

# 经耳迷走神经刺激联合上肢康复机器人 对脑卒中后上肢功能的疗效\*

王青松<sup>1</sup> 万宏梅<sup>1</sup> 丁旭东<sup>1</sup> 张超<sup>2</sup>

(1. 湖北医药学院附属襄阳市第一人民医院康复医学科, 湖北 襄阳 441000; 2. 湖北医药学院临床技能教学培训中心, 湖北 十堰 442000)

**【摘要】** 目的 探讨经耳迷走神经刺激(taVNS)联合上肢康复机器人训练双模式干预在促进脑卒中偏瘫患者上肢运动功能恢复中的效果。方法 选取 2022 年 6 月—2024 年 6 月本院康复科住院的 128 例脑卒中患者, 随机分为对照组、taVNS 组、上肢康复机器人组和联合组 4 组, 每组 32 例, 治疗期为 6 周。对照组接受常规康复治疗; taVNS 组除常规康复治疗外, 额外进行经皮耳迷走神经刺激治疗; 上肢康复机器人组则额外进行上肢康复机器人训练; 联合组同时结合了 taVNS 与上肢康复机器人两种干预手段。在干预前后对各组患者进行多项指标测定与评估, 包括运动诱发电位(MEP)皮质潜伏期、中枢运动传导时间(CMCT)、上肢运动功能量表(FMA)评分、日常生活能力改良 Barthel 指数(MBI)量表评分、检测大脑中动脉(MCA)血流速度变化。结果 在干预前, 所有组别在 MEP 潜伏期、CMCT、上肢 FMA 评分、MBI 评分和 MCA 血流速度方面, 差异均无统计学意义( $P>0.05$ ); 经治疗后, 4 组患者上述指标均较治疗前显著改善( $P<0.05$ ), taVNS 组、上肢康复机器人组、联合组效果优于对照组, 且联合组优于 taVNS 组、上肢康复机器人组(均  $P<0.05$ )。结论 taVNS 和上肢康复机器人均可改善脑卒中偏瘫患者患侧上肢的肌力, 提高手的灵活度和上肢运动功能; 且两者联合使用效果更佳。

**【关键词】** 脑卒中; 上肢康复机器人; 耳迷走神经刺激; 上肢; 功能恢复

**【中图分类号】** R743.33 **【文献标志码】** A **DOI:**10.3969/j.issn.1672-3511.2026.06.011

## Effect of the rehabilitation robotic arm combined with transauricular vagus nerve stimulation on upper limb function recovery in stroke patients with hemiplegia

WANG Qingsong<sup>1</sup>, WAN Hongmei<sup>1</sup>, DING Xudong<sup>1</sup>, ZHANG Chao<sup>2</sup>

(1. Department of Rehabilitation Medicine, Xiangyang First People's Hospital, Hubei University of Medicine, Xiangyang 441000, Hubei, China;

2. Clinical Skills Teaching and Training Center of Hubei University of Medicine, Shiyan 442000, Hubei, China)

**【Abstract】** **Objective** To investigate the effect of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation (taVNS) combined with the rehabilitation robotic arm reinforcement training on upper limb motor function recovery in stroke patients with hemiplegia. **Methods** 128 stroke patients admitted to the rehabilitation department of our hospital from June 2022 to June 2024 were randomly divided into a control group, taVNS group, rehabilitation robotic arm group, and combination group, with 32 patients in each group. The control group received conventional rehabilitation treatment, while the taVNS group received additional taVNS treatment on top of conventional rehabilitation treatment. The rehabilitation robotic arm group received additional neural rehabilitation robotic arm treatment on top of conventional rehabilitation treatment. The combination group received both taVNS and rehabilitation robotic arm treatment on top of conventional rehabilitation treatment for a total of 6 weeks. Four groups were tested for motor evoked potential (MEP) cortical latency and central motor conduction time (CMCT) in the affected brain area before and after treatment. The treatment effect was evaluated using the simplified Fugl Meyer assessment upper limb (FMA-UE) and modified Barthel index (MBI) scores,

基金项目:湖北省自然科学基金襄阳创新发展联合基金项目(2025AFD126);襄阳市科技局研究项目[襄科计(2022)3号 2022YL36B]

通信作者:张超, E-mail: zhangchao3229@163.com

引用本文:王青松, 万宏梅, 丁旭东, 等. 经耳迷走神经刺激联合上肢康复机器人对脑卒中后上肢功能的疗效[J]. 西部医学, 2026, 38(6): 840-

845. DOI:10.3969/j.issn.1672-3511.2026.06.011

and the blood flow velocity of the middle cerebral artery (MCA) on the affected side was measured. **Results** Before treatment, there were no significant differences in MEP latency, CMCT, FMA-UE score, MBI score, and MCA blood flow velocity among the four groups of patients ( $P > 0.05$ ). After treatment, all four groups of patients showed significant improvement in the above indicators compared to before treatment ( $P < 0.05$ ). The taVNS group, rehabilitation robotic arm group, and combination group had better effects than the control group, and the combination group was superior to the taVNS group and rehabilitation robotic arm group ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** Both taVNS and rehabilitation robotic arm can improve the muscle strength of the affected upper limb in stroke patients with hemiplegia, enhance hand flexibility and upper limb motor function; And the combination of the two has a better effect.

**【Key words】** Stroke; Rehabilitation robotic arm; Transcutaneous auricular vagus nerve stimulation; Upper limbs; Functional recovery

脑卒中是全球主要致死病因中位列第二,具有高致死率及高再发风险等特点。约 80% 急性脑卒中患者经治疗后遗留有手和上肢运动功能障碍,即使经过全面和早期康复,仅 12%~34% 患者上肢运动功能在半年内恢复,故导致患者生存质量下降<sup>[1-2]</sup>。研究<sup>[3]</sup>表明康复训练是有效改善脑卒中偏瘫患者肢体功能恢复的重要措施,但目前上肢的康复更为困难且治疗效果不明显,进而使患者的康复进程在很大程度上被延缓。因此,研究新的、高效能的上肢功能康复训练方式,具有显著的临床应用前景。前期研究<sup>[4]</sup>发现,经外耳迷走神经刺激(Transcutaneous auricular vagus nerve stimulation, ta-VNS)可以上调脑组织中的神经递质及相关的细胞因子,促进受损区域内神经和血管生长,提高神经电活动,改善大脑的执行功能和觉醒程度,从而促进运动功能的恢复<sup>[5-6]</sup>。有研究<sup>[7]</sup>显示 taVNS 联合患侧上肢功能训练可显著改善脑卒中偏瘫患者上肢运动功能。上肢康复机器人作为一类新兴的机器人,可协助患者完成胸外扩胸、伸展、提臂等运动功能,借助计算机系统有关技术,可为临床提供客观准确的治疗和评估指标,增强其科学、定向的能力<sup>[8]</sup>。关于上肢康复机器人和 taVNS 应用于脑卒中后偏瘫患者的研究已有相关报道,但二者联合应用的研究国内外尚少。因此,本研究探讨 taVNS 协同上肢康复机器人训练双模式干预,在促进脑卒中偏瘫患者上肢运动功能恢复中的效果,现将结果报告如下。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2022 年 6 月—2024 年 6 月在襄阳市第一人民医院康复科诊疗的脑卒中患者 128 例,分为对照组、taVNS 组、上肢康复机器人组、联合组 4 组,每组 32 例。纳入标准:①符合脑卒中诊断标准,且存在上肢运动功能障碍。②年龄 40~75 岁。③病程在 14~90 d。④肌痉挛改良 Ashworth 分级  $\leq 2$  级,患侧上肢和手 Brunnstrom 分期为 III~IV 期。⑤患者病情平稳,无认知、意识和失语障碍。⑥参与者具有良好的依从性,参与意愿较强。排除标准:①偏瘫

上肢既往有关节炎、外伤骨折或其它可能影响上肢活动功能的疾病。②周围神经损伤导致的腕部及指活动障碍患者。③精神疾病。④病情不稳定。⑤合并严重的心、肝、肾、肺等脏器功能异常及恶性病变者。⑥对中风上肢行功能电刺激和肉毒毒素疗法的患者。脱落标准:①患者在临床诊疗中出现严重并发症或导致病情加重的新发病灶。②患者遵医情况不佳,没有严格遵守医嘱;随访不配合或无法获得随访数据。③患者及家属提出中止试验的请求。④试验期间在外院接受治疗。本研究经襄阳市第一人民医院伦理委员会审核,且研究对象均签署知情同意书。

### 1.2 治疗方法

对照组接受常规康复治疗;taVNS 组除常规康复治疗外,额外进行经皮耳迷走神经刺激治疗;上肢康复机器人组则额外进行上肢康复机器人训练;联合组同时结合了 taVNS 与上肢康复机器人两种干预手段。

1.2.1 常规康复 包括患侧上肢关节的被动活动,促进偏瘫肢体分离运动;良肢位摆放和体位转移训练(包括翻身、床边坐起及床椅转移等);上肢负重训练;平衡训练;步行训练;用患侧上肢参加日常生活活动的训练等。每次 45 min, 1 次/d, 6 d/周,共 6 周。

1.2.2 taVNS 治疗 用 75% 酒精擦拭患者左耳甲区的迷走神经,并将迷走神经电刺激器线圈置于患者左外耳甲艇区,同时将电刺激装置放置于胸前,调整刺激强度,从而使电刺激器按照一定的频率和模式自动刺激迷走神经。刺激间期为刺激 30 s、休息 30 s,频率 25 Hz,电流强度 0.5 mA,脉宽 600  $\mu$ s, 60 min/次, 1 次/d, 6 d/周,治疗 6 周<sup>[9]</sup>。

1.2.3 上肢康复机器人 清洁患者皮肤,按照操作说明给患者穿戴外骨骼机械手,将患者前臂指伸肌及指屈肌分别贴上电极,被动模式由上肢康复机器人协助完成,主动模式由专业医师指导完成,根据肌电信号调整的阈值进行后续相关动作康复训练。患者可依据自身康复需求,自主选择并灵活组合不同的游戏界面,开展情景互动式训练。60 min/次, 1 次/d, 6 d/

周, 治疗 6 周。

### 1.3 疗效评价

1.3.1 运动诱发电位 (Motor evoked potential, MEP) 潜伏期及 CMCT 检测 MEP 皮质潜伏期检测: 患者平躺于病床, 电极粘贴处用 75% 酒精擦拭患者皮肤, 按照操作说明粘贴电极片, 磁刺激病患侧皮质 M1 运动区, 重复 10 次。选取其中 5 次, 取平均值; 中枢运动传导时间 (Central motor conduction time, CMCT) 的检测步骤如下: 根据规范放置电极后, 于患者患侧 C7 棘突位置进行磁刺激, 此时诱发的运动电位即为脊髓潜伏期, 中枢运动传导时间 CMCT = 皮质潜伏期 - 脊髓潜伏期。

1.3.2 运动功能量表 (Fugl-meyer, FMA) 评定上肢运动功能 上肢 FMA 运动功能量包括肩、腕、手和反射 9 个项目, 总评分 66, 分数高的患者上肢的运动功能得到较好的康复。

1.3.3 改良 Barthel 指数 (Modified barthel index, MBI) 量表 MBI 量表作为一项标准化评估工具, 该量表总分为 100 分, 分数越高, 与个体的自理能力成正相关, 分数高代表患者上肢康复效果越佳<sup>[10]</sup>。

1.3.4 大脑中动脉 (Middle cerebral artery, MCA) 血

流速度检测 经颅多普勒诊断仪检测患侧 MCA 收缩期脑血管峰值流速 (Vs) 及平均流速 (Vm) (cm/s), 评估脑血流动力学和脑血管状态。

1.3.5 各组患者在治疗过程中出现的不良反应 主要收集患者在治疗过程中出现偏瘫侧肩部疼痛、麻木、上肢水肿、头痛头晕、恶心呕吐、关节活动度下降、过敏等症状。

1.4 统计学分析 使用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析。对两组间计量资料的比较采用 *t* 检验; 多组间比较则采用单因素方差分析; 组间多重比较采用 Bonferroni 校正, 数据统计分析前, 使用 Levene 检验进行方差齐性评估。符合正态分布的数据以均值 ± 标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示。分类变量的统计学差异采用 chi-square 分析。P < 0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 患者一般情况 128 例患者治疗期间, taVNS 组脱落 1 例, 联合组脱落 2 例。受试者均未出现严重不良反应事件, 仅出现 1 例皮肤刺痛感、灼热感及 2 例轻微头痛的不良反应。4 组患者年龄、性别、病程、偏瘫侧等一般情况比较差异无统计学意义 (P > 0.05), 见表 1。

表 1 4 组患者基线资料比较 [ $\bar{x} \pm s$ , n (× 10<sup>-2</sup>)]

Table 1 Comparison of baseline data among patients in each group

组别	n	年龄(岁)	性别男	病程(d)	偏瘫侧		Brunnstrom 分期	
					左	右	Ⅲ期	Ⅳ期
对照组	32	59.5 ± 9.2	17(53.1)	36.5 ± 10.3	18(56.3)	14(43.8)	16(50.0)	16(50.0)
taVNS 组	31	60.7 ± 9.8	16(51.6)	34.3 ± 11.6	15(48.4)	16(51.6)	17(54.8)	14(45.2)
上肢康复机器人组	32	61.5 ± 10.6	15(46.9)	38.8 ± 10.7	17(53.1)	15(46.9)	17(53.1)	15(46.9)
联合组	30	59.8 ± 10.3	14(46.7)	35.9 ± 9.6	15(50.0)	15(50.0)		16(50.0)
$\chi^2/F$		0.264	0.408	0.924	0.458		0.477	
P		0.852	0.939	0.431	0.928		0.924	

2.2 4 组患者 MEP 潜伏期、CMCT 比较 治疗前, 4 组的患者的 MEP 潜伏期和 CMCT 差异均无统计学意义 (P > 0.05); 治疗后, 各组的上述各项指标均较治疗前明显缩短 (P < 0.05), 单因素方差分析 (ANOVA) 结果表明, 4 组的 MEP 潜伏期、CMCT 指标均差异有

统计学意义 (P < 0.05); 两两比较 (Bonferroni 校正) 发现, 联合治疗组的 MEP 潜伏期和 CMCT 指标效果显著优于 taVNS 组和上肢康复机器人组 (P < 0.05), 而 taVNS 组和上肢康复机器人组之间的差异无统计学意义 (P > 0.05)。见表 2。

表 2 4 组患者治疗前后患侧脑区 MEP 皮质潜伏期、CMCT 变化比较 ( $\bar{x} \pm s$ , ms)

Table 2 Comparison of changes in MEP cortical latency and CMCT in the affected brain regions of four groups of patients before and after treatment

组别	n	MEP 皮质潜伏期				患侧上肢 CMCT			
		治疗前	治疗后	t	P	治疗前	治疗后	t	P
对照组	32	24.62 ± 2.15	23.46 ± 2.07	2.199	0.032	12.11 ± 1.74	11.23 ± 1.55	2.136	0.037
taVNS 组	31	25.24 ± 2.68	22.61 ± 2.11 <sup>①②③</sup>	4.293	<0.001	11.82 ± 1.71	10.52 ± 1.28 <sup>①②③</sup>	3.389	0.001
上肢康复机器人组	32	23.88 ± 2.29	22.28 ± 2.14 <sup>①②</sup>	2.888	0.005	12.08 ± 1.67	10.61 ± 1.43 <sup>①②</sup>	3.782	<0.001
联合组	30	24.64 ± 2.25	21.17 ± 2.06 <sup>①</sup>	6.23	<0.001	11.64 ± 1.65	9.52 ± 1.36 <sup>①</sup>	5.43	<0.001
F		2.511	3.908			1.459	6.052		
P		0.087	0.023			0.235	0.003		

注: 与对照组相比, ①P < 0.05; 与联合组相比, ②P < 0.05; 与上肢康复机器人组相比, ③P > 0.05。

2.3 4 组患者上肢 FMA 评分、MBI 评分比较 治疗前, 各组 FMA 评分、MBI 评分差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ); 治疗后, 各组的上述各项指标均较治疗前明显改善 (均  $P<0.05$ ), 单因素方差分析 (ANOVA) 结果表明, 4 组之间的 FMA 评分和 MBI 评分指标差

异均有统计学意义 ( $P<0.05$ ), 两两比较 (Bonferroni 校正) 发现, 联合治疗组的 FMA 评分和 MBI 评分指标效果显著优于 taVNS 组和上肢康复机器人组 ( $P<0.05$ ), 而 taVNS 组和上肢康复机器人组之间的差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。见表 3。

表 3 4 组患者治疗前后患侧脑区 FMA 评分、MBI 变化比较 ( $\bar{x}\pm s$ , 分)

Table 3 Comparison of changes in FMA scores and MBI of affected brain areas in four groups of patients before and after treatment

组别	n	FMA 评分				MBI 评分			
		治疗前	治疗后	t	P	治疗前	治疗后	t	P
对照组	32	33.56±8.21	41.52±9.11	3.672	<0.001	39.45±9.25	46.65±10.34	2.936	<0.01
taVNS 组	31	31.87±8.35	44.06±8.87 <sup>①②③</sup>	5.572	<0.001	40.65±9.55	52.85±11.78 <sup>①②③</sup>	4.479	<0.001
上肢康复机器人组	32	34.52±7.85	43.58±8.14 <sup>①②</sup>	4.552	<0.001	41.55±10.16	52.08±9.83 <sup>①②</sup>	4.214	<0.001
联合组	30	33.75±9.13	47.86±8.04 <sup>①</sup>	5.806	<0.001	40.32±9.28	58.85±10.32 <sup>①</sup>	7.313	<0.001
F		0.454	3.725			0.388	3.68		
P		0.636	0.028			0.679	0.029		

注: 与对照组相比, ① $P<0.05$ ; 与联合组相比, ② $P<0.05$ ; 与上肢康复机器人组相比, ③ $P>0.05$ 。

2.4 4 组患者患侧大脑中动脉 MCA 血流速度比较 治疗前, 各组患者患侧 MCA 脑 Vs 及 Vm 比较差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ); 治疗后, 各组的 Vs 及 Vm 指标均较治疗前明显提高 ( $P<0.05$ ), 单因素方差分析 (ANOVA) 结果表明, 4 组之间的 Vs 及 Vm 指标差

异均有统计学意义 ( $P<0.05$ ), 两两比较 (Bonferroni 校正) 发现, 联合治疗组的 Vs 及 Vm 指标效果显著优于 taVNS 组和上肢康复机器人组 ( $P<0.05$ ), 而 taVNS 组和上肢康复机器人组之间差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。见表 4。

表 4 4 组患者治疗前后患侧脑区大脑中动脉 MCA 血流速度比较 ( $\bar{x}\pm s$ , cm/s)

Table 4 Comparison of MCA in the affected brain region before and after treatment in four groups of patients

组别	n	Vs				Vm			
		治疗前	治疗后	t	P	治疗前	治疗后	t	P
对照组	32	98.25±11.16	112.52±15.11	4.297	<0.001	60.25±11.41	68.35±12.52	2.705	0.009
taVNS 组	31	97.84±12.35	122.56±15.87 <sup>①②③</sup>	6.844	<0.001	62.65±11.13	75.51±12.66 <sup>①②③</sup>	4.248	<0.001
上肢康复机器人组	32	95.11±10.85	126.24±14.14 <sup>①②</sup>	9.882	<0.001	60.55±10.18	76.19±11.45 <sup>①②</sup>	5.684	<0.001
联合组	30	97.54±12.13	136.86±16.04 <sup>①</sup>	10.71	<0.001	61.32±10.25	85.85±12.52 <sup>①</sup>	8.264	<0.001
F		0.509	6.694			0.377	6.795		
P		0.603	0.002			0.687	0.002		

注: 与对照组相比, ① $P<0.05$ ; 与联合组相比, ② $P<0.05$ ; 与上肢康复机器人组相比, ③ $P>0.05$ 。

### 3 讨论

脑卒中在我国是居民死亡的首位原因, 其中 70% 卒中后存活患者可出现不同程度的残疾, 其中上肢功能障碍是最常见的功能障碍之一, 严重影响患者日常生活活动<sup>[11]</sup>。研究<sup>[12-13]</sup>表明, 早期康复锻炼可显著减少患者致残率, 改善患者生活质量, 而肢体康复训练是促进神经环路再生重组和加强突触间联系的有效途径。目前在临床上主要采用普通的康复训练, 但是必须在康复医师的引导下进行, 而且整个的康复训练非常单调, 造成了一些患者无法持续, 进而降低了锻炼的效果。所以, 寻求一种合理的康复训练方式, 才能更好地帮助患者更好地实现身体的功能恢复, 进而达到更好的康复治疗效果。

本研究中经过 6 周干预发现, 所有组别患者的 FMA 评分与 MBI 评分均较干预前显著提升。其中, 联合治疗组的改善幅度显著大于单纯 taVNS 组及单

纯上肢康复机器人组。提示单独应用 taVNS 或上肢康复机器人均可促进患者上肢运动功能与日常生活能力的恢复, 而二者联合干预则能产生更优的康复效果。机器人辅助治疗是利用机器人设备为患者提供运动或任务导向训练, 可根据患者不同的偏瘫情况进行针对性的主/被动康复, 有效促进患者的肢体功能恢复<sup>[14]</sup>。以往的研究主要集中在肩、肘等大型关节的康复训练上, 缺乏对手部精细动作的关注, 而近年来发展起来的上肢康复机器人弥补了该不足<sup>[15]</sup>。上肢康复机器人通过体表肌电信号控制患侧肢体做主动、被动动作, 增强上肢远端肌力, 提高患肢协调能力, 实现卒中后肢体运动功能的恢复。许济等<sup>[16]</sup>研究表明, 采用上肢康复机器人可以有效地提高中风后偏瘫患者的四肢肌肉力量, 提高他们的日常活动和身体机能, 减少他们的精神忧郁、焦虑, 并且是一种安全的治疗方法。孙丹乔等<sup>[17]</sup>研究表明, 应用该技术可显著提

高中风后患侧肢体的活动及生活自理能力,这与本课题组研究的结论相符。

有研究<sup>[18]</sup>证实,VNS具有改善脑内血液供应、修复血脑屏障功能、减少脑梗区域、增强皮层重塑、减轻脑内炎性因子等作用,进而减轻脑缺血损伤。VNS介导的靶向可塑性在出血性和缺血性脑卒中动物模型中均可明显改善运动功能,且神经保护作用 and 胆碱能抗炎通路的激活密切相关<sup>[19]</sup>。此外,VNS可通过躯体感觉运动信号传入到大脑,诱发大脑相关的脑电活动,促进损伤的神经元应答,诱导大脑细胞功能重建,从而改善脑卒中偏瘫患者的肢体运动功能<sup>[20]</sup>。胡振国等<sup>[21]</sup>研究发现 VNS联合中医综合治疗治疗脑卒中偏瘫患者,可显著提高临床疗效和日常生活活动能力,有效改善肢体运动功能。魏星<sup>[22]</sup>认为 VNS联合上肢训练通过调节大脑皮层乙酰胆碱、多巴胺和去甲肾上腺素水平,改善恢复早期缺血性脑卒中患者日常生活能力和上肢运动功能,且安全性较好。DAWSON等<sup>[23]</sup>研究发现,taVNS对中风后肢体运动和日常生活能力较对照组可提高2~3倍。脑卒中后的神经重塑受到诸多因素的调控,其中,神经递质及细胞生长因子对患者的康复起到了关键作用<sup>[24]</sup>。张丽萍等<sup>[25]</sup>研究表明,应用 taVNS结合传统的康复锻炼可明显改善中风患者的上肢运动功能。本研究结果显示,taVNS联合上肢康复机器人能进一步促进脑卒中后患侧上肢运动功能恢复和日常生活能力的改善,上肢FMA、MBI评分提高和MEP皮质潜伏期和CMCT降低均明显优于其它组。且taVNS通过中枢干预,为神经可塑性创造适应性环境,上肢康复机器人强化中枢神经系统的正性反馈,两者联合能够产生协同效应,最大程度促进脑损伤后功能重组及神经恢复,强化正确的康复运动模式,进而改善运动控制能力和加速上肢功能恢复<sup>[26-27]</sup>。

在神经电生理评估中,MEP可用于检测中枢运动传导通路的完整性,并提示运动神经元的受损情况;而CMCT主要用于评估皮质脊髓束的信号传导功能。本研究结果显示,taVNS联合上肢康复机器人组的MEP潜伏期、CMCT缩短也更为显著,促进患者康复。taVNS与上肢康复机器人可能通过以下机制促进脑卒中后运动功能恢复:二者均能够调控大脑皮层的兴奋水平,并重建双侧半球间的正常协调关系。而上肢康复机器人会强化多种感觉的反馈,激活神经系统,加速患者大脑的功能重组和上肢的功能恢复<sup>[28-29]</sup>。在本研究中,所有接受 taVNS治疗的患者仅有少部分出现头痛或局部皮肤轻微不适,但这些不良反应均未影响治疗的进行,该结果提示,taVNS刺激

部位与参数具有较好的安全性。本研究未对纳入的研究对象按病变部位、卒中性质等进行分层比较,也缺乏长期的疗效观察追踪,有待进一步完善。

#### 4 结论

本研究结果提示,taVNS和上肢康复机器人均可改善脑卒中偏瘫患者患侧上肢的肌力,提高手的灵活度和上肢运动功能,且两者联合使用效果更佳。

#### 【参考文献】

- [1] D'NETTO P, RUMBACH A, DUNN K, *et al.* Clinical predictors of dysphagia recovery after stroke: a systematic review[J]. *Dysphagia*, 2023, 38(1): 1-22.
- [2] BAIG S S, KAMAROVA M, ALI A, *et al.* Transcutaneous vagus nerve stimulation (tVNS) in stroke: the evidence, challenges and future directions[J]. *Auton Neurosci*, 2022, 237: 102909.
- [3] ZOU N Y, ZHOU Q, ZHANG Y, *et al.* Transcutaneous auricular vagus nerve stimulation as a novel therapy connecting the central and peripheral systems: a review[J]. *Int J Surg*, 2024, 110(8): 4993-5006.
- [4] CHEN J C, CHENG H M. Applying an artificial neuromolecular system to the application of robotic arm motion control in assisting the rehabilitation of stroke patients-an artificial world approach[J]. *Biomimetics*, 2023, 8(5): 385.
- [5] LI D, LI R Y, SONG Y P, *et al.* Effects of brain-computer interface based training on post-stroke upper-limb rehabilitation: a meta-analysis[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2025, 22(1): 44.
- [6] LI J N, XIE C C, LI C Q, *et al.* Efficacy and safety of transcutaneous auricular vagus nerve stimulation combined with conventional rehabilitation training in acute stroke patients: a randomized controlled trial conducted for 1 year involving 60 patients [J]. *Neural Regen Res*, 2022, 17(8): 1809-1813.
- [7] THOMPSON S L, O'LEARY G H, AUSTELLE C W, *et al.* A review of parameter settings for invasive and non-invasive vagus nerve stimulation (VNS) applied in neurological and psychiatric disorders[J]. *Front Neurosci*, 2021, 15: 709436.
- [8] 薛亚峰, 鄢淑燕, 王寒明, 等. 穿戴式外骨骼康复机器人结合 Bobath 技术对脑卒中偏瘫患者的影响[J]. *西部医学*, 2024, 36(6): 846-849, 854.
- [9] REDDY R S, GULAR K, DIXIT S, *et al.* Impact of constraint-induced movement therapy (CIMT) on functional ambulation in stroke patients-a systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19(19): 12809.
- [10] LEE B O, SARAGIH I D, BATUBARA S O. Robotic arm use for upper limb rehabilitation after stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. *Kaohsiung J Med Sci*, 2023, 39(5): 435-445.
- [11] CHU C L, LEE T H, CHEN Y P, *et al.* Recovery of walking ability in stroke patients through postacute care rehabilitation [J]. *Biomed J*, 2023, 46(4): 100550.
- [12] 谢荣, 谷自莹, 赵文君, 等. 康复机器人辅助训练对脑卒中患者偏瘫上肢功能的影响: 基于剪切波弹性成像技术的探索[J]. *中国康复医学杂志*, 2025, 40(11): 1627-1636.
- [13] SUN X W, XU K, SHI Y Q, *et al.* Discussion on the rehabilitation of stroke hemiplegia based on interdisciplinary combination of medicine and engineering[J]. *Evid Based Complement*

- Alternat Med, 2021, 2021: 6631835.
- [14] CHEN X F, GAN Z H, TIAN W C, *et al.* Effects of rehabilitation training of core muscle stability on stroke patients with hemiplegia[J]. Pak J Med Sci, 2020, 36(3): 461-466.
- [15] XU M D, ZI Y Y, WU J L, *et al.* Effect of opposing needling on motor cortex excitability in healthy participants and in patients with post-stroke hemiplegia: study protocol for a single-blind, randomised controlled trial[J]. Trials, 2021, 22(1): 481.
- [16] 许济, 田苗, 陈斌, 等. 神经康复机械手联合常规训练对脑卒中伴偏瘫患者肢体功能恢复的影响[J]. 中国临床医生杂志, 2021, 49(3): 296-299.
- [17] 孙丹乔. 神经康复机械手强化训练对脑卒中偏瘫患者上肢运动功能恢复的影响[D]. 青岛: 青岛大学, 2018.
- [18] TUENA C, SERINO S, PEDROLI E, *et al.* Building embodied spaces for spatial memory neurorehabilitation with virtual reality in normal and pathological aging[J]. Brain Sci, 2021, 11(8): 1067.
- [19] MARÍN-MEDINA D S, ARENAS-VARGAS P A, ARIAS-BOTERO J C, *et al.* New approaches to recovery after stroke[J]. Neurol Sci, 2024, 45(1): 55-63.
- [20] KEUTE M, GHARABAGHI A. Brain plasticity and vagus nerve stimulation[J]. Auton Neurosci, 2021, 236: 102876.
- [21] 胡振国, 孙丽琴, 杨文, 等. 迷走神经电刺激联合中医综合治疗对脑卒中后病人偏瘫肢体功能恢复的效果研究[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2018, 16(14): 1974-1976.
- [22] 魏星. 经耳迷走神经刺激联合上肢训练对脑卒中患者上肢运动功能及脑可塑性的影响[D]. 天津: 天津体育学院, 2020.
- [23] DAWSON J, LIU C Y, FRANCISCO G E, *et al.* Vagus nerve stimulation paired with rehabilitation for upper limb motor function after ischaemic stroke (VNS-REHAB): a randomised, blinded, pivotal, device trial[J]. Lancet, 2021, 397(10284): 1545-1553.
- [24] PRUITT D T, DANAPHONGSE T T, LUTCHMAN M, *et al.* Optimizing dosing of vagus nerve stimulation for stroke recovery[J]. Transl Stroke Res, 2021, 12(1): 65-71.
- [25] 张利萍, 余明亮, 王三荣, 等. 经外耳皮肤电刺激迷走神经对脑梗死偏瘫患者上肢运动功能恢复的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2020, 35(11): 1316-1320.
- [26] LI L J, WANG D, PAN H X, *et al.* Non-invasive vagus nerve stimulation in cerebral stroke: current status and future perspectives[J]. Front Neurosci, 2022, 16: 820665.
- [27] LI Y H, LIAN Y W, CHEN X W, *et al.* Effect of task-oriented training assisted by force feedback hand rehabilitation robot on finger grasping function in stroke patients with hemiplegia: a randomised controlled trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2024, 21(1): 77.
- [28] 章晓峰, 刘勇, 金振华. 经外耳皮肤迷走神经电刺激联合双侧上肢训练对脑卒中上肢运动功能的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2023, 29(3): 280-285.
- [29] DE IACO L, VEERBEEK J M, KET J C F, *et al.* Upper limb robots for recovery of motor arm function in patients with stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. Neurology, 2024, 103(2): e209495.

(收稿日期: 2025-06-15; 修回日期: 2025-11-25; 编辑: 王小菊)

(上接第 839 页)

- [12] 中国研究型医院学会脑小血管病专业委员会《中国脑小血管病诊治专家共识》编写组. 中国脑小血管病诊治专家共识 2021[J]. 中国卒中杂志, 2021, 16(7): 716-726.
- [13] 杨月欣. 《中国食物成分表》标准版第 6 版第一二册出版[J]. 营养学报, 2019, 41(5): 426
- [14] dumdadu ulus-un sim'e tejigel-ün neyigem. . 中国居民膳食指南-2016[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2016. 344.
- [15] BUONACERA A, STANCANELLI B, COLACI M, *et al.* Neutrophil to lymphocyte ratio: an emerging marker of the relationships between the immune system and diseases[J]. Int J Mol Sci, 2022, 23(7): 3636.
- [16] ZHANG X Y, LI D Y, DU Y W. Prognostic value of the neutrophil to lymphocyte ratio for cardiovascular diseases: research progress[J]. Am J Transl Res, 2025, 17(2): 1170-1177.
- [17] SHI M, LI X F, ZHANG T B, *et al.* Prognostic role of the neutrophil-to-lymphocyte ratio in intracerebral hemorrhage: a systematic review and meta-analysis[J]. Front Neurosci, 2022, 16: 825859.
- [18] FONSECA S, COSTA F, SEABRA M, *et al.* Systemic inflammation status at admission affects the outcome of intracerebral hemorrhage by increasing perihematoma edema but not the hematoma growth[J]. Acta Neurol Belg, 2021, 121(3): 649-659.
- [19] ZHUANG D Z, SHENG J T, PENG G Y, *et al.* Neutrophil to lymphocyte ratio predicts early growth of traumatic intracerebral haemorrhage[J]. Ann Clin Transl Neurol, 2021, 8(8): 1601-1609.
- [20] INOUE Y, SHUE F, BU G J, *et al.* Pathophysiology and probable etiology of cerebral small vessel disease in vascular dementia and Alzheimer's disease[J]. Mol Neurodegener, 2023, 18(1): 46.
- [21] WU L Y, CHAI Y L, CHEAH I K, *et al.* Blood-based biomarkers of cerebral small vessel disease[J]. Ageing Res Rev, 2024, 95: 102247.
- [22] OWENS C D, PINTO C B, DETWILER S, *et al.* Cerebral small vessel disease pathology in COVID-19 patients: a systematic review[J]. Ageing Res Rev, 2023, 88: 101962.
- [23] MARKUS H S, JOUTEL A. The pathogenesis of cerebral small vessel disease and vascular cognitive impairment[J]. Physiol Rev, 2025, 105(3): 1075-1171.
- [24] NAM K W, KWON H M, JEONG H Y, *et al.* Association of body shape index with cerebral small vessel disease[J]. Obes Facts, 2023, 16(2): 204-211.
- [25] DU L, ZONG Y, LI H R, *et al.* Hyperuricemia and its related diseases: mechanisms and advances in therapy[J]. Signal Transduct Target Ther, 2024, 9(1): 212.
- [26] WU W P, GENG Z, WU A M, *et al.* Prognostic significance of uric acid levels in intracerebral hemorrhage patients[J]. Neuro-psychiatr Dis Treat, 2024, 20: 449-458.
- [27] ZHAO Y Q, ZHOU Y, ZHOU H, *et al.* Low-density lipoprotein cholesterol, statin therapy, and cerebral microbleeds: the CIRCLE study[J]. Neuroimage Clin, 2023, 39: 103502.
- [28] 房硕, 董兰真, 刘洋洋, 等. HO-1、sLOX-1 水平与急性缺血性脑卒中患者神经功能、认知功能的关系[J]. 西部医学, 2025, 37(9): 1386-1389, 1395.

(收稿日期: 2025-11-05; 修回日期: 2026-01-10; 编辑: 王小菊)