流程之上,不能替代护士对高风险患者的临床判断与床旁处置<sup>[10-12]</sup>。因此,该系统更适合作为基础护理质量控制和工作流程优化的辅助工具。

**3.3 研究局限与临床应用展望** 本研究仍存在一定局限:其一,为单中心研究,样本来源相对单一;其二,干预周期为4周,尚未评价远期运动功能、日常生活活动能力及患者体验;其三,本研究对象以意识清楚、能够基本配合者为主,重度意识障碍患者的适用性仍需进一步验证<sup>[13-14]</sup>。此外,设备购置、维护、数据管理与信息安全等问题,也会影响临床推广。后续可在多中心研究中增加长期随访,结合患者舒适度、设备接受度和成本效益开展综合评价,并探索与电子病历系统的数据对接,以提升智能化护理的可推广性<sup>[15-17]</sup>。

#### 4 小结

基于可穿戴传感器与AI的脑外伤偏瘫患者良肢位摆放监测与干预方案可提高良肢位摆放达标率,降低肩关节半脱位和手部肿胀发生率,并减少护理人员重复性核查工作量,具有一定临床应用价值。

#### 【参考文献】

[1] 吴莉蓉,季晓平,石利平,等.模块化康复训练在车祸致脑外伤偏瘫患者中的应用[J].护理实践与研究,2020,17(23):81-83.  
[2] 崔秋红,张群,宋波,等.对偏瘫患者早期实施良肢位摆放的康复

护理体会[J].中国初级卫生保健,2016,30(4):86-87.  
[3] 鲍勇,谢青,施捷健,等.智能可穿戴方案应用于腰椎术后康复的前瞻性研究[J].同济大学学报:医学版,2025,46(5):632-637.  
[4] Medical Research Council. Aids to the examination of the peripheral nervous system: memorandum No. 45 [M]. London: Her Majesty's Stationery Office, 1976:1,62.  
[5] TEASDALE G, JENNETT B. Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale [J]. Lancet, 1974, 2(7872): 81-84.  
[6] ZHANG Y, CHEN F, MA N, et al. Association between Glasgow coma scale trajectory and in-hospital mortality in traumatic brain injury in the ICU: a retrospective cohort study [J/OL]. [2025-09-20]. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nicc.70139>. DOI: 10.1111/nicc.70139.  
[7] 郭亚萍,刘新,李国正,等.早期电针疗法结合良肢位摆放在急性脑梗死静脉溶栓后偏瘫患者中的应用效果[J].临床和实验医学杂志,2025,24(15):1614-1618.  
[8] 边文杰.脑卒中偏瘫患者康复中良肢位摆放的应用进展[J].中西医结合护理,2025,11(1):166-171.  
[9] 卢小玲,胡周静,黄丽,等.早期不同模块康复护理对脑外伤致偏瘫患者语言功能及生活能力的影响[J].现代中西医结合杂志,2020,29(22):2496-2498.  
[10] SALEH Z S, AL-NEAMI A Q, AL-RAHMAWI H K. Smart monitoring pad for prediction of pressure ulcers with an automatically activated integrated electro-therapy system [J/OL]. [2025-09-20]. <https://www.mdpi.com/2411-9660/5/3/47>. DOI: 10.3390/designs5030047.  
[11] 张智霖,许嘉乐,周兰妹.护理信息学的发展现状及展望[J].军事护理,2025,42(1):13-16.  
[12] MEYERS E C, GABRIELI D, TACCA N, et al. Decoding hand and wrist movement intention from chronic stroke survivors with hemiparesis using a user-friendly, wearable EMG-based neural interface [J/OL]. [2025-09-20]. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12984-023-01301-w>. DOI: 10.1186/s12984-023-01301-w.  
[13] 潘玮敏,王世林,俞家乐,等.实时监测与反馈系统对血流限制下跑者下肢关节运动的影响[J].河南师范大学学报:自然科学版,2025,53(2):148-158.  
[14] 李姣妹,胡珊,李俊楠,等.康复脑外伤血肿清除术后并发偏瘫患者应用21 d训练康复计划的效果分析[J].江西医药,2023,58(11):1306-1309.  
[15] DAILAH H G, KORIRI M, SABEI A, et al. Artificial intelligence in nursing: technological benefits to nurse's mental health and patient care quality [J/OL]. [2025-09-20]. <https://www.mdpi.com/2227-9032/12/24/2555>. DOI: 10.3390/healthcare12242555.  
[16] 齐佳红,张翀旒,胡亚晴,等.基于主题分析的老年慢性病患者智慧医疗可及性影响因素质性研究[J].护理学报,2025,32(15):7-12.  
[17] ALHAMMAD A, YUSOF M M, JAMBARI D I. Evaluating applied security controls for safeguarding medical device-integrated electronic medical records [J/OL]. [2025-09-20]. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jep.14140>. DOI: 10.1111/jep.14140.

(本文编辑:郁晓路)