

网络出版时间: 2024-07-03 09:59:15 网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/34.1065.R.20240702.1451.024>

# 脑机接口技术对缺血性脑卒中患者平衡功能及血清 IL-6、TNF- $\alpha$ 水平的影响

黄颖, 卞心怡, 高鹏, 胡梦萱, 苏骏宏, 陈和木

**摘要** 目的 观察脑机接口控制脚踏训练系统对缺血性脑卒中患者平衡功能及血清白细胞介素-6(IL-6)、肿瘤坏死因子- $\alpha$ (TNF- $\alpha$ )水平的影响。方法 选择2022年9月—2023年9月住院治疗的40例缺血性脑卒中患者作为观察对象。根据随机数字表法将患者均分为卒中对照组和卒中实验组。同时招募20例性别、年龄相当的健康受试者作为健康对照组,采集相关足底压力数据。卒中对照组患者接受包括上下肢被动运动训练系统在内的常规康复训练,卒中实验组将卒中对照组中的上下肢被动运动训练系统替换为脑机接口控制脚踏训练系统进行康复治疗,其他不变。治疗4周后使用足底压力评估系统分别采集两组卒中患者睁闭眼状态下的双侧足底压力对称指数(SI)及身体压力中心(COP)摆动面积;采用Fugl-Meyer下肢运动功能评分(FMA-LE)、Berg平衡量表(BBS)对两组卒中患者进行评估;同时比较两组治疗前后血清IL-6、TNF- $\alpha$ 水平。结果 ①两组卒中患者治疗后睁闭眼状态下的SI值及COP摆动面积均较入院前改善,且卒中实验组结果优于卒中对照组( $P < 0.05$ ),但与健康对照组仍存在差距( $P < 0.05$ )。②两组卒中患者治疗后BBS、FMA-LE评分均较治疗前升高,且卒中实验组分数大于卒中对照组,差异有统计学意义(均 $P < 0.05$ )。③两组卒中患者治疗后血清IL-6、TNF- $\alpha$ 水平均较前下降,卒中实验组血清IL-6、TNF- $\alpha$ 水平下降程度大于卒中对照组,差异有统计学意义( $P < 0.001$ ,  $P < 0.05$ )。结论 脑机接口控制脚踏训练系统对于缺血性脑卒中偏瘫患者平衡功能的恢复具有促进作用,其机制可能与血清IL-6、TNF- $\alpha$ 水平降低有关。

**关键词** 缺血性脑卒中;脑机接口技术;平衡功能;炎症因子;足底压力分析

中图分类号 R 743.33; R 493

文献标志码 A 文章编号 1000-1492(2024)07-1263-06  
doi: 10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2024.07.024

脑卒中又称脑血管意外(cerebrovascular,

2024-02-26 接收

基金项目:安徽省高校自然科学基金项目(编号:KJ2020ZD18);安徽省科研编制计划项目(编号:2022AH051160)

作者单位:安徽医科大学第一附属医院康复医学科,合肥 230022

作者简介:黄颖,女,硕士研究生;

陈和木,男,主任医师,硕士生导师,责任作者,E-mail:  
chenhemu123@126.com

CVA),依据其发病原理不同分为缺血性脑卒中和出血性脑卒中,其中缺血性脑卒中最为常见<sup>[1]</sup>。目前认为缺血性脑卒中是由于血管阻塞导致血流供应减少或中断,使局部脑组织无法摄取足够的氧气和营养物质,进而出现坏死导致<sup>[2]</sup>。发病后患者出现下肢运动功能障碍,影响其平衡功能。目前神经肌肉电刺激、物理治疗等多种传统康复疗法着重于外周而缺乏中枢干预,因此康复效果欠佳。

近年来,脑机接口(brain-computer interface, BCI)与传统康复治疗方法相结合衍生出多种新型治疗方法,包括运动康复BCI、神经康复BCI、认知康复BCI<sup>[3]</sup>。BCI是分析大脑活动的一个实时窗口,使患者能够使用大脑活动所产生的控制信号与周围环境进行交互。BCI由信号采集、信号处理和交互控制3个模块组成。通过BCI进行训练,患者可以直接用大脑控制外部设备并产生相应的动作,外部设备也会同时向大脑反馈信息,实现双向联系<sup>[4]</sup>。当前,国内有关BCI对于缺血性脑卒中偏瘫患者平衡功能的临床研究较少。该研究旨在探讨BCI对缺血性脑卒中偏瘫患者平衡功能的作用,分析其对血清炎症因子水平的影响,为BCI的临床使用提供科学依据。

## 1 材料与方法

**1.1 一般资料** 选择2022年9月—2023年9月在安徽医科大学第一附属医院康复医学科住院治疗的40例缺血性脑卒中患者作为观察对象。根据随机数字表法将患者均分为卒中对照组和卒中实验组。同时招募20例性别、年龄相当的健康受试者作为健康对照组,采集相关足底压力数据。除1例卒中实验组患者拒绝出院血清样本采集,其余所有患者均顺利完成治疗及数据采集,无因病情变化退出入组者。三组受试者的一般资料比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),具体见表1。所有参与本研究的受试者或其授权代理人均已签署知情同意书,本研究通过安徽医科大学第一附属医院伦理委员会审批(批准号: PJ2023-14-81)。

表1 三组受试者一般资料比较

组别	例数	性别( n )		年龄 ( $\bar{x} \pm s$ , 岁)	身高 ( $\bar{x} \pm s$ , cm)	体质量 ( $\bar{x} \pm s$ , kg)	病程 [M( P <sub>25</sub> , P <sub>75</sub> ), d]	偏瘫侧( n )	
		男	女					左	右
卒中实验	20	11	9	57.85 ± 11.79	170.20 ± 6.91	67.23 ± 11.72	74( 28, 103)	9	11
卒中对照	20	12	8	57.90 ± 12.33	168.65 ± 5.30	72.17 ± 14.18	63( 33, 85)	12	8
健康对照	20	9	11	54.85 ± 14.93	168.75 ± 7.25	65.50 ± 8.56	-	-	-
$\chi^2/F/Z$ 值		0.938		0.356	0.351	1.744	-0.541	0.902	
P 值		0.626		0.702	0.705	0.184	0.588	0.342	

**1.1.1 缺血性脑卒中患者纳入与排除标准** 纳入标准: ① 符合《中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018》中缺血性脑卒中的诊断标准<sup>[5]</sup>, 经头颅 CT 或 MRI 检查确诊; ② 首次发病, 病程 < 1 年, 病情稳定, 年龄 30 ~ 80 岁; ③ 可独立站立 10 s 以上; ④ 坐位平衡 2 - 3 级; ⑤ 本次脑卒中后出现一侧肢体运动障碍; ⑥ 患者认知功能正常, 无沟通障碍; ⑦ 可以配合完成相关功能评定及康复训练。排除标准: ① 有认知障碍或精神疾病等原因导致无法沟通的患者; ② 既往有癫痫病史; ③ 佩戴起搏器、颅内金属植入物或有颅骨缺损者; ④ 肌张力 ≥ 3 级; ⑤ 严重心、肺、肝、肾功能减退或衰竭者; ⑥ 其他系统疾病所引起平衡功能障碍者, 如中枢神经系统疾病、免疫系统疾病等。

**1.1.2 健康对照组纳入与排除标准** 纳入标准: ① 近 6 个月无摔倒史; ② 无下肢疼痛或其他影响平衡的疾病。排除标准: ① 骨折未愈者; ② 存在双下肢畸形; ③ 脊柱严重侧弯畸形。

**1.2 康复治疗方法**

**1.2.1 卒中对照组** 进行脑卒中常规康复训练, 主要治疗内容包括: 运动疗法每次 40 min, 上下肢主被动运动训练系统每次 20 min、电子生物反馈疗法每次 20 min、气压治疗每次 20 min、针刺疗法每次 30 min 等。以上训练每日 1 次, 每周训练 5 d, 持续 4 周。本研究在常规康复训练的项目选择上并不是统一的, 是由治疗师与医师统一评估患者情况后而制定的个性化康复治疗方案, 治疗过程遵守《中国脑卒中康复治疗指南》的相关规定<sup>[6]</sup>。

**1.2.2 卒中实验组** 将卒中对照组中的上下肢主被动运动训练系统替换为脑机接口控制脚踏训练系统进行康复治疗, 其他训练不变。采用 Zhenatec-R1 型 BCI 康复训练系统(西安臻泰智能科技有限公司), 该系统由三部分组成: ① 脑电波( electroencephalogram, EEG) 收集系统: 由脑电头带紧贴前额皮肤记录所产生的 EEG 数据; ② 虚拟现实训练系统: 将训练转化为游戏画面, 激发患者兴趣与主动性, 同时将收集到的脑电数据转化为专注力指数显

示于屏幕左侧; ③ 脚踏车训练机器人: 分为主动、被动以及主被动协同训练模式, 驱动患者下肢做圆周运动。当患者的专注力指数提高时, 机器人转速提升的同时屏幕会显示加速效果以示奖励, 而当专注力指数降低时, 虚拟对手会超过患者所代表的骑行选手, 同时屏幕出现减速提醒并发出嘟嘟声, 系统还会减少对脚踏车的辅助, 让患者的身体感知这些变化, 这些措施可有效提升患者训练的参与度与趣味性。

治疗开始前, 由 1 名治疗师评估患者下肢肌力、肌张力, 为患者选择合适的训练模式, 告知患者及其家属训练流程。治疗时, 患者取坐位, 使用 75% 乙醇棉片擦拭患者前额皮肤和脑电头带电极片, 将脑电头带紧贴患者前额佩戴。设备连接成功后, 让患者将自己想象为屏幕中的骑行选手, 并尝试蹬车控制选手向前骑行, 并根据屏幕提示完成相应任务(图 1)。该训练每次 10 min, 每天 2 次, 每周训练 5 d, 持续 4 周。

**1.3 评定方法**

**1.3.1 足底压力数据采集**

**1.3.1.1 采集过程** 选取安静、光线充足且温度适宜的房间, 采用 Medtrack-Gait 足底压力板(杭州芯康生物医学科技有限公司), 尺寸为 447 mm × 530 mm × 20 mm, 传感器分布密度为 4 个/cm<sup>2</sup>, 传感器类型为压阻式, 采集频率为 100 ~ 400 Hz。将压力板放置于平整地面, 嘱三组受试者赤足站于压力板中央, 平视正前方, 双上肢自然放置于躯体两侧, 双足呈外八字型自然站立。待躯体稳定后分别采集患者睁闭眼状态下的足底压力数据, 单次采集时间为 10 s, 两种状态下各采集 3 次, 结果取其平均值, 2 次采集间给予患者 1 min 休息时间。

**1.3.1.2 数据分析** 使用系统自带的分析软件进行数据分析, 提取以下数据: ① 双侧足底压力对称指数( symmetry index, SI): 双下肢足底支撑体质量的百分比即为双侧足底压力百分比, 两侧比值相加为 100%。当 SI = 0.5 时, 代表左右侧足底压力对称, 躯干站立稳定。当数据偏离中心值越多, 则重心



图1 训练时屏幕显示画面

偏移幅度越大, 跌倒风险越高, 平衡功能越差。SI = 健侧值 / (健侧值 + 患侧值), SI 值范围在 0 ~ 1 之间。健康受试者中, 优势侧为健侧, 非优势侧为患侧。② 身体压力中心 (center of pressure, COP) 摆动面积: COP 摆动面积代表受试者站立时重心移动的面积, 面积越大说明身体移动范围越大, 平衡功能越差。

**1.3.2 Fugl-Meyer 下肢运动功能评分量表 (fugl-meyer assessment of lower extremity, FMA-LE)**  
FMA-LE 量表包含反射、髋、膝、踝运动等 7 大项, 共 17 小项, 每小项分为 3 级, 分别评 0 ~ 2 分, 总分 34 分, 得分越高意味着患者的下肢运动能力恢复越好。该评定量表内容详细, 能够较为准确的反映脑卒中偏瘫患者运动功能的恢复情况。

**1.3.3 Berg 平衡量表 (berg balance scale, BBS)**  
BBS 包括由坐到站、无支持闭目站立、单腿站立、旋转等 14 项。每项分为 5 级, 分别评 0 ~ 4 分, 总分 56 分, 分数越高代表患者平衡功能越好。总分 < 40 分, 表明患者存在跌倒风险。

**1.3.4 炎症因子** 采集卒中对照组和卒中实验组患者治疗前后晨起空腹外周静脉血 3 ml, 室温静置 2 h 后于 2 ~ 8 °C 离心机中 3 400 r/min 离心 15 min,

收集上层血清放置于 -80 °C 冰箱储存。使用武汉华美生物生产的 ELISA 试剂盒检测血清白细胞介素-6 (interleukin-6, IL-6)、肿瘤坏死因子-α (tumor necrosis factor-α, TNF-α) 水平。

**1.4 统计学处理** 所有数据均使用 SPSS 26.0 统计学软件进行分析, 计量资料符合正态分布的采用  $\bar{x} \pm s$  表示, 组内治疗前后均数比较采用配对样本 *t* 检验, 两组间均数比较采用两独立样本 *t* 检验; 多组间均数比较采用单因素方差分析, 并进行 LSD 多重比较。两组性别构成比较采用  $\chi^2$  检验。不符合正态分布采用  $M(P_{25} P_{75})$  表示, 两组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 足底压力数据比较

**2.1.1 双侧 SI 比较** 卒中实验组与卒中对照组睁闭眼 SI 值明显大于健康对照组。经过 4 周康复治疗, 两组卒中患者睁闭眼 SI 值较健康对照组均有所回归, 与治疗前对比差异有统计学意义 ( $P < 0.001$ ); 并且卒中实验组睁闭眼 SI 值降低更为明显 ( $P < 0.05$ ), 但仍大于健康对照组 ( $P < 0.05$ )。见表 2。

表2 三组受试者治疗前后 SI 值比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	睁眼		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	闭眼		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
		治疗前	治疗后			治疗前	治疗后		
卒中实验	20	0.63 ± 0.38*	0.53 ± 0.16*#	7.728	<0.001	0.67 ± 0.42*	0.57 ± 0.33*#	12.506	<0.001
卒中对照	20	0.63 ± 0.50*	0.57 ± 0.51*	7.728	<0.001	0.67 ± 0.45*	0.61 ± 0.40*	11.366	<0.001
健康对照	20	0.51 ± 0.15				0.52 ± 0.18			
<i>t</i> 值		0.181	-2.527			-0.337	-2.316		
<i>P</i> 值		0.858	0.029			0.074	0.033		

与健康对照组比较: \*  $P < 0.05$ ; 与卒中对照组比较: #  $P < 0.05$

表3 三组受试者治疗前后 COP 摆动面积比较( mm<sup>2</sup>  $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	睁眼		t 值	P 值	闭眼		t 值	P 值
		治疗前	治疗后			治疗前	治疗后		
卒中实验	20	336.70 ± 741.54*	425.60 ± 350.98*#	6.999	<0.001	528.40 ± 619.35*	712.30 ± 266.66*#	6.074	<0.001
卒中对照	20	253.80 ± 645.06*	955.20 ± 584.41*	7.603	<0.001	370.20 ± 653.84*	1117.00 ± 513.51*	5.187	0.010
健康对照	20	246.80 ± 215.73				312.20 ± 217.44			
t 值		0.267	-2.426			0.555	-2.212		
P 值		0.793	0.029			0.585	0.045		

与健康对照组比较: \* P < 0.05; 与卒中对照组比较: # P < 0.05

**2.1.2 身体 COP 摆动面积比较** 卒中实验组与卒中对照组的睁闭眼 COP 摆动面积明显大于健康对照组。经过 4 周康复治疗, 两组卒中患者睁闭眼 COP 摆动面积均有所下降, 差异有统计学意义 (P < 0.05); 且卒中实验组睁闭眼 COP 摆动面积降低更显著 (P < 0.05), 但仍大于健康对照组 (P < 0.05)。见表 3。

**2.2 两组卒中患者 FMA-LE 评分比较** 治疗前两组卒中患者 FMA-LE 分数比较差异无统计学意义 (P > 0.05)。治疗后两组卒中患者 FMA-LE 分数均上升 (P < 0.001); 且卒中实验组分数上升更为明显, 差异有统计学意义 (P < 0.05)。见表 4。

表4 两组缺血性脑卒中患者治疗前后 FMA-LE 评分比较(分  $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	治疗前	治疗后	t 值	P 值
卒中实验	20	15.85 ± 4.42	25.85 ± 3.84	15.708	<0.001
卒中对照	20	16.15 ± 5.65	21.75 ± 6.54	11.212	<0.001
t 值		-0.187	2.418		
P 值		0.853	0.022		

**2.3 两组卒中患者 BBS 评分比较** 治疗前两组卒中患者 BBS 分数比较差异无统计学意义 (P > 0.05)。治疗后两组卒中患者 BBS 得分均升高 (P < 0.001); 且卒中实验组分数上升更为明显, 差异有统计学意义 (P < 0.05)。见表 5。

表5 两组缺血性脑卒中患者治疗前后 BBS 评分比较(分  $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	治疗前	治疗后	t 值	P 值
卒中实验	20	28.30 ± 11.41	44.90 ± 8.69	15.927	<0.001
卒中对照	20	28.75 ± 11.53	38.15 ± 10.35	11.760	<0.001
t 值		-0.124	2.234		
P 值		0.902	0.031		

**2.4 两组卒中患者炎症因子水平比较** 治疗前两组卒中患者血清炎症因子水平比较差异无统计学意义 (P > 0.05); 经过治疗后, 两组卒中患者血清 IL-6、TNF-α 水平降低 (P < 0.001, P < 0.05); 卒中实验

组血清炎症因子水平下降程度更为显著, 差异有统计学意义 (P < 0.001, P < 0.05)。见表 6、7。

表6 两组缺血性脑卒中患者治疗前后血清 IL-6 水平比较( pg/ml  $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	治疗前	治疗后	t 值	P 值
卒中实验	19	31.32 ± 10.57	6.50 ± 1.60	7.458	<0.001
卒中对照	20	29.82 ± 8.48	13.42 ± 2.04	5.640	<0.001
t 值		0.351	-8.446		
P 值		0.730	<0.001		

表7 两组缺血性脑卒中患者治疗前后血清 TNF-α 水平比较( pg/ml  $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	治疗前	治疗后	t 值	P 值
卒中实验	19	65.26 ± 21.77	23.50 ± 11.34	9.672	<0.001
卒中对照	20	53.92 ± 25.54	38.37 ± 17.51	4.632	0.010
t 值		1.069	-2.254		
P 值		0.229	0.039		

### 3 讨论

平衡是一种能够控制姿势的能力, 使患者在进行日常活动时保持稳定的身体姿态, 并通过调整躯体重心来应对外界和内部因素的干扰以避免摔倒。良好的平衡需要正确的感觉输入、中枢神经系统协调和运动输出。脑卒中后, 由于中枢神经系统受损, 神经传导功能和中枢协调能力出现异常, 从而影响了患者的平衡功能。中枢神经系统接收整合来自视觉、前庭觉和本体感觉输入的各种信息, 并产生运动维持躯体的平衡功能。视觉输入、足底本体感觉输入以及下肢运动功能对躯体平衡控制起决定性作用<sup>[7]</sup>。目前传统康复治疗方法侧重于引导或被动活动肢体运动, 缺少患者对受损中枢神经的主动控制训练, 无法实时监测训练过程中大脑信号的变化。但 BCI 技术提供了解码大脑信号的实时窗口, 该技术通过采集大脑的电信号解码患者的意图, 并以实际运动、触觉反馈或视觉反馈等形式反馈给患者<sup>[8]</sup>。

BCI 控制脚踏训练系统与上下肢主被动运动训练系统相比,采用了多种反馈方式使患者专注于脚踏车训练,进一步改善患者下肢运动能力,提高肢体平衡功能。神经可塑性是脑卒中后康复干预的科学基础<sup>[9]</sup>。本研究所使用的 BCI 系统旨在促进神经可塑性来恢复受损神经元连接,从而促进受损的肢体运动功能恢复。该系统促进神经可塑性的相关机制有以下几点:① 重复训练强化神经通路<sup>[8]</sup>:记录与特定任务相关的大脑激活模式,并通过重复训练加强。② 神经反馈训练:通过实时显示患者的专注力指数反映患者的专注度高低,在专注力指数较低时提醒患者主动提高专注度。训练中需高度集中注意力是 BCI 系统的一大特点,但注意力高度集中促进运动功能恢复的机制目前尚不清楚,考虑可能与高专注度才能建立有效反馈通路有关。③ 强化操作性条件反射<sup>[10]</sup>:当患者完成指定的任务后,BCI 系统会为他们提供视觉或感觉的反馈奖励,反之则给予负反馈。④ 赫布可塑性:脑卒中后大部分患者存在运动功能障碍,即大脑所想与实际完成动作存在差距,缺乏对大脑的感觉反馈,但 BCI 系统控制的多种反馈模式弥补了中枢神经系统与外周肢体运动之间的差距,强化了感觉-运动通路,同时运动皮层信号的输入与输出激活了赫布可塑性,这被认为是康复干预后神经可塑性的重要机制<sup>[9]</sup>。

缺血性脑卒中最主要、最常见的病因为动脉粥样硬化。炎症反应参与了动脉粥样硬化的全过程,是血栓性疾病发生的基础<sup>[11]</sup>。血清 IL-6、TNF- $\alpha$  为典型的炎症因子,与缺血性脑卒中的发生、发展和预后密切相关。IL-6 在脑缺血后的表达量增加,而且在缺血再灌注后期仍维持在较高水平。研究<sup>[12]</sup>显示,血清 IL-6 水平的升高与缺血性脑卒中的严重程度以及预后不良有关。TNF- $\alpha$  水平升高则可能导致中枢神经功能损伤加剧以及预后不良<sup>[13-14]</sup>。同时也有研究指出 TNF- $\alpha$  可以通过促进血管内皮细胞黏附分子的表达而引起神经细胞凋亡,并且加剧缺血性脑损伤<sup>[15]</sup>。

经过 4 周的康复治疗,本研究发现两组卒中患者的 BBS、FMA-LE 和足底压力参数较治疗前均有所改善,且卒中实验组治疗效果明显好于卒中对照组。这表明虽然常规康复治疗可以改善患者平衡功能及下肢运动功能,但使用 BCI 控制脚踏训练系统康复效果更佳。鉴于缺血性脑卒中与炎症反应关系密切,而过度炎症反应会促进缺血性脑卒中的进展。本次研究选用 IL-6、TNF- $\alpha$  作为观察指标,结果

显示与治疗前比较,两组患者血清 IL-6、TNF- $\alpha$  水平均降低,但卒中实验组降低更加显著,表明 BCI 可以减轻缺血性脑卒中患者的全身炎症反应程度,这可能与促进患者神经可塑性有关。

综上所述,BCI 控制脚踏训练系统能显著改善缺血性脑卒中患者平衡功能及下肢运动功能,同时抑制患者的血清炎症因子表达。但本次研究样本量及观察指标相对较少,后续的实验可以在增加样本量的基础上结合影像学和脑电图图像进行更深入的研究。BCI 技术作为一种新型康复方法,具有广阔的发展前景,可以针对脑卒中的其他功能障碍进行深入探索。

### 参考文献

- [1] Tsao C W, Aday A W, Almarzoq Z I, et al. Heart disease and stroke statistics-2023 update: A report from the American Heart Association [J]. *Circulation* 2023, 147(8): e93-621.
- [2] 张怡, 张宏, 高林, 等. 中医药活血治疗对急性脑梗死患者炎症因子影响研究进展 [J]. *中国实验方剂学杂志* 2022, 28(23): 250-63.
- [3] 陈琪, 袁天蔚, 张丽雯, 等. 脑机接口医学应用的研发现状与趋势 [J]. *生物医学工程学杂志* 2023, 40(3): 566-72.
- [4] Yang W, Zhang X, Li Z, et al. The effect of brain-computer interface training on rehabilitation of upper limb dysfunction after stroke: A meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Front Neurosci* 2022, 15: 766879.
- [5] 钟迪, 张舒婷, 吴波. 《中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018》解读 [J]. *中国现代神经疾病杂志* 2019, 19(11): 897-901.
- [6] 张通. 中国脑卒中康复治疗指南(2011 完全版) [J]. *中国康复理论与实践* 2012, 18(4): 301-18.
- [7] Patti A, Messina G, Palma R, et al. Comparison of posturographic parameters between young taekwondo and tennis athletes [J]. *J Phys Ther Sci* 2018, 30(8): 1052-5.
- [8] Mane R, Chouhan T, Guan C. BCI for stroke rehabilitation: Motor and beyond [J]. *J Neural Eng* 2020, 17(4): 041001.
- [9] Cramer S C. Repairing the human brain after stroke: I. mechanisms of spontaneous recovery [J]. *Ann Neurol* 2008, 63(3): 272-87.
- [10] Wang T, Mantini D, Gillebert C R. The potential of real-time fMRI neurofeedback for stroke rehabilitation: A systematic review [J]. *Cortex* 2018, 107: 148-65.
- [11] Hahn C, Hill M D. Early anti-coagulation after ischemic stroke due to atrial fibrillation is safe and prevents recurrent stroke [J]. *Can J Neurol Sci* 2015, 42(2): 92-5.
- [12] Mc Mahon C J, Hopkins S, Vail A, et al. Inflammation as a predictor for delayed cerebral ischemia after aneurysmal subarachnoid haemorrhage [J]. *J Neurointerv Surg* 2013, 5(6): 512-7.
- [13] Boehme A K, Mc Clure L A, Zhang Y, et al. Inflammatory markers and outcomes after lacunar stroke: Levels of inflammatory markers in treatment of stroke study [J]. *Stroke* 2016, 47(3): 659-67.

- [14] Lasek-Bal A, Jedrzejowska-Szypulka H, Student S, et al. The importance of selected markers of inflammation and blood-brain barrier damage for short-term ischemic stroke prognosis [J]. *J Physiol Pharmacol* 2019, 70(2): 209–17.
- [15] Han D, Fang W, Zhang R, et al. Clematichinenoside protects blood brain barrier against ischemic stroke superimposed on systemic inflammatory challenges through up-regulating A20 [J]. *Brain Behav Immun* 2016, 51: 56–69.

## Effects of brain-computer interface technology on balance function and serum IL-6 and TNF- $\alpha$ levels in ischemic stroke patients

Huang Ying, Bian Xinyi, Gao Peng, Hu Mengxuan, Su Junhong, Chen Hemu

(Dept of Rehabilitation, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230032)

**Abstract Objective** To observe the effects of brain-computer interface-controlled pedal training system on balance function and serum interleukin-6 (IL-6) and tumor necrosis factor- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) levels in ischemic stroke patients. **Methods** Forty patients with ischemic stroke who were hospitalized from September 2022 to September 2023 were selected as observation subjects. The patients were equally divided into stroke control group and stroke experimental group according to the random number table method. At the same time 20 healthy subjects with similar gender and age were recruited as the healthy control group to collect relevant plantar pressure data. Patients in the stroke control group received conventional rehabilitation training including the upper and lower extremity active and passive motor training system and the stroke experimental group replaced the upper and lower extremity active and passive motor training system in the stroke control group with the brain-computer interface-controlled pedal training system for rehabilitation treatment and other things remained unchanged. Bilateral plantar pressure symmetry index (SI) and center of body pressure (COP) swing area were collected from both groups of stroke patients with eyes open and closed using the plantar pressure assessment system before and after 4 weeks of treatment. Fugl-meyer lower extremity motor function score (FMA-LE) and berg balance scale (BBS) were used to evaluate the two groups of stroke patients. Serum IL-6 and TNF- $\alpha$  levels were also compared between the two groups before and after treatment. **Results** ① The SI value and COP swing area in the eyes open and closed state improved in both groups of stroke patients after treatment compared with that before admission and the results of the stroke experimental group were better than those of the stroke control group ( $P < 0.05$ ), but there was still a gap with the healthy control group ( $P < 0.05$ ). ② The BBS and FMA-LE scores of stroke patients in both groups were higher after treatment than before treatment and the scores of the stroke experimental group were greater than those of the stroke control group, with statistically significant differences (all  $P < 0.05$ ). ③ Serum IL-6 and TNF- $\alpha$  levels decreased in both groups of stroke patients after treatment compared with before and the degree of decrease in serum IL-6 and TNF- $\alpha$  levels in the stroke experimental group was greater than that in the stroke control group and the difference was statistically significant ( $P < 0.001$ ,  $P < 0.05$ ). **Conclusion** Brain-computer interface-controlled pedal training system has a facilitating effect on the recovery of balance function in hemiplegic patients with ischemic stroke and its mechanism may be related to the reduction of serum IL-6 and TNF- $\alpha$  levels.

**Key words** ischemic stroke; brain-computer interface technology; balance function; inflammatory factor; plantar pressure analysis