

脑卒中患者采用力反馈感知康复训练后手指运动功能障碍 恢复效果评价

连雅雯, 李莹华, 徐国兴, 解希曦, 李贞兰
(吉林大学第一医院康复科, 吉林 长春 130021)

[摘要] **目的:** 探讨力反馈感知康复训练对脑卒中后手指运动功能障碍患者手指运动功能的影响, 为力反馈感知康复训练的临床应用和推广提供依据。**方法:** 86例脑卒中后手指运动功能障碍患者随机分为试验组 ($n=43$) 和对照组 ($n=43$), 其中试验组和对照组各脱落3例, 最终80例患者纳入本研究。2组患者在进行40 min常规康复训练基础上, 对照组患者进行常规手功能训练20 min, 试验组患者进行力反馈感知康复训练20 min, 每天1次, 每周5 d, 共6周。治疗前后采用上肢动作研究量表 (ARAT)、握力、改良 Ashworth 量表 (MAS)、手指总主动活动度 (TAM)、Fugl-Meyer 上肢运动功能评定量表 (FMA-UL) 手运动部分和 Barthel 指数 (BI) 评定量表评价患者手功能恢复情况。**结果:** 治疗前2组患者 ARAT 评分、握力、MAS 分级、TAM、FMA-UL 手运动部分评分和 BI 评分比较差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。与治疗前比较, 治疗6周后2组患者 ARAT 评分、握力、TAM、FMA-UL 手运动部分评分和 BI 评分均升高 ($P<0.05$), MAS 分级差异无统计学意义 ($P>0.05$)。与对照组比较, 治疗6周后试验组患者 ARAT 评分中抓评分、握评分和治疗前后 ARAT 总评分差值升高 ($P<0.05$), 治疗后 TAM 及治疗前后握力差值、TAM 差值和 FMA-UL 手运动部分评分差值升高 ($P<0.05$), 但 ARAT 评分中捏评分、粗大运动评分及 MAS 分级和治疗前后 BI 评分差值差异无统计学意义 ($P>0.05$)。**结论:** 力反馈感知康复训练有助于改善脑卒中后手指运动功能障碍患者的手指运动功能。

[关键词] 力反馈感知; 脑卒中; 手指运动功能障碍; 康复治疗

[中图分类号] R743.3; R493 **[文献标志码]** B

Evaluation of recovery effect of finger motor dysfunction in patients with stroke after treated with force feedback perceptual rehabilitation training

LIAN Yawen, LI Yinghua, XU Guoxing, XIE Xixi, LI Zhenlan

(Department of Rehabilitation Medicine, First Hospital, Jilin University, Changchun 130021, China)

ABSTRACT **Objective:** To discuss the effect of the force feedback perceptual rehabilitation training on finger motor function of the patients with finger motor dysfunction after stroke, and to provide the basis for the clinical application and promotion of the force feedback perceptual rehabilitation training. **Methods:** A total of 86 patients with hand dysfunction after stroke were randomly divided into experimental group ($n=43$) and control group ($n=43$), and 3 cases in each group fell off from the experiment, and

[收稿日期] 2023-10-03

[基金项目] 吉林省科技厅科技发展计划项目 (20200404209YY)

[作者简介] 连雅雯 (1997—), 女, 辽宁省鞍山市人, 技师, 医学硕士, 主要从事脑卒中后手功能恢复及其机制方面的研究。

[通信作者] 李贞兰, 教授, 主任医师, 博士研究生导师 (E-mail: zhenlan@jlu.edu.cn)

80 cases were ultimately completed. On this basis, the patients in two groups received the conventional rehabilitation training for 40 min. The patients in control group received the conventional hand function training for 20 min, while the patients in experimental group received the force feedback perception rehabilitation training for 20 min, once per day, 5 days per week, for a total of 6 weeks. The hand function recovery of the patients were evaluated before and after treatment by Action Research Arm Test (ARAT), grip strength, modified Ashworth scale (MAS), total active motion (TAM), Fugl-Meyer motor function assessment-upper limb (FMA-UL) finger motor part score, and Barthel index (BI). **Results:** Before treatment, there were no statistically significant differences in ARAT total score, grip strength, MAS grade, TAM, FMA-UL finger motor part score, and BI score of the patients between two groups ($P > 0.05$). After treated for 6 weeks, the ARAT scores, grip strengths, TAM, FMA-UL finger motor part scores, and BI scores of the patients in two groups were all increased than those before treatment ($P < 0.05$), while the MAS grades of the patients had no significant differences ($P > 0.05$). After treated for 6 weeks, compared with control group, the grasp score and grip score in ARAT score, and the difference of total ARAT score of the patients in experimental group were increased ($P < 0.05$), the TAM after treatment and the differences of grip strength, TAM, and FMA-UL finger motor part score of the patients before and after treatment were increased ($P < 0.05$), while the pinch scores and gross movement scores in ARAT score, MAS grades, and the differences of BI score before and after treatment had no significant differences ($P > 0.05$). **Conclusion:** Force feedback perceptual rehabilitation training is helpful in improving the finger motor function of the patients with finger motor dysfunction after stroke.

KEYWORDS Force feedback perceptual; Stroke; Finger motor dysfunction; Rehabilitation treatment

脑卒中是一种因脑血管突然破裂或阻塞而导致脑组织损伤的急性脑血管疾病^[1]。2020年中国卒中报告^[2]显示:我国40岁及以上人群中脑卒中患者为1 780万,其中55%~75%患者可遗留不同程度的肢体功能障碍,约80%以上患者伴有手功能障碍,恢复较慢且仅有30%患者可完全恢复正常,严重影响患者的生活质量^[3]。手功能恢复较大程度上依赖于神经可塑性,反复的手功能康复训练可使大脑神经重组和修复^[4]。传统手功能康复训练多由治疗师辅助患者进行,但患者常不能获取完整的感受运动信息,易造成异常的手指运动模式,导致疗效欠佳^[5]。力反馈感知训练技术为脑卒中患者手功能恢复提供了新的治疗途径,通过内置传感器捕捉患侧肢体执行任务时的感受运动信息,即时调整系统输出成比例的辅助力,结合视觉、触觉和本体感觉等多模态感觉辅助患者完成精确动作^[6]。研究^[7]显示:力反馈感知康复训练有利于增强脑卒中患者神经肌肉控制,改善其运动功能,但其在手功能康复方面的效果尚不明确。本研究通过探讨力反馈感知康复训练对脑卒中后手指运动功能障碍患者的影响,为其在脑卒中患者手功能康复中的临床应用提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集2022年1月—2023年6月在吉林大学第一医院康复医学科住院的脑卒中后手功能障碍患者86例作为研究对象。纳入标准:①符合中国急性缺血性脑卒中诊治指南(2018版)^[8]和中国脑出血诊治指南(2019版)^[9]制订的诊断标准,并经颅脑电子计算机断层扫描(computed tomography, CT)或磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)确诊;②首次发病,年龄20~85岁,病程≤6个月,生命体征平稳,右利手且伴有右侧上肢运动功能障碍;③患侧手Brunnstrom分期Ⅱ~Ⅴ期,手指肌张力改良Ashworth量表(modified Ashworth scale, MAS)分级≤1+级;④神志清醒,检查合作,无明显的认知功能障碍,可执行一般指令;⑤患者知情同意并配合治疗。排除标准:①既往有腕手结构功能异常,如骨折、手指残缺和关节畸形等,或其他原因所致的运动功能障碍;②各种原因导致严重的关节疼痛影响手指功能活动;③并发严重心、肺、肝和肾疾病或感染性疾病;④妊娠和哺乳期妇女。脱落标准:①中途出院;②无法耐受规定康复训练项目;③病情变化或突发其他疾病而终止治疗。

采用单盲(对评定者设盲)随机对照研究,将

符合纳入标准的患者按照随机数字表法进行分组,随机数字为奇数者纳入试验组,随机数字为偶数者纳入对照组,每组43例。根据患者的就诊顺序依次抽取序号分组并进行治疗,治疗过程中试验组和对照组各脱落3例,最终每组40例患者纳入研究。2组患者性别、年龄、病程、卒中类型和手

Brunnstrom分期比较差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。见表1。本研究已通过吉林大学第一医院医学伦理委员会批准(批准号:22K065-001),并取得患者本人及其家属知情同意。

表1 2组患者临床资料

Tab.1 Clinical data of patients in two groups

Group	Gender		Age (year)	Time since injury (t/d)	Etiology		Brunnstrom stage of hand (II/III/IV/V)
	Male	Female			Cerebral infarction	Cerebral hemorrhage	
Control	34	7	61.00(51.00,65.00)	56.50(40.00,93.75)	35	5	10/17/8/5
Experimental	29	11	59.50(52.50,65.00)	55.50(33.75,88.75)	36	4	12/13/9/6

1.2 研究方法 2组患者均进行常规上肢康复训练,主要包括上肢主被动关节活动度训练、神经肌肉促进技术、协调性训练和日常生活活动训练等,每次40 min,每天1次,每周5 d,共6周。在常规上肢康复训练基础上,对照组患者进行常规手功能训练,试验组患者进行力反馈感知康复训练。①常规手功能训练:治疗师根据患者手功能的实际情况选择插木钉、抓球和捡豆子等活动,并辅助患手完成动作练习。训练时间为每次20 min,每天1次,每周5 d,共6周。②力反馈感知康复训练:采用SEM™力反馈感知手部康复机器人(瑞典Bioservo公司)^[6]治疗。治疗前向患者及其家属介绍手部康复机器人操作的基本过程、治疗原理和注意事项,消除患者紧张情绪。正式训练时,嘱患者取坐位,身体保持放松,上肢放置于桌面上,治疗师辅助患者正确穿戴好机器人手套,将腕部松紧调至合适,指腹置于各传感器处。治疗师先对动作要领进行说明及演示,指导患者用健侧手模仿,患者穿戴SEM™力反馈手套进行插木钉、抓球和捡豆子等活动练习。根据患者实际情况调整训练难度,如改变物品的形状、质量和运动距离等。训练时间为每次20 min,每天1次,每周5 d,共6周。

1.3 观察指标 分别于治疗前和治疗6周时,由1名不知晓分组情况和治疗方案的康复评定师对2组患者进行评估。采用上肢动作研究(Action Research Arm Test, ARAT)量表评估患手处理不同大小、质量和形状物体的能力,满分66分,分值越高表示患者运动功能越好。采用握力计检测患者手部肌群抓握力量,单位为kg。采用MAS分级

评估患者手指屈肌肌群肌张力,结果可分为0、1、1+、2、3和4级,分级越高表示肌张力越高。采用总主动活动度(total action motion, TAM)评估患者手指关节活动范围,即手指各关节屈曲角度之和减去各关节伸直受限角度之和,单位为度(°),TAM越大表示手指活动范围越大。采用Fugl-Meyer上肢运动功能评定量表(Fugl-Meyer motor function assessment upper limb, FMA-UL)手运动部分评分评估患者手运动功能,总分14分,分值越高表示患者手运动功能越好。采用Barthel指数(Barthel index, BI)评定量表评估患者日常生活活动能力,本研究选择进食、穿衣、如厕、洗澡和修饰等5项与手部功能密切相关的活动,总分40分,分值越高表示患者日常生活活动能力越好。

1.4 统计学分析 采用SPSS 26.0统计软件进行统计学分析。2组患者年龄、病程、ARAT评分、握力、TAM、FMA-UL手运动部分评分和BI评分为计量资料,经正态性检验不符合正态分布,以中位数(四分位间距)[M(P25, P75)]表示,2组间比较采用Wilcoxon秩和检验;性别、卒中类型和手Brunnstrom分期为计数资料,2组间比较采用 χ^2 检验或Fisher确切概率法;MAS为等级资料,2组间比较采用Wilcoxon秩和检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 治疗前后2组患者ARAT评分 治疗前2组患者ARAT各项评分比较差异无统计学意义($P>0.05$)。与治疗前比较,治疗6周后2组患者

ARAT 各项评分均升高 ($P < 0.05$)。与对照组比较, 试验组患者 ARAT 评分中抓评分、握评分和治疗前后 ARAT 总评分差值均升高 ($P < 0.05$),

捏评分、粗大运动评分和 ARAT 总评分差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 2。

表 2 治疗前后 2 组患者 ARAT 评分

Tab. 2 ARAT scores of patients in two groups before and after treatment [n=40, M(P25, P75)]

Group	Grasp score			Grip score		
	Before treatment	After treatment	Difference value	Before treatment	After treatment	Difference value
Control	6.00(3.25, 10.75)	10.00(9.00, 13.00)*	3.50(2.00, 6.00)	5.00(2.00, 8.00)	8.00(6.00, 10.00)*	2.00(0.25, 4.00)
Experimental	8.00(5.00, 11.00)	14.00(12.25, 18.00)* [△]	5.00(3.00, 8.00)	7.00(3.00, 9.00)	10.00(8.25, 12.00)* [△]	2.00(0.00, 4.00)
Group	Pinch score			Gross movement score		
	Before treatment	After treatment	Difference value	Before treatment	After treatment	Difference value
Control	2.00(0.25, 6.00)	5.00(3.25, 10.00)*	2.50(2.00, 4.00)	1.50(0.00, 4.75)	5.00(3.00, 6.75)*	2.00(0.25, 3.75)
Experimental	3.00(0.00, 5.50)	7.00(4.00, 10.00)*	4.00(1.00, 6.00)	2.50(0.00, 4.75)	6.00(3.25, 9.00)*	2.50(0.00, 5.75)
Group	Total score					
	Before treatment	After treatment	Difference value			
Control	14.50(6.25, 29.25)	27.00(23.00, 41.25)*	11.50(7.25, 17.75)			
Experimental	19.50(9.00, 31.25)	35.50(29.25, 46.00)*	14.50(9.00, 22.50) [△]			

* $P < 0.05$ vs before treatment in same group; [△] $P < 0.05$ vs control group.

2.2 治疗前后 2 组患者握力 治疗前 2 组患者握力比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。与治疗前比较, 治疗 6 周后 2 组患者握力增加 ($P < 0.05$)。与对照组比较, 试验组患者治疗前后握力差值增加 ($P < 0.05$)。见表 3。

2.3 治疗前后 2 组患者 MAS 分级 治疗前 2 组患者 MAS 分级比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。治疗 6 周后, 2 组患者 MAS 分级组内及组间比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 4。

2.4 治疗前后 2 组患者 TAM 治疗前 2 组患者 TAM 比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。与治疗前比较, 治疗 6 周后 2 组患者 TAM 均增加 ($P <$

表 3 治疗前后 2 组患者握力

Tab. 3 Grip strengths of patients in two groups before and after treatment [n=40, M(P25, P75), m/kg]

Group	Grip strength		
	Before treatment	After treatment	Difference value
Control	0.20(0.00, 2.70)	2.20(0.60, 3.58)*	0.75(0.50, 1.45)
Experimental	0.25(0.00, 3.20)	3.15(1.65, 5.68)*	1.95(1.30, 2.68) [△]

* $P < 0.05$ vs before treatment in same group; [△] $P < 0.05$ vs control group.

0.05)。与对照组比较, 试验组患者治疗后 TAM 和治疗前后 TAM 差值增加 ($P < 0.05$)。见表 5。

表 4 治疗前后 2 组患者 MAS 分级

Tab. 4 MAS grade of patients in two groups before and after treatment

(n=40)

Group	MAS grade before treatment						MAS grade after treatment					
	0	1	1+	2	3	4	0	1	1+	2	3	4
Control	17	15	8	0	0	0	15	17	7	1	0	0
Experimental	19	12	9	0	0	0	19	16	6	1	0	0

2.5 治疗前后 2 组患者 FMA-UL 手运动部分评分 治疗前 2 组患者 FMA-UL 手运动部分评分比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。与治疗前比较, 治疗 6 周后 2 组患者 FMA-UL 手运动部分评分均升高 ($P < 0.05$)。与对照组比较, 试验组患者治疗

前后 FMA-UL 手运动部分评分差值升高 ($P < 0.05$)。见表 6。

2.6 治疗前后 2 组患者 BI 评分 治疗前 2 组患者 BI 评分比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。与治疗前比较, 治疗 6 周后 2 组患者 BI 评分均升高

表5 治疗前后2组患者TAM

Tab. 5 TAM of patients in two groups before and after treatment [n=40, M(P25, P75), $\theta/^\circ$]

Group	TAM		
	Before treatment	After treatment	Difference value
Control	187.50(138.25, 527.25)	489.00(281.25, 650.25)*	113.00(60.75, 213.00)
Experimental	180.00(112.00, 575.50)	543.50(427.75, 776.75)* [△]	215.50(108.75, 360.50) [△]

* $P < 0.05$ vs before treatment in same group; [△] $P < 0.05$ vs control group.

表6 治疗前后2组患者FMA-UL手运动部分评分

Tab. 6 FMA-UL finger motor part scores of patients in two groups before and after treatment [n=40, M(P25, P75)]

Group	FMA-UL finger motor part score		
	Before treatment	After treatment	Difference value
Control	3.50(2.00, 7.00)	8.00(5.00, 10.75)*	3.00(1.25, 4.00)
Experimental	3.00(2.00, 8.00)	9.00(7.00, 12.75)*	4.50(3.00, 6.00) [△]

* $P < 0.05$ vs before treatment in same group; [△] $P < 0.05$ vs control group.

($P < 0.05$)。与对照组比较, 试验组患者治疗前后BI评分差值差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表7。

3 讨论

脑卒中后由于大脑神经功能缺损, 与手功能相关的脑区结构和功能异常, 手脑之间的信息传递通路受损, 患侧手功能出现运动障碍^[10], 主要表现为手指屈曲挛缩、肌力下降、肌张力异常和协调功能低下等^[11], 严重影响脑卒中患者的生活质量和活动能力。手指运动有赖于感觉信号的准确反馈和输出, 需要反复体验手指对抓握物品的运动感觉和抓握力的大小, 实现手指运动控制和协调性^[5]。由于脑卒中后偏瘫患者患侧手指肌力低下和肌张力异常等问题, 常无法正确完成手指动作, 需由手功能康复治疗师协助患者的患侧手指完成动作, 可能导致患侧手指不能完整感知动作的感觉运动信息, 影响手指肌肉群的激活和指间协调性^[12]。如何获取正确的感觉运动信息, 探索有效和针对性的康复治疗

手段进而提高脑卒中患者手指运动功能是目前神经康复领域的研究热点和难点。

力反馈感知康复训练通过内置传感器可为患者提供更为及时、精确和有效的感觉运动信息反馈, 强化正确的运动模式。本研究结果显示: 力反馈感知康复训练能够明显改善脑卒中偏瘫患者手指运动功能, 且在改善手指关节活动度和握力等方面疗效优于常规手功能康复训练。

本研究结果显示: 治疗6周后, 与对照组比较, 试验组患者治疗前后ARAT总评分和FMA-UL手运动部分评分差值明显升高, 表明力反馈感知康复训练效果优于常规手功能训练。有研究^[13]表明: 感觉和运动信息同步化有助于形成正确的感觉-运动环路, 促进神经系统功能重塑。力反馈感知康复训练根据执行运动任务时患手实际用力大小即刻输出相应辅助力, 并将感觉及运动信息反馈到患者手指, 促使患者的主观运动意识与客观感觉信息相互融合, 构建完整的感觉-运动传导通路, 以保证任务顺利完成。治疗师辅助下的常规手功能训练中, 患者常依赖于被动训练, 使其主动参与度降低, 且不能获取完整的感觉信息和即时有效的反馈, 可能是影响手功能康复训练效果的主要原因。本研究通过ARAT量表对脑卒中患者治疗前后手指的抓、握、捏和粗大运动能力进行了比较, 结果显示: 与对照组比较, 试验组患者治疗前后ARAT各项评分差值差异无统计学意义。赵江莉等^[14]认为: ARAT量表主要衡量手指完成动作任务的能力和速度。本研究采用ARAT量表

表7 治疗前后2组患者BI评分

Tab. 7 BI scores of patients in two groups before and after treatment [n=40, M(P25, P75)]

Group	BI		
	Before treatment	After treatment	Difference value
Control	17.50(10.00, 30.00)	25.00(20.00, 35.00)*	5.00(0.00, 10.00)
Experimental	20.00(11.25, 30.00)	30.00(20.00, 35.00)*	5.00(5.00, 13.75)

* $P < 0.05$ vs before treatment in same group.

观察力反馈感知康复训练对脑卒中后手指运动功能障碍患者手指完成各种动作的疗效, 结果显示: 力反馈感知康复训练组患者的疗效等同于常规手功能训练组, 但在抓和捏功能恢复方面略优于常规手功能训练组; 2组患者治疗前后 ARAT 各项评分差值比较差异无统计学意义, 可能由于6周康复训练时间较短, 尚未体现出康复训练的强度-时间效应。

SEO等^[15]认为: 手指抓握动作时适当的感觉刺激可激活大脑的感觉运动皮质活动, 促进手指肌力恢复。本研究结果显示: 治疗6周后2组患者的握力均有明显提高, 且试验组患者的握力改善程度优于对照组, 表明虽然2种训练方法均可有效提高患者手指握力, 但力反馈感知康复训练的疗效更佳, 力反馈感知训练通过内置传感器捕捉患肢运动过程中的感觉运动信息, 即时调整系统输出助力, 将正确的感觉运动信息传递给患侧手指, 反复强化正确的运动模式, 有利于兴奋大脑初级运动皮层神经元, 帮助手指屈伸肌腱募集更多的运动单位, 改善患者神经肌肉功能。NILSSON等^[16]的研究结果与本研究结果一致, 证实了该结论。

脑卒中患者手部抓握力常伴随着手指屈肌肌群肌张力增高。本研究中握力和MAS分级结果表明: 试验组患者握力明显增加, 而肌张力无明显变化, 提示力反馈感知康复训练并未对肌张力产生不良影响。NAM等^[17]采用基于神经肌肉电刺激的康复机械手辅助慢性脑卒中患者完成手功能训练发现: 患者MAS分级明显降低, 并维持到治疗后3个月, 表明神经肌肉电刺激产生了额外的降低肌张力的治疗效应。本研究中采用SEM™力反馈感知手部康复机器人辅助脑卒中患者患侧手指进行反复的抓握运动未引起手指屈肌肌张力的增高, 表明力反馈感知康复训练是一种有效的手功能康复治疗方法。

充分的手指关节活动是影响手部能否顺利抓握物品的关键因素, 研究^[18-19]显示: 手指集中练习和技能训练能够改善脑卒中偏瘫患者手指关节活动度, 并促进大脑多个区域的灰质体积增加, 加强神经突触间的联系, 促进运动诱导的神经可塑化进程。本研究结果表明: 治疗6周后, 2组患者TAM较治疗前均有明显增加, 提示2种治疗方法均有效; 试验组患者TAM结果优于对照组, 说明力反馈感知康复训练在提高手指关节活动度方面效果更好, 也验证了本研究中FMA-UL手运动部分评分和ARAT评分的结果。

脑卒中后手功能障碍严重影响患者日常生活活动能力, 生活质量明显降低^[20]。OSUAGWU等^[21]研究发现: 力反馈感知康复训练手套可有效提高脊髓损伤患者日常生活活动能力。本研究结果显示: 治疗6周后, 2组患者BI评分较治疗前均明显提高, 但组间比较差异无统计学意义, 可能与研究对象的选择、样本量大小、治疗强度和治理时间等有关; 同时也不能排除BI量表存在的一些缺陷, 如BI量表倾向于患者是否能够完成日常生活活动, 但对于患手的参与程度未做详细要求, 评分等级不够细化, 无法在结果中充分体现2组患者日常生活活动能力的差异。

综上所述, 力反馈感知康复训练有助于改善脑卒中患者手运动功能障碍, 且疗效优于常规手功能训练, 可能与感觉运动信息的精准传输和同步反馈增强进而诱导手功能相关皮质投射区反复激活有关, 其具体机制尚需神经影像学研究证据的支持。

利益冲突声明:

所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献声明:

连雅雯参与研究设计、数据收集和论文撰写, 李莹华参与数据收集和整理, 徐国兴参与患者康复评估, 解希曦参与数据整理和统计学分析, 李贞兰参与研究设计指导和论文审校。

[参考文献]

- [1] ZHAO Y F, ZHANG X J, CHEN X Y, et al. Neuronal injuries in cerebral infarction and ischemic stroke: from mechanisms to treatment (Review)[J]. *Int J Mol Med*, 2022, 49(2): 15.
- [2] 王陇德, 吉训明, 康德智, 等. 《中国卒中中心报告2020》概要[J]. *中国脑血管病杂志*, 2021, 18(11): 737-743.
- [3] MICERA S, CALEO M, CHISARI C, et al. Advanced neurotechnologies for the restoration of motor function[J]. *Neuron*, 2020, 105(4): 604-620.
- [4] REZAEI Z, KAURA S, SOLANKI D, et al. Deep cerebellar transcranial direct current stimulation of the dentate nucleus to facilitate standing balance in chronic stroke survivors-a pilot study [J]. *Brain Sci*, 2020, 10(2): 94.
- [5] CIENFUEGOS M, KIM T, SCHACK T. Variations of sensorimotor representation (structure): the functional interplay between object features and goal-directed grasping actions[J]. *Brain Sci*, 2022, 12(7): 873.

- [6] HASHIDA R, MATSUSE H, BEKKI M, et al. Evaluation of motor-assisted gloves (SEM glove) for patients with functional finger disorders: a clinical pilot study[J]. *Kurume Med J*, 2019, 65(2): 63-70.
- [7] VAHDAT S, DARAINY M, THIEL A, et al. A single session of robot-controlled proprioceptive training modulates functional connectivity of sensory motor networks and improves reaching accuracy in chronic stroke [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2019, 33(1): 70-81.
- [8] 彭 斌, 吴 波. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018[J]. *中华神经科杂志*, 2018, 51(9): 666-682.
- [9] 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国脑出血诊治指南(2019)[J]. *中华神经科杂志*, 2019, 52(12): 994-1005.
- [10] WU J Y, CHENG H, ZHANG J Q, et al. Robot-assisted therapy for upper extremity motor impairment after stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. *Phys Ther*, 2021, 101(4): pzab010.
- [11] LIU F W, CHEN C C, HONG W J, et al. Selectively disrupted sensorimotor circuits in chronic stroke with hand dysfunction[J]. *CNS Neurosci Ther*, 2022, 28(5): 677-689.
- [12] CHEN X W, LIU F Q, YAN Z H, et al. Therapeutic effects of sensory input training on motor function rehabilitation after stroke[J]. *Medicine*, 2018, 97(48): e13387.
- [13] 毕文倩, 张锴文, 刘 金, 等. 智能机器人康复手套对脑卒中偏瘫患者手功能的疗效[J]. *中国康复*, 2023, 38(3): 131-135.
- [14] 赵江莉, 毛玉璐, 徐智勤, 等. 中文版上肢动作研究量表在早期脑梗死患者中的效度[J]. *中国康复理论与实践*, 2019, 25(8): 946-955.
- [15] SEO N J, LAKSHMINARAYANAN K, LAUER A W, et al. Use of imperceptible wrist vibration to modulate sensorimotor cortical activity[J]. *Exp Brain Res*, 2019, 237(3): 805-816.
- [16] NILSSON M, INGVAST J, WIKANDER J, et al. The Soft Extra Muscle system for improving the grasping capability in neurological rehabilitation[A]. In: IEEE. 2012 IEEE-EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences [C]. Malaysia: Langkawi, 2012: 412-417.
- [17] NAM C, RONG W, LI W M, et al. The effects of upper-limb training assisted with an electromyography-driven neuromuscular electrical stimulation robotic hand on chronic stroke[J]. *Front Neurol*, 2017, 8: 679.
- [18] KELLER J, ŠTĚTKÁŘOVÁ I, MACRI V, et al. Virtual reality-based treatment for regaining upper extremity function induces cortex grey matter changes in persons with acquired brain injury [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2020, 17(1): 127.
- [19] GOU X X, ZHANG X, ZHENG X X, et al. Effect of hand intensive training on upper limb function of stroke patients with hemiplegia [J]. *Comput Math Methods Med*, 2022, 2022: 6844680.
- [20] KIM D H, LEE K D, BULEA T C, et al. Increasing motor cortex activation during grasping via novel robotic mirror hand therapy: a pilot fNIRS study[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2022, 19(1): 8.
- [21] OSUAGWU B A C, TIMMS S, PEACHMENT R, et al. Home-based rehabilitation using a soft robotic hand glove device leads to improvement in hand function in people with chronic spinal cord injury : a pilot study [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2020, 17(1): 40.