·临床研究·

末端释放训练结合功能性电刺激对脑卒中康复期老年患者步行能力及功能独立性的影响

王亚梅,谢艾伶,唐月月,赵莉,赵磊*
(遂宁市中心医院脑血管疾病科,四川 遂宁 629000)

【摘 要】 **目的** 探讨末端释放训练(DRT)结合功能性电刺激(FES)对脑卒中康复期老年患者步行能力及功能独立性的影响。**方法** 选取2021年2月至2024年2月在遂宁市中心医院进行康复治疗的150例老年脑卒中康复期患者进行前瞻性研究,应用随机数表法分为观察组和对照组,每组患者各75例。对照组采用功能电刺激治疗,观察组结合DRT及FES治疗。采用Fugl-Meyer运动功能(FMA)量表评估运动功能,采用三维步态分析仪(gaitwatch)分析步行功能,采用功能独立性量表(FIM)评估患者功能独立性,采用Berg平衡量表(BBS)评估患者平衡能力,采用表面肌获取与分析系统(JE-TB0820)及表面肌电测试系统(Trigno Avanti)检测表面肌电图,应用丹麦MafPro R30型磁刺激器,记录大脑皮质运动阈值(CMT)、运动诱发电位振幅(Amp)、皮质潜伏期(CL)、中枢运动传导时间(CMCT)。采用SPSS 23.0软件进行数据分析。根据数据类型,组间比较分别采用t检验及χ^2检验。**结果** 治疗后,两组患者上肢FMA评分、下肢FMA评分、BBS评分、FIM评分均较治疗前升高;且观察组以上评分显著高于对照组($P<0.05$)。与治疗前相比,治疗后,两组患者步态周期、步长偏差、左右摆动相偏差均较治疗前降低,患侧髋关节屈伸度、患侧膝关节屈伸度较治疗前升高;且观察组治疗后的效果较对照组更明显($P<0.05$);治疗后,两组患者CMT、CL、CMCT均较治疗前降低,Amp较治疗前升高;且观察组治疗后CMT、CL、CMCT均较对照组更低,Amp较对照组更高($P<0.05$)。**结论** DRT结合FES治疗对脑卒中康复期老年患者具有显著的疗效,可显著改善患者的运动功能、步行能力、平衡能力和功能独立性,为脑卒中老年患者的康复提供了新的有效手段。

【关键词】 老年人;末端释放训练;功能性电刺激;脑卒中;康复期;步行能力;功能独立性
【中图分类号】 R743.3;R592 【文献标志码】 A 【DOI】 10.11915/j.issn.1671-5403.2025.10.159

Effects of terminal release training combined with functional electrical stimulation on walking ability and functional independence in elderly patients in stroke rehabilitation

Wang Yamei, Xie Ailing, Tang Yueyue, Zhao Li, Zhao Lei*
(Department of Cerebrovascular Diseases, Suining Central Hospital, Suining 629000, Sichuan Province, China)

【**Abstract**】 **Objective** To explore the effects of terminal release training (DRT) combined with functional electrical stimulation (FES) on walking ability and functional independence in elderly patients with stroke during rehabilitation. **Methods** A prospective study was conducted on 150 elderly stroke patients undergoing rehabilitation treatment in our hospital from February 2021 to February 2024. They were randomly divided into an observation group and a control group, with 75 patients in each group. The control group was treated with FES, and the observation group was treated with DRT and FES. Fugl-Meyer assessment (FMA) scale was used to evaluate the motor function, and a three-dimensional gait analyzer was employed to analyze the walking function. Functional independence scale (FIM) was utilized to evaluate the functional independence of patients, and Berg balance scale (BBS) was applied to evaluate the balance ability of patients. Surface muscle acquisition and analysis system and surface electromyography test system were used to detect the surface electromyography. MafPro R30 magnetic stimulator was used to record cortical motor threshold (CMT), motor evoked potential (MEP) amplitude (Amp), cortical latency (CL) and central motor conduction time (CMCT). SPSS statistics 23.0 was used for data analysis. Depending on data type, t test or *Chi*-square test was used for comparison between groups. **Results** After treatment, the scores of FMA-upper extremity, FMA-lower extremity, BBS and FIM in both groups were significantly increased than the levels before treatment, and the observation group had obviously higher scores than the control group ($P<0.05$). Compared with before treat-

收稿日期: 2024-11-11; **接受日期**: 2025-02-21
基金项目: 四川省医学青年创新科研课题计划(Q22014)
通信作者: 赵磊, E-mail: zl20230429@163.com

ment, gait cycle, step length deviation and side-to-side swing phase deviation were notably decreased, and the flexion and extension of the affected hip joint and knee joint were elevated in the two groups after treatment. And more obvious improvements were seen in the observation group than the control group ($P<0.05$). Both treatment regimens resulted in lower CMT, CL and CMCT, but higher Amp in the two groups when compared with before treatment. The observation group had notably lower CMT, CL and CMCT and higher Amp than the control group ($P<0.05$). **Conclusion** DRT combined with FES shows effective efficacy on the rehabilitation in elderly stroke patients, and can significantly improve their motor function, walking ability, balance ability and functional independence. The treatment regimen provides a new effective means for the rehabilitation of elderly patients with stroke.

【Key words】 aged; end release training; functional electrical stimulation; stroke; rehabilitation period; walking ability; functional independence

This study was supported by the Project of Youth Innovation Medical Research Plan of Sichuan Province (Q22014).

Corresponding author: Zhao Lei, E-mail: zl20230429@163.com

脑卒中是一种严重损害人体神经系统功能的疾病,其发病率和致残率均较高,脑卒中后遗症包括运动障碍、感觉障碍、认知障碍等,其中步行障碍是最常见的症状之一,严重影响患者的日常生活和独立性[1]。老年人群由于生理机能的下降,更容易发生脑卒中,并且在康复过程中常面临诸多困难。因此,如何为脑卒中康复期老年患者提供有效的康复训练方案,成为当前临床实践和研究关注的重点[2]。近年来,功能性电刺激(functional electrical stimulation, FES)凭借其能够有效促进神经肌肉功能恢复的特点,在脑卒中患者的步行训练中得到广泛应用[3]。FES 通过向肌肉施加电流刺激,模拟正常生理活动,能够激活相关肌群,辅助患者完成特定动作[4]。研究表明,FES 可以改善脑卒中患者的步行能力,提高功能独立性[5]。但与此同时,FES 也存在一些不足,如刺激参数的选择、肌肉激活模式的优化以及训练效果的持续性等尚需进一步研究探讨[6]。另一方面,末端释放训练(distal release training, DRT)作为一种新兴的康复方法,近年来在脑卒中患者的步行训练中也显示出良好的疗效,DRT 通过反复训练患者手部和足部的灵活性和协调性,可以有效改善下肢肌肉的张力和协调,进而提高患者的步行能力[7,8]。然而,目前关于 FES 和 DRT 联合应用对脑卒中康复期老年患者步行能力及功能独立性影响的研究尚不够充分。故本研究拟通过对脑卒中康复期老年患者实施 FES 结合 DRT 的综合训练方案,评估其对患者步行能力及功能独立性的影响,以期为临床康复实践提供有价值的依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

采用分层多级抽样法估算样本量,依据均数抽样公式 $N=[U_{\alpha}\sigma/\delta]^2$,U 为检验水准 α 对应的 U 值,σ 为总体标准差,δ 为容许误差,经预实验得出 $\sigma=1.12$, $\alpha=0.08$, $\delta=0.2$, 得出样本量为 141, 考虑到 8%~10%抽样误差,将样本量扩展到 150 例。选取 2021 年 2 月至 2024 年 2 月在遂宁市中心医院进行康复治疗的老年脑卒中康复期患者 150 例,行前瞻性研究,应用随机数表法分为观察组和对照组,每组患者各 75 例。本研究经遂宁市中心医院医学伦理委员会批准(伦理号:202102-SN-01501)。

纳入标准:(1)均诊断为脑卒中[9],并因脑卒中出现单侧肢体瘫痪,均经治疗后在恢复期;(2)年龄≥60 岁;(3)生命体征稳定;(4)下肢关键肌力在 2 级以上,可踏车训练;(5)患者均知情并自愿参与研究。排除标准:(1)发病 2 周内生命体征不稳定;(2)伴随意识障碍;(3)患侧肢体在迟缓期;(4)不耐受 FES 治疗;(5)蛛网膜下腔出血;(6)脑部肿瘤及外伤引起的脑卒中。

1.2 治疗方法

对照组采用 FES 治疗。采用购自美国的 RT-300 型 SLSA 踏车,患者先取坐位,双手置于上肢把手上,针对无法自主抓握者给予固定手套辅助,并将 5 cm×9 cm 及 5 cm×5 cm 表面电极片连接在 5 个通道的电机线上,分别贴在冈上肌、三角肌、肱二头肌、肱三头肌、腕伸肌、腕屈肌肌腹上,选择方波,首次刺激强度为肉眼可见的肌肉收缩,诱发正确上肢运动,并根据患者的恢复情况调节刺激频率(频率范围:10~50 Hz;脉宽范围:50~500 μs;强度范围:0~100 mA),根据患者上肢运动功能恢复情况调整阻力及运动形式,以不引起疲劳为准则,在完成 20 min 上肢 FES 治疗后,患者取站位,在股四头肌、胫前肌、臀大肌、腘绳肌处贴表面电极片,选择方波,刺激强度及参数设置同上肢 FES 治疗,20 min/次,1 次/d,治疗 2 周。

观察组结合 DRT 及 FES 治疗,FES 治疗同对照组,DRT 训练如下。(1)无固定轨迹模式训练:从简单的蹲跳开始,逐步增加难度,如单腿蹲跳、负重蹲跳等,着重锻炼下肢肌群,提高爆发力;可以使用康复训练器械,如滑冰机、跳箱等,在安全环境下进行训练;注意保持良好的姿势和动作协调,避免过度用

力引起肌肉痉挛。(2)有固定轨迹模式训练:从投掷较轻、容易控制的器械开始,如毛线球、沙包等,在患者熟练度较佳后逐步过渡到标准投掷器械,在训练过程中注重上肢和躯干的协同动作,培养末端爆发力和投掷技巧,可以设置目标点,引导患者精确投掷,提高定位和控制能力。DRT训练原则:循序渐进,由简单到复杂,由轻到重,充分休息,避免过度疲劳。

1.3 观察指标

1.3.1 运动功能 采用Fugl-Meyer运动功能评估(Fugl-Meyer assessment,FMA)量表评估运动功能治疗前及治疗2周后,满分100分,其中上肢(upper extremity,UE)FMA包括10个条目,共66分;下肢(lower extremity,LE)FMA包括7个条目,共34分,得分越高,患者肢体运动功能越佳。采用Barthel指数(Barthel index,BI)评估自理能力,包括上下楼梯、进食、床椅转移、修饰、穿衣、如厕、洗澡、大小便控制及平地行走,满分100分,得分越高,患者自理能力越强。

1.3.2 步行能力 采用广州章和电气设备提供的三维步态分析仪(gaitwatch)在治疗前及治疗2周后分析步行相关参数,包括步态周期、步长偏差、左右摆动相偏差、患侧髋关节屈伸度及患侧膝关节屈伸度。

1.3.3 功能独立性、平衡能力比较 采用功能独立性量表(function independent measure, FIM)在治疗前及治疗2周后评估患者功能独立性,包括运功功能和认知功能。运动功能包含:自我照料、括约肌管理、转移及行走维度,共13个条目;认知功能包含:社会认知及交流认知方面,共5个条目,各条目按照1~7分进行评定,满分126分,得分越高,患者功能独立性越强。采用Berg平衡量表(Berg balance scale, BBS)评估患者平衡能力,对患者坐、站位下的动态、静态平衡进行全面检查,量表共包含14个项目,各条目采用Likert5级评分法评估,满分56分,得分越高,患者平衡能力越佳。

1.3.4 表面肌电图 采用安徽埃力智能科技提供的表面肌获取与分析系统(JE-TB0820)及北京世纪天鸿康健提供的表面肌电测试系统(Trigno Avanti)于治疗前及治疗2周后检测表面肌电图,温度24℃~26℃,在患侧胫骨前肌、股四头肌、肱二头肌、肱三头肌贴电极片,测定表面肌电均方根(root mean square, RMS)值。

1.3.5 运动皮质兴奋性 在治疗前及治疗2周,采用运动诱发电位(motor evoked potentials, MEP),经颅脑磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)方式,应用丹麦Medtronic公司生产的MafPro R30型磁刺激器,设置3.0T输出后进行检测,依据国际EEG10-20电极导联标准进行定位,选取下肢运动皮质区(Cz点)及上腰段神经根,作为磁刺激点,在患侧胫前肌(tibialis anterior muscle, TA)上贴表面电极,在胫前肌肌腱上贴参考电极,并在两电极或脚踝间固定地线,适当移动获得最佳磁刺激点,保证运动诱发电位。记录大脑皮质运动阈值(cortical motor threshold, CMT)、MEP振幅(motor evoked potentials amplitude, Amp)、皮质潜伏期(cortical latency, CL),根据CL及刺激上腰段神经根在TA记录潜伏期差值,获得中枢运动传导时间(central motor conduction time, CMCT)。

1.4 统计学处理

采用SPSS 23.0统计软件进行数据分析。计量资料用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,采用t检验;计数资料用例数(百分率)表示,采用χ^2检验。$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 两组患者一般资料

观察组男性38例、女性37例,年龄(71.25±8.33)岁,病程(62.33±7.15)d,美国国立卫生研究院卒中量表(national institute of health stroke scale,NIHSS)评分(2.14±0.22)分;对照组男性39例、女性36例,年龄(71.16±8.19)岁,病程(63.14±7.29)d,NIHSS评分(2.09±0.25)分。两组患者一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$;表1),均衡可比。

表1 两组患者一般资料比较

Table 1 Comparison of general information between two groups ($n=75$)

Item	Observation group	Control group	χ^2/t	P value
Gender[n(%)]			0.027	0.870
Male	38(50.67)	39(52.00)		
Female	37(49.33)	36(48.00)		
Age(years, $\bar{x}\pm s$)	71.25±8.33	71.16±8.19	0.067	0.947
Type of stroke[n(%)]			0.480	0.488
Cerebral hemorrhage	27(36.00)	23(30.67)		
Cerebral infarction	48(64.00)	52(69.33)		
Lesion location[n(%)]			0.246	0.884
Temporal lobe	17(22.67)	18(24.00)		
Parietal lobe	23(30.67)	25(33.33)		
Basal ganglia region	35(46.67)	32(42.67)		
Course of disease(d, $\bar{x}\pm s$)	62.33±7.15	63.14±7.29	0.687	0.493
NIHSS score(points, $\bar{x}\pm s$)	2.14±0.22	2.09±0.25	1.300	0.196
Hemiplegia[n(%)]			0.108	0.743
Left side	42(56.00)	40(53.33)		
Right side	33(44.00)	35(46.67)		

NIHSS: national institute of health stroke scale.

2.2 两组患者肢体功能

治疗前,两组患者 FMA-UE 评分、FMA-LE 评分比较,差异无统计学意义($P>0.05$);治疗后,两组患者 FMA-UE 评分、FMA-LE 评分均较治疗前升高,且观察组以上评分显著高于对照组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$;表 2)。

表 2 两组患者肢体功能比较

Table 2 Comparison of limb function between two groups

($n=75$, points, $\bar{x}\pm s$)

Group	FMA-UE score		FMA-LE score	
	Pre-treatment	Post-treatment	Pre-treatment	Post-treatment
Observation	18.45±2.33	41.25±4.67*	16.22±1.84	27.49±2.88*
Control	18.56±2.45	34.25±4.19*	16.18±2.57	23.12±3.15*
t	0.282	9.662	0.110	8.867
P value	0.779	<0.001	0.913	<0.001

FMA-UE: upper extremity functional movement assessment; FMA-LE: lower extremity functional movement assessment. Compared with pre-treatment, * $P<0.05$.

2.3 两组患者步行参数

治疗前,两组患者步态周期、步长偏差、左右摆动相偏差、患侧髋关节屈伸度、患侧膝关节屈伸度比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗后,两组患者步态周期、步长偏差、左右摆动相偏差均较治疗前降低,患侧髋关节屈伸度、患侧膝关节屈伸度较治疗前升高;且观察组治疗后步态周期、步长偏差、左右摆动相偏差较对照组更低,患侧髋关节屈伸度、患侧膝关节屈伸度较对照组更高,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$;表 3)。

2.4 两组患者平衡能力及功能独立性

治疗前,两组患者 BBS 评分、FIM 评分比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗后,两组患者 BBS 评分、FIM 评分均较治疗前升高,且观察组治疗后 BBS 评分、FIM 评分均较对照组更高($P<0.05$;表 4)。

2.5 两组患者表面肌电图

治疗前,两组患者肱三头肌 RMS、肱二头肌 RMS、胫骨前肌 RMS、股四头肌比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗后,两组患者肱三头肌 RMS、肱二头肌 RMS、胫骨前肌 RMS、股四头肌 RMS 均较治疗前升高,且观察组治疗后肱三头肌 RMS、肱二头肌 RMS、胫骨前肌 RMS、股四头肌 RMS 均较对照组更高($P<0.05$;表 5)。

2.6 两组患者运动皮质兴奋性

治疗前,两组患者 CMT、Amp、CL、CMCT 比较,差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。治疗后,两组患者 CMT、CL、CMCT 均较治疗前降低,Amp 较治疗前升高;且观察组治疗后 CMT、CL、CMCT 均较对照组更低,Amp 较对照组更高,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$;表 6)。

表 3 两组患者步行参数比较

Table 3 Comparison of walking parameters between two groups ($n=75$, $\bar{x}\pm s$)

Group	Gait cycle(s)		Step length deviation(cm)		Side-to-side swing phase deviation(%)		Flexion and extension of affected hip joint		Flexion and extension of affected knee joint	
	Pre-treatment	Post-treatment	Pre-treatment	Post-treatment	Pre-treatment	Post-treatment	Pre-treatment	Post-treatment	Pre-treatment	Post-treatment
Observation	1.98±0.20	1.61±0.17*	6.72±0.71	5.02±0.56*	8.67±0.89	5.12±0.56*	21.25°±2.33°	29.11°±3.05°*	17.23°±2.64°	25.66°±3.14°*
Control	1.99±0.21	1.84±0.19*	6.75±0.73	5.43±0.58*	8.66±0.91	6.33±0.68*	21.19°±2.64°	25.41°±3.16°*	17.31°±2.59°	22.14°±2.49°*
t	0.299	7.813	0.255	4.404	0.068	11.896	0.148	7.296	0.187	7.607
P value	0.766	<0.001	0.799	<0.001	0.946	<0.001	0.883	<0.001	0.852	<0.001

Compared with pre-treatment, * $P<0.05$.

表 4 两组患者平衡能力及功能独立性比较

Table 4 Comparison of balance ability and functional independence between two groups

($n=75$, points, $\bar{x}\pm s$)

Group	BBS score		FIM score	
	Pre-treatment	Post-treatment	Pre-treatment	Post-treatment
Observation	17.56±2.33	28.21±2.34*	45.11±5.23	81.23±9.15*
Control	17.49±2.54	25.44±2.61*	45.26±5.19	70.16±8.99*
t	0.176	6.843	0.176	7.474
P value	0.861	<0.001	0.860	<0.001

BBS: Berg balance scale; FIM: function independent measure. Compared with pre-treatment, * $P<0.05$.

表5 两组患者表面肌电图比较

Table 5 Comparison of surface EMG between two groups ($n=75$, μV, $\bar{x}\pm s$)

Group	Triceps brachii muscle RMS		Biceps brachii muscle RMS		Anterior tibial muscle RMS		Quadriceps femoris muscle RMS	
	Pre-treatment	Post-treatment	Pre-treatment	Post-treatment	Pre-treatment	Post-treatment	Pre-treatment	Post-treatment
Observation	5.56±0.64	10.66±1.89*	6.32±0.66	19.23±2.68*	5.33±0.61	8.59±0.91*	5.79±0.73	9.03±1.05*
Control	5.61±0.69	8.56±1.03*	6.25±0.71	13.19±2.77*	5.34±0.69	7.61±0.82*	5.78±0.62	8.58±0.71*
t	0.460	8.449	0.625	13.571	0.094	6.928	0.090	3.075
P value	0.646	<0.001	0.533	<0.001	0.925	<0.001	0.928	<0.001

EMG: electromyography; RMS: root mean square. Compared with pre-treatment, *$P<0.05$.

表6 两组患者运动皮质兴奋性比较

Table 6 Comparison of excitability of motor cortex between two groups ($n=75$, $\bar{x}\pm s$)

Group	CMT(%)		Amp(μV)		CL(ms)		CMCT(ms)	
	Pre-treatment	Post-treatment	Pre-treatment	Post-treatment	Pre-treatment	Post-treatment	Pre-treatment	Post-treatment
Observation group	69.33±7.21	50.45±6.11*	25.11±3.14	78.56±8.12*	35.26±3.69	30.22±4.15*	24.15±2.64	20.15±2.33*
Control group	69.29±7.25	55.46±6.23*	25.17±3.55	64.55±7.39*	35.33±4.12	32.69±4.26*	24.23±3.65	22.15±2.67*
t	0.051	4.972	0.110	11.051	0.110	3.597	0.154	4.888
P value	0.960	<0.001	0.913	<0.001	0.913	<0.001	0.878	<0.001

CMT: cortical motor threshold; Amp: motor evoked potentials amplitude; CL: cortical latency; CMCT: central motor conduction time. Compared with pre-treatment, *$P<0.05$.

3 讨 论

脑卒中是老年人最常见的致残性疾病之一,会严重影响患者的步行能力和功能独立性。根据流行病学调查,我国65岁及以上老年人群中的脑卒中患病率达10.8%,且随着人口老龄化趋势的加剧,该患病率呈逐年上升的态势[10]。脑卒中导致的各类神经功能障碍,如肢体运动障碍、感觉障碍、认知障碍等,严重损害了患者的日常生活自理能力,给家庭和社会带来了沉重的负担[11]。目前临床上常采用物理治疗、作业治疗等方法进行脑卒中患者的康复训练,主要目的是改善患者的步行能力和功能独立性[12]。然而,由于神经系统的可塑性有限,以及患者年龄较大等因素的影响,单一的康复训练模式恢复效果往往存在一定的局限性。故采取科学、有效的康复训练模式是临床亟待解决的问题。

本研究结果显示,DRT结合FES可显著改善脑卒中康复期老年患者肢体运动功能,分析原因可能是因为DRT聚焦于改善患者下肢肌群的力量和协调性,这些肌群对步行等日常生活活动至关重要,而FES可以直接刺激这些肌群,诱发收缩,从而有针对性地强化训练目标肌肉,这种针对性的训练对改善老年脑卒中患者的肢体运动功能非常有利[13]。FES可以通过向受损神经传递电信号,直接诱发目标肌肉收缩,弥补中枢神经系统损伤导致的肌肉激活障碍,有助于提高患者肢体的肌力和活动范围,从而改善运动功能,特别是对于一些难以主动激活的肌群,电刺激可以起到“辅助”作用[14]。脑卒中老年患者由于机体功能普遍下降,单一的主动训练效果较差,而DRT结合电刺激可以在一定程度上弥补老年人自主运动能力的不足,为改善其肢体运动功能提供有效支持。本研究结果发现,DRT结合FES可有效改善脑卒中康复期老年患者步行功能,推测原因为步行时需要下肢肌肉群协调工作,DRT聚焦于改善患者下肢肌力和协调性,这些正是步行功能的关键因素[15]。FES可以直接刺激下肢主要肌肉,诱发肌肉收缩,有助于提高下肢肌力,改善步行稳定性和协调性[16]。DRT配合电刺激会刺激大脑皮质和脊髓的神经元活动,诱发神经可塑性改变,有利于重建下肢运动控制功能,为步行功能的恢复奠定基础。本研究结果发现,DRT结合FES可有效改善脑卒中康复期老年患者平衡能力,提高功能独立性,推测原因为DRT训练可以针对性训练下肢肌肉,提高肌力和协调性,DRT结合电刺激可以激活大脑皮质和脊髓神经递质,诱发神经可塑性改变,有助于重建平衡控制的神经回路,为平衡功能的恢复奠定基础[17]。FES可以激发下肢肌肉收缩,克服中枢神经损伤导致的肌肉激活障碍,有助于增强下肢支撑能力,改善平衡控制[18];另外FES能够产生感觉刺激,增强下肢关节和肌肉的感觉反馈,有利于整合感觉信息,改善中枢神经对身体位置和平衡的感知和调节[19]。本研究结果发现,DRT结合FES可有效改善脑卒中康复期老年患者肌电图指标,分析原因为FES通过精准电刺激促进肌肉主动收缩,增强感觉反馈和皮层兴奋性[20,21];另DRT可以训练肌群间的协调配合,提高关节活动的协调性;电刺激可以同时激发协同肌肉,增强肌肉间的协调[22];肌肉协调性改善,有利于发挥肌肉的最大收缩能力,RMS也会相应增

强[23]。本研究结果显示,DRT 结合 FES 可有效提高脑卒中康复期老年患者运动皮质兴奋性,推测原因为 DRT 通过主动运动激活肌肉,刺激大脑皮质神经元[24];FES 直接激发肌肉及其支配神经,亦可引发大脑皮质的反应性兴奋,二者结合有助于诱发大脑皮质的神经可塑性变化,提高神经元的兴奋性[25]。脑卒中导致感觉和运动通路受损,训练-刺激可以重塑感觉运动环路[26];末端训练提供了感觉反馈,电刺激增强了运动输出,两者结合有助于环路的重建,感觉运动环路的重建,增强了大脑皮质对肌肉的控制能力,提高了神经元兴奋性[27]。本研究不足之处在于当前仅研究短期效果,尚未评估 DRT 结合 FES 治疗在老年脑卒中患者中的远期预后,后期可延长随访时间,对远期预后进行分析。

综上,与单纯采用 FES 相比,结合 DRT 与 FES 的治疗方案可以显著提高脑卒中康复期老年患者上下肢运动功能、改善步行功能,明显增强患者的平衡能力和日常生活自理能力。联合 DRT 与 FES 治疗有望成为脑卒中康复期老年患者更有效的改善方法,或可进一步提高患者生活质量。

【参考文献】

[1] 张鹏, 张琳, 李向哲, 等. 以头眼运动为主的感觉运动整合训练对脑卒中偏瘫患者平衡及步行功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(1): 98-100. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2023.01.018.

[2] 沃丽, 杨蓓, 徐梅.老年急性脑卒中后偏瘫患者康复训练依从性的影响因素[J]. 中华老年多器官疾病杂志, 2024, 23(5): 373-377. DOI: 10.11915/j.issn.1671-5403.2024.05.080.

[3] Juckett L, Saffari TM, Ormseth B, *et al*. The effect of electrical stimulation on nerve regeneration following peripheral nerve injury[J]. Biomolecules, 2022, 12(12): 1856. DOI: 10.3390/biom12121856.

[4] Chaikho L, Clark E, Raison M. Transcutaneous functional electrical stimulation controlled by a system of sensors for the lower limbs: a systematic review[J]. Sensors (Basel), 2022, 22(24): 9812. DOI: 10.3390/s22249812.

[5] 李辉, 李岩, 顾旭东, 等. 减重平板训练联合功能性电刺激对脑卒中后偏瘫患者下肢运动功能和步行能力的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2022, 44(3): 214-217. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.03.005.

[6] Cardoso LRL, Bochkezanian V, Forner-Cordero A, *et al*. Soft robotics and functional electrical stimulation advances for restoring hand function in people with SCI: a narrative review, clinical guidelines and future directions[J]. J Neuroeng Rehabil, 2022, 19(1): 66. DOI: 10.1186/s12984-022-01043-1.

[7] Kemmler W, Kohl M, Fröhlich M, *et al*. Effects of high-intensity resistance training on osteopenia and sarcopenia parameters in older men with osteosarcopenia — one-year results of the randomized controlled Franconian osteopenia and sarcopenia trial (FrOST)[J]. J Bone Miner Res, 2020, 35(9): 1634-1644. DOI: 10.1002/jbmr.4027.

[8] Fecchio RY, de Sousa JCS, Oliveira-Silva L, *et al*. Effects of dynamic, isometric and combined resistance training on blood pressure and its mechanisms in hypertensive men[J]. Hypertens Res, 2023, 46(4): 1031-1043. DOI: 10.1038/s41440-023-01202-4.

[9] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 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. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2018.09.004.

[10] 陈园月, 李加斌, 蒯凤, 等.多通道功能性电刺激结合任务导向训练对脑卒中上肢偏瘫患者脑功能网络的即刻影响[J]. 中国康复理论与实践, 2024, 30(4): 462-467. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2024.04.012.

[11] 宋琳琳, 李哲, 刘骞豪, 等. 功能性电刺激踏车对脑卒中早期患者下肢屈髋功能及步行能力的临床疗效[J]. 中国康复医学杂志, 2022, 37(2): 247-249. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2022.02.020.

[12] 刘蒙蒙, 徐桂芝, 于洪丽, 等. 经颅直流电刺激下脑卒中患者康复期脑功能网络特性研究[J]. 生物医学工程学杂志, 2021, 38(3): 498-506, 511. DOI: 10.7507/1001-5515.202010037.

[13] 张英, 廖维靖, 邹凡, 等. 功能性电刺激循环运动联合低频重复经颅磁刺激对脑卒中恢复后期患者上肢功能恢复的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2021, 43(2): 127-130. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.02.005.

[14] Street T, Yoshida K, Spaich EG, *et al*. The international functional electrical stimulation society (IFESS): current and future developments[J]. Artif Organs, 2022, 46(10): 1968-1969. DOI: 10.1111/aor.14325.

[15] Neves RVP, Rosa TS, Souza MK, *et al*. Dynamic, not isometric resistance training improves muscle inflammation, oxidative stress and hypertrophy in rats[J]. Front Physiol, 2019, 10: 4. DOI: 10.3389/fphys.2019.00004.

[16] Sousa ASP, Moreira J, Silva C, *et al*. Usability of functional electrical stimulation in upper limb rehabilitation in post-stroke patients: a narrative review[J]. Sensors (Basel), 2022, 22(4): 1409. DOI: 10.3390/s22041409.

[17] 王锋, 李成梁, 王新雷, 等. 论末端释放训练及其在竞技体育中的应用[J]. 体育科学, 2015, 10(4): 81-90. DOI: 10.16469/j.css.201504010.

[18] 周青青, 施加加, 倪波业. 扩展 Barthel 指数与功能独立性量表在评定脑卒中患者日常生活活动功能等级中的对比分析[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2021, 43(7): 602-606. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.07.005.

[19] 耿姣姣, 夏燕萍, 钮晨佳, 等. 经颅直流电刺激联合功能性电刺激踏车对脑卒中早期患者下肢运动功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2021, 43(4): 311-315. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.04.005.

[20] 雷正方, 王东阳, 江栩波, 等. 传统抗阻与末端释放训练对网球发球表现的不同 PAP 效应[J]. 西安体育学院学报, 2019, 36(3): 356-363. DOI: 10.16063/j.cnki.issn1001-747x.2019.03.016.

[21] Pellot-Cestero JE, Herring EZ, Graczyk EL, *et al*. Implanted electrodes for functional electrical stimulation to restore upper and lower extremity function: history and future directions[J]. Neurosurgery, 2023,93(5): 965-970. DOI: 10.1227/neu.0000000000002561.

[22] Fecchio RY, Brito LC, Peçanha T, *et al*. Potential mechanisms behind the blood pressure-lowering effect of dynamic resistance training[J]. Curr Hypertens Rep, 2021, 23(6): 35. DOI: 10.1007/s11906-021-01154-5.

[23] Rosa TS, Corrêa HL, Deus LA, *et al*. Effects of dynamic and isometric resistance training protocols on metabolic profile in hemodialysis patients: a randomized controlled trial[J]. Appl Physiol Nutr Metab, 2021, 46(9): 1029-1037. DOI: 10.1139/apnm-2020-0900.

[24] Fantini ML, Durif F, Marques A. Impulse control disorders in REM sleep behavior disorder[J]. Curr Treat Options Neurol, 2019, 21(5): 23. DOI: 10.1007/s11940-019-0564-3.

[25] Zhang X, Peng Y, Zhong F, *et al*. Effects of neuromuscular electrical stimulation on functional capacity and quality of life among patients after cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. J Cardiol, 2022, 79(2): 291-298. DOI: 10.1016/j.jjcc.2021.09.019.

[26] 黄桂兰, 许意, 任彩丽, 等. 表面肌电结合等速测试仪评价功能性电刺激对脑卒中患者下肢痉挛及其功能影响的临床研究[J]. 中国康复, 2022, 37(1): 17-20. DOI: 10.3870/zgkf.2022.01.004.

[27] 刘文权, 徐武华, 曾德良, 等. 对侧控制型功能性电刺激对脑卒中患者下肢运动功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(5): 597-599. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2021.05.017.

(编辑: 温玲玲)