

• 论 著 • DOI:10.3969/j.issn.1672-9455.2024.23.024

# 深层电动肌肉振动仪联合手指康复训练机器人在脑卒中合并手运动功能障碍患者康复治疗中的应用效果\*

张晓颖, 欧阳胜璋, 郝淑燕<sup>△</sup>

首都医科大学附属北京康复医院康复诊疗中心, 北京 100144

**摘要:**目的 探讨深层电动肌肉振动仪联合手指康复训练机器人在脑卒中合并手运动功能障碍患者康复治疗中的效果。方法 回顾性选取 2022 年 2 月至 2023 年 2 月于首都医科大学附属北京康复医院就诊的脑卒中合并手功能障碍患者 106 例作为研究对象,按照康复训练方式的不同将患者分为对照组(采用手指康复训练机器人进行干预)50 例和观察组(采用深层电动肌肉振动仪联合手指康复训练机器人进行干预)56 例。干预 8 周后对比两组临床疗效、手运动功能、手指总活动情况、脑电图[脑电波  $\delta/\alpha$  值(DAR)、脑对称指数(BSI)]和血清学指标[神经肽(NPY)和基质金属蛋白酶-9(MMP-9)]、神经功能缺损情况[美国国立卫生研究院的卒中量表(NIHSS)评分]和日常生活活动能力[日常生活能力评定量表(ADL)评分]。结果 观察组临床总有效率明显高于对照组(80.36% vs. 60.00%),差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。干预 8 周后,观察组最大握力[(43.17 ± 5.96)N]和最大捏力[(12.03 ± 3.43)N]、手屈曲伸肌肌电值[(25.11 ± 3.66)  $\mu$ V]、手屈曲屈指浅肌肌电值[(14.56 ± 3.27)  $\mu$ V]及手背伸屈指浅肌肌电值[(9.02 ± 1.77)  $\mu$ V]和手背伸伸指肌肌电值[(20.13 ± 3.25)  $\mu$ V]高于对照组[(38.99 ± 5.56)N、(9.87 ± 3.55)N、(21.99 ± 3.83)  $\mu$ V、(12.69 ± 2.32)  $\mu$ V、(7.89 ± 1.55)  $\mu$ V、(17.85 ± 3.21)  $\mu$ V],差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。观察组手指活动优良率为 85.71%,明显高于对照组的 66.00%,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。干预 8 周后,观察组的 DAR(2.73 ± 0.75)、BSI(0.25 ± 0.08)及血清 NPY[(110.63 ± 5.33)  $\mu$ g/L]和 MMP-9[(80.23 ± 4.55)  $\mu$ g/L]水平低于对照组[3.11 ± 0.88、0.33 ± 0.05、(120.55 ± 6.61)  $\mu$ g/L、(83.53 ± 5.39)  $\mu$ g/L],差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。干预 8 周后,观察组 NIHSS 评分[(8.89 ± 2.28)分]低于对照组[(10.02 ± 2.33)分],ADL 评分[(44.25 ± 3.41)分]高于对照组[(40.88 ± 4.66)分],差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。结论 深层电动肌肉振动仪联合手指康复训练机器人对脑卒中合并手运动功能障碍患者效果明显,能够提高手运动功能,改善神经因子水平,有助于促进神经功能缺损恢复和提高日常生活能力。

**关键词:**脑卒中;手运动功能障碍;深层电动肌肉振动仪;手指康复训练机器人;康复治疗

中图分类号:R743.3;R493

文献标志码:A

文章编号:1672-9455(2024)23-3551-06

## Application effect of deep electric muscle vibration instrument combined with finger rehabilitation training robot in rehabilitation treatment of stroke patients with hand movement dysfunction\*

ZHANG Xiaoying, OUYANG Shengzhang, QIE Shuyan<sup>△</sup>

Rehabilitation Treatment Center, Beijing Rehabilitation Hospital Affiliated to Capital Medical University, Beijing 100144, China

**Abstract: Objective** To investigate the application effect of deep electric muscle vibration instrument combined with finger rehabilitation training robot in rehabilitation treatment of stroke patients with hand movement dysfunction. **Methods** A retrospective study was conducted on 106 stroke patients, who visited Beijing Rehabilitation Hospital Affiliated to Capital Medical University from February 2022 to February 2023. According to different rehabilitation training methods, they were divided into 50 cases of control group (intervened by finger rehabilitation training robot) and 56 cases of observation group (intervened by deep electric muscle vibrator + finger rehabilitation training machine). After 8 weeks of intervention, hand motor function, total finger activity, clinical efficacy, electroencephalography [brain wave  $\delta/\alpha$  value (DAR), brain symmetry index (BSI)] and serological indicators [natriuretic peptide (NPY) and matrix metalloproteinase-9 (MMP-

\* 基金项目:北京市科技计划项目(Z221100007422113)。

作者简介:张晓颖,女,主管治疗师,主要从事临床神经康复方面的工作。 <sup>△</sup> 通信作者, E-mail: rnjd20230523@163.com。

网络首发 [http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1167.r.20241107.1628.002.html\(2024-11-08\)](http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1167.r.20241107.1628.002.html(2024-11-08))

9)], neurological impairment [National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS)] and daily living activities [Activities of Daily Living Assessment (ADL)] were compared between the two groups. **Results** The total clinical efficacy rate of the observation group was significantly higher than that of the control group (80.36% vs. 60.00%), and the difference was statistically significant ( $P < 0.05$ ). After 8 weeks of intervention, the maximum grip strength [(43.17 ± 5.96) N] and maximum pinch strength [(12.03 ± 3.43) N], electromyographic value of hand flexor-extensor muscle [(25.11 ± 3.66)  $\mu$ V], electromyographic value of hand flexor-flexor-superflexor muscle [(14.56 ± 3.27)  $\mu$ V], electromyographic value of dorsal flexor-flexor-superflexor muscle [(9.02 ± 1.77)  $\mu$ V] and electromyographic value of hand back extensor fingers [(20.13 ± 3.25)  $\mu$ V] were higher than those of the control group [(38.99 ± 5.56) N, (9.87 ± 3.55) N, (21.99 ± 3.83)  $\mu$ V, (12.69 ± 2.32)  $\mu$ V, (7.89 ± 1.55)  $\mu$ V, (17.85 ± 3.21)  $\mu$ V], and the differences were statistically significant ( $P < 0.05$ ). The excellent rate of finger activity in the observation group was 85.71%, which was significantly higher than 66.00% in the control group, and the difference was statistically significant ( $P < 0.05$ ). After 8 weeks of intervention, the DAR (2.73 ± 0.75), BSI (0.25 ± 0.08) and serum NPY [(110.63 ± 5.33)  $\mu$ g/L] and MMP-9 [(80.23 ± 4.55)  $\mu$ g/L] levels in the observation group were lower than those in the control group [3.11 ± 0.88, 0.33 ± 0.05, (120.55 ± 6.61)  $\mu$ g/L, (83.53 ± 5.39)  $\mu$ g/L], and the differences were statistically significant ( $P < 0.05$ ). After 8 weeks of intervention, the NIHSS score [(8.89 ± 2.28) points] in the observation group was lower than that of the control group [(10.02 ± 2.33) points], and the ADL score [(44.25 ± 3.41) points] was higher than that of the control group [(40.88 ± 4.66) points], and the differences were all statistically significant ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** The combination of deep electric muscle vibration instrument and finger rehabilitation training robot has a significant effect on stroke patients with hand movement dysfunction, which can improve hand motor function and neurofactors levels, and help to promote the recovery of neurological deficits and daily living abilities.

**Key words:** stroke; hand movement dysfunction; deep electric muscle vibration instrument; finger rehabilitation training robot; rehabilitation therapy

脑卒中是临床常见脑血管疾病,具有较高的发病率、致残率及病死率,其主要表现为不明原因晕倒、单侧口角歪斜、突发手脚或者脸部麻木、言语不清等一系列感觉和运动及语言等功能障碍症状<sup>[1-3]</sup>。据相关文献报道,脑卒中发病初期有不同程度的上肢功能障碍,其中手运动功能障碍占 90%,不但严重影响其日常活动,而且手运动功能障碍是治疗的重点和难点<sup>[4-6]</sup>。现在临床主要采取作业疗法和运动功能训练降低脑卒中患者的病死率。既往研究表明传统的康复治疗训练方式单一且内容枯燥乏味,与治疗师的经验和技能有着密切联系,起效慢且存在局限性,治疗效果不明显<sup>[7-10]</sup>。近年来国内外多项研究证实,在脑卒中合并肢体运动功能障碍患者中应用康复机器人对其实施长期性和标准化的肢体功能训练后可获得满意的疗效<sup>[11-13]</sup>。同时深层电动肌肉振动仪也在脑卒中患者的康复治疗中得到广泛推广和应用,但其是否能够促进脑卒中康复仍存在争议。鉴于此,本研究旨在探讨手指康复训练机器人联合深层电动肌肉振动仪对脑卒中合并手运动功能障碍患者的影响,以期为临床治疗提供参考依据。现报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 回顾性选取 2022 年 2 月至 2023 年 2 月于首都医科大学附属北京康复医院就诊的脑卒中合并手运动功能障碍患者 106 例为研究对象,纳入标

准:(1)临床资料完整;(2)均符合脑卒中偏瘫的诊断标准<sup>[14]</sup>;(3)年龄 30~75 岁,存在上肢功能障碍,经影像学检查确诊;(4)生命体征稳定、意识清楚。排除标准:(1)有恶性肿瘤疾病或重要脏器功能不全者;(2)有精神意识障碍者或自身免疫性疾病者;(3)无法配合训练者。按照康复训练方式的不同将患者分为对照组(采用手指康复训练机器人进行治疗)50 例和观察组(采用深层电动肌肉振动仪联合手指康复训练机器人进行治疗)56 例。对照组中男 28 例,女 22 例;年龄 32~70 岁,平均(62.27 ± 2.15)岁;病程 3~8 个月,平均(5.16 ± 0.33)个月;脑梗死 30 例;脑出血 20 例;偏瘫位置:左侧 21 例,右侧 29 例。观察组中男 33 例,女 23 例;年龄 35~75 岁,平均(64.22 ± 2.21)岁;病程 4~8 个月,平均病程(5.46 ± 0.23)个月;脑梗死 36 例;脑出血 20 例;偏瘫位置:左侧 35 例,右侧 21 例。两组性别、年龄、病程、疾病类型、偏瘫位置比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),具有可比性。本研究经首都医科大学附属北京康复医院医学伦理委员会审核通过(2022bkky-048)。所有患者家属均知情同意。

**1.2 方法** 所有患者入院后均进行 CT 扫描观察脑部症状和检测血压、血糖、血脂和肝肾功能。并予以神经营养药物、溶栓、调节血脂、抗血小板、控制血糖和扩血管等基础治疗。

**1.2.1 对照组** 采用手指康复训练机器人进行干预。结合患者实际情况制订训练内容和训练难度并选择合适的治疗模式和训练频率,配合专业的康复治疗师应用手指康复训练机器人(奥地利 Tyromotion CN 公司,型号:Amadeo)进行训练,主要内容:(1)将患者患侧手臂前臂旋前固定于支撑架上,再将每根手指利用磁力片固定,根据患者手部的不同功能水平,逐步设置手指的被动、助动、抗阻和视频互动游戏等训练模式;(2)早期利用被动和助动模式,同时配合视觉反馈,训练患者手指粗大屈曲伸展功能;(3)随着患者主动运动不断提高,可增加手指的活动范围和不同阻力,以及选择趣味性强的视频互动游戏训练,按照从粗大运动训练过渡到单个手指的分离运动,从被动到主动到抗阻运动模式,循序渐进地从低到高逐步提升训练难度;(4)训练前需向患者说明相关注意事项,训练中若患者有异常情况立即暂停;(5)每次训练需针对性地选择 3 个训练项目,每个项目训练 15 min,每周训练 4 次,训练周期为 8 周。

**1.2.2 观察组** 在对照组基础上增加深层电动肌肉振动仪进行干预。主要包括:(1)治疗师明确患者受累肌肉部位和范围,确定选用深层电动肌肉振动仪(美国 Deep Muscle stimulator 公司,型号:1B)的强度,振动仪大小 25.40 cm×5.08 cm×13.97 cm,频率为 60 Hz;(2)患者取仰卧位,治疗师位于患者患侧启动仪器,将电动深层肌肉振动仪放置相关肌肉的起点处,缓慢移动向肌肉止点处;(3)刺激上臂肌肉时若肌张力增高,在其牵伸状态振动,张力高的肌群可刺激 1 min;(4)注意尽量不刺激骨骼,轻度刺激肌肉薄弱处;(5)每次训练 30 min,每周训练 4 次,训练周期为 8 周。

**1.3 观察指标**

**1.3.1 对比两组临床疗效** 根据临床疗效判定标准<sup>[15-16]</sup>判定治疗效果,显效:手指可自由弯曲且上肢活动自由,日常活动可自理;有效:手指可轻微弯曲,上肢张力和痉挛明显变化,但不能日常活动且需继续治疗;无效:患者无任何变化且其日常生活需借助外力。总有效=显效+有效。

**1.3.2 对比两组干预前后手运动功能** 利用握力和捏力测评设备(奥地利 Tyromotion CN 公司,型号:pablo)测定患者手最大握力和最大捏力;采用无线表面肌电图机(美国 NoraxonTelemetry DTS wireless 公司,型号:TeleMyo 2400T)测定患者手屈曲伸肌和手屈曲屈指浅肌、手背伸屈指浅肌和手背伸伸指肌的肌电值。

**1.3.3 对比两组手指活动情况** 采用手指总活动度(TAM)<sup>[17-20]</sup>评估患者手指情况,屈伸活动正常且功能恢复至健侧的≥90%,TAM≥220°为优;功能恢复至健侧的 75%~<90%,TAM 在 200~<220°为良;功能恢复至健侧的 50%~<75%,TAM 在 180~<

200°为可;功能恢复至健侧的<50%,TAM<180°为差。优良率=(优例数+良例数)/总例数×100%。

**1.3.4 对比两组干预前后脑电图和血清学指标** 利用神经中央监护分析系统(北京太阳电子科技有限公司,京械注准 20172070545)记录患者的脑电波 δ/α 值(DAR)、脑对称指数(BSI);抽取患者外周静脉血 3 mL,以 3 000 r/min 离心 15 min 后取上清液,采用全自动生化分析仪(深圳新产业生物医学工程股份有限公司,粤械注准 20222221657)测定神经肽(NPY)和基质金属蛋白酶-9(MMP-9)水平。

**1.3.5 对比两组干预前后神经功能缺损情况和日常生活活动能力** 参考美国国立卫生研究院的卒中量表(NIHSS)<sup>[21]</sup>和日常生活能力评定量表(ADL)<sup>[22]</sup>评估患者的神经缺损情况和日常生活能力。

**1.3.6 对比两组不良反应发生情况** 对比两组治疗期间肠道不适、皮疹等不良反应的发生情况。

**1.4 统计学处理** 采用 SPSS 23.0 统计软件进行数据分析。符合正态分布的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,两组间比较采用独立样本 *t* 检验,组内比较采用配对 *t* 检验;计数资料以例数或百分率表示,两组间比较采用  $\chi^2$  检验。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 对比两组临床疗效** 观察组总有效率为 80.36%,明显高于对照组的 60.00%,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。见表 1。

表 1 两组临床疗效比较[n(%)]

组别	<i>n</i>	显效	有效	无效	总有效
观察组	56	20(35.71)	25(44.64)	11(19.64)	45(80.36)
对照组	50	13(26.00)	17(34.00)	20(40.00)	30(60.00)
$\chi^2$					5.290
<i>P</i>					0.021

**2.2 对比两组干预前后手运动功能情况** 干预前,两组最大握力、最大捏力、手屈曲伸肌、手屈曲屈指浅肌、手背伸屈指浅肌和手背伸伸指肌的肌电值比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ );干预 8 周后两组最大握力、最大捏力及手屈曲伸肌、手屈曲屈指浅肌、手背伸屈指浅肌和手背伸伸指肌的肌电值高于干预前,且观察组高于对照组,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。见表 2。

**2.3 对比两组手指活动情况** 观察组手指活动优良率为 85.71%,明显高于对照组的 66.00%,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。见表 3。

**2.4 对比两组脑电图和血清学指标水平** 干预前,两组 DAR、BSI 及血清 MMP-9 水平比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ );干预 8 周后,两组 DAR、BSI 及血清 NPY、MMP-9 水平均低于治疗前,且观察低于对照组,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。见表 4。

表 2 对比两组干预前后手运动功能情况( $\bar{x} \pm s$ )

组别	n	最大握力(N)		最大握力(N)		手屈曲伸肌肌电值( $\mu V$ )	
		干预前	干预 8 周后	干预前	干预 8 周后	干预前	干预 8 周后
观察组	56	32.52±2.14	43.17±5.96*	7.88±1.45	12.03±3.43*	15.62±2.24	25.11±3.66*
对照组	50	32.66±2.18	38.99±5.56*	7.91±1.55	9.87±3.55*	15.71±2.32	21.99±3.83*
t		-0.303	3.392	-0.093	2.901	-0.185	3.906
P		0.762	0.001	0.925	0.004	0.853	<0.001

  

组别	n	手屈曲屈指浅肌肌电值( $\mu V$ )		手背伸屈指浅肌肌电值( $\mu V$ )		手背伸伸肌肌电值( $\mu V$ )	
		干预前	干预 8 周后	干预前	干预 8 周后	干预前	干预 8 周后
观察组	56	10.11±1.16	14.56±3.27*	5.56±1.22	9.02±1.77*	13.28±1.54	20.13±3.25*
对照组	50	10.25±1.23	12.69±2.32*	5.65±1.24	7.89±1.55*	13.44±1.55	17.85±3.21*
t		-0.549	3.067	-0.342	3.172	-0.485	3.306
P		0.584	0.002	0.732	0.002	0.628	0.001

注:与同组干预前比较,\* $P < 0.05$ 。

**2.5 对比两组干预前后 NIHSS 及 ADL 评分** 干预前,两组 NIHSS 及 ADL 评分比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ );干预 8 周后,两组 NIHSS 低于治疗前,而 ADL 评分高于治疗前,且观察组 NIHSS 评分低于对照组,ADL 评分高于对照组,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。见表 5。

**2.6 对比两组不良反应发生情况** 在治疗期间,两组均无严重不良反应。对照组中有 3 例胃肠道不适和 1 例皮疹,不良反应发生率为 8.00%;观察组有 1

例胃肠道不适,不良反应发生率为 1.79%;两组不良反应发生率比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。两组患者症状均自行缓解。

表 3 对比两组手指活动情况[n(%)]

组别	n	优	良	可	差	优良
观察组	56	20(35.71)	28(50.00)	5(8.92)	3(5.35)	48(85.71)
对照组	50	15(30.00)	18(36.00)	10(20.00)	7(14.00)	33(66.00)
$\chi^2$						5.696
P						0.016

表 4 对比两组脑电图和血清学指标水平( $\bar{x} \pm s$ )

组别	n	DAR		BSI		NPY( $\mu g/L$ )		MMP-9( $\mu g/L$ )	
		干预前	干预 8 周后	干预前	干预 8 周后	干预前	干预 8 周后	干预前	干预 8 周后
观察组	56	4.13±1.21	2.73±0.75*	0.56±0.23	0.25±0.08*	210.11±2.26	110.63±5.33*	101.25±4.33	80.23±4.55*
对照组	50	4.11±1.19	3.11±0.88*	0.51±0.21	0.33±0.05*	211.13±0.23	120.55±6.61*	102.11±4.36	83.53±5.39*
t		0.078	-2.185	1.061	-5.562	-2.078	-7.779	-0.927	-3.112
P		0.938	0.031	0.291	<0.001	0.004	<0.001	0.356	0.002

注:与同组干预前比较,\* $P < 0.05$ 。

表 5 对比两组干预前后 NIHSS 及 ADL 评分( $\bar{x} \pm s$ ,分)

组别	n	NIHSS 评分		ADL 评分	
		干预前	干预 8 周后	干预前	干预 8 周后
观察组	56	15.65±2.54	8.89±2.28*	35.63±5.26	44.25±3.41*
对照组	50	15.77±2.66	10.02±2.33*	35.52±5.33	40.88±4.66*
t		-0.216	-2.298	0.097	3.894
P		0.829	0.024	0.922	<0.001

注:与同组干预前比较,\* $P < 0.05$ 。

### 3 讨论

脑卒中合并手运动功能障碍患者的康复治疗一直是研究的重点之一。根据相关统计脑卒中发病 3 个月后会严重的手运动功能障碍,发病 4 年左右有 67% 患者患侧手无法进行日常生活活动,若手功能完全丧失则导致整体功能降低 27%<sup>[23-26]</sup>。有研究认为手功能恢复最有效的方法是在脑卒中后尽快、尽早

地进行康复训练<sup>[27]</sup>。常规的康复训练因训练动作需在康复治疗师指导下完成训练,训练周期长,患者易出现训练疲乏,导致训练效果欠佳。

手功能的神经生理机制复杂且较特殊,主要负责多种精细动作,恢复较慢且难度大。随着脑卒中患者康复期望值的提升,康复训练模式 and 治疗方法也在不断地探索,针对手部功能障碍的康复仪器也逐步应用于康复领域<sup>[28]</sup>。手指康复训练机器人不仅能够简化治疗师与患者的手把手治疗,还可以在视觉和听觉实时反馈下促使患者被动地展开单个或多个指间关节训练,在增强训练效果的同时提高患者积极参与感,有利于降低脑卒中患者的残疾率<sup>[29-30]</sup>。另外有研究利用深层电动肌肉振动仪机械振动或者击打脑卒中患者深部肌肉组织,可以明显改善患者肌肉张力<sup>[31-32]</sup>。本次研究结果中观察组临床疗效、手运动功能和手指总活动情况均优于对照组,表明深层电动肌

肉振动仪联合手指康复训练机器人治疗方法是一种潜在有效的康复手段,可以帮助患者恢复手部功能,提高生活质量。其原因在于深层电动肌肉振动仪联合手指康复训练机器人可刺激患者神经系统,促进神经可塑性。这种可塑性使大脑能够重新组织和调整神经连接,深层电动肌肉振动仪通过电刺激肌肉,可刺激深部本体感觉,增强患者感觉的灵敏度,增强肌肉力量和协调性。手指康复机器人可提供高度精准的运动训练,并且可以反复进行,确保患者获得足够的训练量。这种综合运用不同技术的方法有助于加速康复过程,促进手部功能的恢复,帮助患者重新学习和控制手部运动功能,全面提升患者的康复效果。脑卒中患者的肢体运动功能恢复究其根本在于相关运动神经元的调控,康复训练计划也离不开中枢神经结构和功能的恢复内容<sup>[33-35]</sup>。DAR 可反映神经系统遭受损害后的生理和病理变化,DAR 的程度和持续时间可以用来评估神经损伤的严重程度和预后。BSI 是中枢神经恢复的重要指标,可帮助医生评估神经系统的功能重建情况。MMP-9 能够反映脑梗死程度和病情严重程度,对于评估患者的病情和预后具有重要意义。NPY 在中枢和外周神经系统中广泛分布,是一种神经肽。它具有收缩血管的作用,可以减少脑部血液循环量,对于神经系统的功能调节和神经保护具有重要作用。有文献报道手指康复训练机器人在保证康复训练科学和有效的基础上,提升患者的训练熟练程度,刺激肢体运动神经元和感觉传导运动至中枢并产生刺激,调节血清学指标水平<sup>[36]</sup>。本次研究针对脑卒中合并手运动功能障碍患者的特点,通过深层电动肌肉振动仪和手指康复训练机器人的联合使用,发现在患者脑电图相关指标和血清学指标水平均明显改善,主要是因为二者联合使用可促进神经再生和重建,有助于改善脑卒中患者受损的神经系统功能,使神经系统更容易适应和调整受损区域的功能,有利于神经电活动的恢复和调整,以及能够促进患者血液循环和代谢,良好的血液循环和代谢有助于改善脑部细胞的供氧供血情况。此外,基于脑功能重塑理论,深层电动肌肉振动仪是结合振动进而冲击的一种物理治疗,针对手指痉挛和麻痹等状态,实效调节次数和间隔次数深入持续的振动,从而刺激局部肌肉和肌腱的感受器,促进血液循环和淋巴流动,缓解肌肉组织过度粘连<sup>[37-38]</sup>。本次研究结果中观察组 NIHSS 评分低于对照组,ADL 评分高于对照组,表明深层电动肌肉振动仪有利于促进神经功能缺损修复,提高生活质量。主要是因为本研究将先进的科技手段与传统的康复治疗相结合,实现了科技与康复的有机结合。通过深层电动肌肉振动仪和手指康复训练机器人,患者可以接受更加系统化和精准的康复训练,在提高治疗科学性和准确性的同时,增强患者患侧运动功能,可重复性强,有利于提升日常生活活动能力。

深层电动肌肉振动仪联合手指康复训练机器人在脑卒中合并手运动功能障碍患者康复治疗中的研究创新点主要在于综合运用不同康复技术、个性化康复方案设计、科技与康复的结合等,为患者提供更加全面、有效的康复治疗方案,促进患者康复。同时本研究也存在不足之处,比如样本量较少,随访时间较短,可能会影响研究结论的可靠性和推广性,需要在未来的研究中加以改进。目前,这一领域的研究仍在不断深入,希望能够为脑卒中合并手运动功能障碍患者的康复治疗提供更多有效的方法和手段。

综上所述,深层电动肌肉振动仪联合手指康复训练机器人可改善脑卒中合并手功能障碍者的手运动功能和手指总活动度,促进神经修复和提高患者生活质量。

## 参考文献

- [1] 鲍赛荣,林利华,单莎瑞,等.电动深层肌肉刺激对脑卒中患者肱二头肌张力、弹性及硬度的影响[J].中国组织工程研究,2021,25(20):3138-3143.
- [2] MARKUS H S. Hematological disorders and stroke[J]. Int J Stroke,2023,18(4):380-382.
- [3] KONOVALOVA N G,LYAKHOVETSKAYA V V,STARARCHENKOT O V. Restoration of hand function in patients with hemiparesis using mirror therapy in combination with myofascial stretching and postisometric relaxation[J]. Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult,2022,99(3):10-15.
- [4] PARK S,KIM S H,SHIN J Y. Combined association of skeletal muscle mass and grip strength with cardiovascular diseases in patients with type 2 diabetes[J]. J Diabetes,2021,13(12):1015-1024.
- [5] FEIGIN V L, BRAININ M, NORRVING B, et al. World stroke organization (WSO): global stroke fact sheet 2022 [J]. Int J Stroke,2022,17(1):18-29.
- [6] MEDEIROS G C, Roy D, KONTONS N, et al. Post-stroke depression: a 2020 updated review[J]. Gen Hosp Psychiatry,2020,66:70-80.
- [7] ZHANG Y Q,XING Y,LI C Q, et al. Mirror therapy for unilateral neglect after stroke: a systematic review[J]. Eur J Neurol,2022,29(1):358-371.
- [8] 杨婷,陈慧柚,高政,等.经颅直流电刺激联合上肢机器人训练对脑卒中后偏瘫上肢运动功能影响的磁共振弥散张量成像研究[J].中华物理医学与康复杂志,2021,43(9):781-786.
- [9] SAKAI Y,WATANABE T,WAKAO N, et al. Proprioception and geriatric low back pain[J]. Spine Surg Relat Res,2022,6(5):422-432.
- [10] KHALIFA Y,MAHONEY A S,LUCATORTO E, et al. Non-invasive sensor-based estimation of anterior-posterior or upper esophageal sphincter opening maximal distension[J]. IEEE J Transl Eng Health Med,2023,11:182-190.

- [11] 张芳芳,周磊,朱慧珊. 运动想象联合康复机器人在卒中偏瘫上肢运动功能恢复中的应用效果观察[J]. 北京医学, 2021, 43(6): 525-529.
- [12] TAKEBAYASHI T K H, TAKAHASHI K, AMANO S, et al. Robot-assisted training as self-training for upper-limb hemiplegia in chronic stroke: a randomized controlled trial[J]. *Stroke*, 2022, 53(7): 2182-2191.
- [13] 张大冬,黄鹏鹏,李翔鹏,等. 上肢机器人训练对恢复期脑卒中患者上肢运动功能及日常生活活动能力的影响[J]. 生物医学工程与临床, 2021, 25(4): 459-464.
- [14] 陈艳,胡发云,吴波.《中国脑血管疾病分类 2015》解读[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2017, 17(12): 865-868.
- [15] BONKHOFF A K, GREFKES C. Precision medicine in stroke: towards personalized outcome predictions using artificial intelligence[J]. *Brain*, 2022, 145(2): 457-475.
- [16] UNIKEN VENEMA S M, DANKBAAR J W, VAN DER LUGT A, et al. Cerebral collateral circulation in the era of reperfusion therapies for acute ischemic stroke [J]. *Stroke*, 2022, 53(10): 3222-3234.
- [17] ZHAO L, LIU Z B, SUN Q F, et al. Effect of transcranial direct current stimulation combined with a smart hand joint training device on hand dysfunction in patients with early stroke[J]. *Folia Neuropathol*, 2022, 60(2): 177-184.
- [18] KUO H C, ZEWDIE E, GIUFFRE A, et al. Robotic mapping of motor cortex in children with perinatal stroke and hemiparesis[J]. *Hum Brain Mapp*, 2022, 43(12): 3745-3758.
- [19] REINSDORF D S, MAHAN E E, REINKENSMEYER D J. Proprioceptive gaming: making finger sensation training intense and engaging with the P-Pong game and PINKIE robot[J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2021, 2021: 6715-6720.
- [20] RENNER C I E, BRENDDEL C, HUMMELSHEIM H. Bilateral arm training vs unilateral arm training for severely affected patients with stroke: exploratory single-blinded randomized controlled trial[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2020, 101(7): 1120-1130.
- [21] SMITH M C, BARBER A P, SCRIVENER B J, et al. The TWIST Tool predicts when patients will recover independent walking after stroke: an observational study[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2022, 36(7): 461-471.
- [22] TIAN B, TIAN X, SHI Z. Clinical and imaging indicators of hemorrhagic transformation in acute ischemic stroke after endovascular thrombectomy [J]. *Stroke*, 2022, 53(5): 1674-1681.
- [23] SUN N, LI G T, CHENG L. Design and validation of a self-aligning index finger exoskeleton for post-stroke rehabilitation[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2021, 29: 1513-1523.
- [24] RUTTEN-JACOBS L C A, ROST N S. Emerging insights from the genetics of cerebral small-vessel disease [J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2020, 1471(1): 5-17.
- [25] MURAKAMI Y, HONAGA K, KONO H, et al. New artificial intelligence-integrated electromyography-driven robot hand for upper extremity rehabilitation of patients with stroke: a randomized, controlled trial [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2023, 37(5): 298-306.
- [26] MITA M, SUZUMORI K, KUDO D, et al. Utility of a wearable robot for the fingers that uses pneumatic artificial muscles for patients with post-stroke spasticity[J]. *Jpn J Compr Rehabil Sci*, 2022, 13: 12-16.
- [27] DEGAMI A, TAKI S, IMURA T, et al. Early initiation of exoskeletal robotic gait training improves functional outcomes in the patients with stroke: a retrospective observational study[J]. *Eur Neurol*, 2023, 86(2): 121-127.
- [28] VELMURUGAN V, WOOD L J, AMIRABDOLLAHI-AN F. Preliminary results from a six-week home-based evaluation of a rehabilitation device for hand and wrist therapy after stroke[J]. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*, 2023, 2023: 1-6.
- [29] KIM S, KIM J T, LEE J S, et al. Comparative effectiveness of combined antiplatelet treatments in acute minor ischaemic stroke[J]. *Stroke Vasc Neurol*, 2022, 7(1): 13-21.
- [30] AZARPAZHOOH M R, BOGIATZI C, SPENCE J D. Stroke prevention: little-known and neglected aspects[J]. *Cerebrovasc Dis*, 2021, 50(6): 622-635.
- [31] MADSEN T E, SAMAEI M, PIKULA A, et al. Sex differences in physical activity and incident stroke: a systematic review[J]. *Clin Ther*, 2022, 44(4): 586-611.
- [32] CHERIAN L. Women and ischemic stroke: disparities and outcomes[J]. *Neurol Clin*, 2023, 41(2): 265-281.
- [33] M' BAREK L, SAKKA S, MEGDICHE F, et al. Traditional risk factors and combined genetic markers of recurrent ischemic stroke in adults[J]. *J Thromb Haemost*, 2021, 19(10): 2596-2604.
- [34] SALAZAR A P, CIMOLIN V, SCHIFINO G P, et al. Bicephalic transcranial direct current stimulation combined with functional electrical stimulation for upper-limb stroke rehabilitation: a double-blind randomized controlled trial[J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2020, 63(1): 4-11.
- [35] HENSEL L, TSCHERPEL C, FREYTAG J, et al. Connectivity-related roles of contralesional brain regions for motor performance early after stroke[J]. *Cereb Cortex*, 2021, 31(2): 993-1007.
- [36] JOY M T, CARMICHAEL S T. Encouraging an excitable brain state: mechanisms of brain repair in stroke[J]. *Nat Rev Neurosci*, 2021, 22(1): 38-53.
- [37] 董观记,马慧,李昌欣,等. 虚拟现实技术及强制性运动疗法对脑卒中偏瘫患者康复效果的影响[J]. 检验医学与临床, 2024, 21(9): 1321-1325.
- [38] YANG F J, CHEN L W, WANG H P, et al. Combined contralateral C7 to C7 and L5 to S1 cross nerve transfer for treating limb hemiplegia after stroke[J]. *Br J Neurosurg*, 2024, 38(2): 510-513.