

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2026.04.030

# 低频 NMES 联合间歇气压治疗对脑卒中后偏瘫患者下肢运动功能的影响

刘雯絮, 张艳丽

(周口市中心医院 神经内科二病区, 河南周口 466000)

**【摘要】目的** 探讨低频神经肌肉电刺激(neuromuscular electrical stimulation, NMES)联合间歇气压治疗(intermittent pneumatic compression, IPC)对脑卒中后偏瘫患者下肢运动功能、肢体水肿及深静脉血栓(deep vein thrombosis, DVT)的影响。**方法** 选取周口市中心医院神经内科2025年1月至2026年1月收治的92例脑卒中后偏瘫患者为研究对象,随机分为对照组与联合组,最终两组各有44例完成干预及随访。两组均接受常规治疗及康复训练;对照组在此基础上加用IPC干预,联合组在此基础上叠加NMES治疗。总疗程为4周。分别于干预前后评估下肢运动功能[Fugl-Meyer下肢运动功能评定量表(Fugl-meyer assessment lower extremity, FMA-LE)]、Berg平衡量表(Berg balance scale, BBS)、Barthel指数(Barthel index, BI);同时测量患肢与健侧对应部位的周径差、血清D-二聚体(D-dimer, D-D)水平;记录随访期内DVT发生情况及治疗相关不良反应。**结果** 干预4周后,联合组FMA-LE评分、BBS评分、BI评分均显著高于对照组(均 $P<0.001$ ),患肢周径差小于对照组( $P<0.01$ ),DVT发生率、D-D水平均显著低于对照组(均 $P<0.05$ )。两组均无严重不良事件发生。**结论** 低频NMES联合IPC可显著改善脑卒中后偏瘫患者下肢运动功能,减轻患肢水肿,并降低DVT发生风险。

**【关键词】** 低频神经肌肉电刺激; 间歇气压治疗; 脑卒中偏瘫; 下肢深静脉血栓

**【中图分类号】** R743.33

**【文献标志码】** A

文章编号: 1674-1242 (2026) 04-0142-04

## Effects of low-frequency NMES combined with intermittent pneumatic compression therapy on lower limb motor function in patients with post-stroke hemiplegia

LIU Wenxu, ZHANG Yanli

(Second Ward, Department of Neurology, Zhoukou Central Hospital, Zhoukou 466000, Henan, China)

**【Abstract】Objective** To investigate the effects of low-frequency neuromuscular electrical stimulation (NMES) combined with intermittent pneumatic compression (IPC) on lower limb motor function, limb edema and deep vein thrombosis (DVT) in patients with post-stroke hemiplegia. **Methods** A total of 92 patients with post-stroke hemiplegia who were admitted to the Department of Neurology at Zhoukou Central Hospital from January 2025 to January 2026 were selected as the subjects of this study. They were randomly divided into the control group and the combined group. Eventually, 44 cases in each group completed the intervention and follow-up. Moreover, both groups receive conventional treatment and rehabilitation training, the control group was added with IPC, and the combined group was added with NMES, and the course of treatment was 4 weeks. The lower limb motor function [Fugl-Meyer assessment of lower extremity (FMA-LE) scale], Berg balance scale (BBS), and Barthel index (BI) were evaluated before and after the intervention respectively. At the same time, the difference in circumference between the affected limb and the corresponding part on the healthy side, as well as the serum level of D-dimer (D-D) were assessed. The occurrence of DVT during the follow-up period and the related adverse reactions during treatment were recorded. **Results** After 4 weeks of intervention, FMA-LE, BBS and BI scores in the combined group were higher than those in the control group (all  $P<0.001$ ), and the difference of limb circumference was less than that in the control group ( $P<0.01$ ). The occurrence of DVT and the D-dimer level in the combined group were lower than that in the control group (all  $P<0.05$ ). There were no serious adverse events in either group. **Conclusion** Low-frequency NMES combined with IPC can significantly improve lower limb motor function, reduce limb edema and reduce the risk of DVT.

收稿日期: 2026-02-01。

作者简介: 刘雯絮, 本科, 主管护师, 研究方向: 卒中后康复治疗。E-mail: 15514533871@163.com。

【Key words】 Low-frequency neuromuscular electrical stimulation; Intermittent pneumatic compression; Post-stroke hemiplegia; Deep vein thrombosis

脑卒中是我国成年人致残的首要原因,70%~80%的存活者遗留不同程度的运动功能障碍,其中下肢偏瘫最为常见。偏瘫侧肢体因肌张力异常、活动量减少及静脉回流受阻,常并发患肢水肿与下肢深静脉血栓(deep vein thrombosis, DVT),文献报道未干预的脑卒中患者 DVT 发生率可达 25.9%~70.0%<sup>[1]</sup>。间歇气压治疗(intermittent pneumatic compression, IPC)通过序贯充气压迫促进静脉回流,是神经内科预防 DVT 的常规干预手段<sup>[2]</sup>;但其对肌肉主动收缩的诱发作用有限。低频神经肌肉电刺激(neuromuscular electrical stimulation, NMES)以 20~50 Hz 电流诱发靶肌群节律性收缩,兼具“肌肉泵”促回流与运动功能重塑双重效应,近年逐渐被尝试与 IPC 联用<sup>[3]</sup>。基于此,本研究探究低频 NMES 联合 IPC 对脑卒中后偏瘫患者下肢运动功能、肢体水肿及 DVT 的影响。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

前瞻性选取周口市中心医院神经内科 2025 年 1 月至 2026 年 1 月收治的脑卒中后偏瘫患者 92 例。纳入标准:①经头颅计算机断层扫描(computed tomography, CT)/磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)证实为脑梗死或脑出血;②首次发病,或既往脑卒中未遗留明显偏瘫体征,本次发病后单侧下肢 Brunnstrom 分期 II~IV 期;③发病后 7~21 d 内病情稳定,可配合康复治疗;④年龄 40~85 岁。排除标准:①合并严重心肝肾功能不全、恶性高血压;②患肢存在 DVT、蜂窝织炎、严重动脉硬化闭塞;③体内有心脏起搏器或金属植入物(电刺激禁忌);④严重认知障碍或失语,无法配合完成功能评定;⑤预计住院时长<4 周或中途转院,无法完成随访。本研究采用分层随机化方法,以脑卒中类型(梗死/出血)和 Brunnstrom 分期(II/III/IV 期)为分层因素,层内使用随机数字表法分配,并由不参与临床评估的研究助理保管随机化序列,分组结果密封于不透光信封中,以保证两组在关键预后因素上的均衡性。最终纳入 92 例患者,按随机数字表法分为对照组与联合组,每组各 46 例。

### 1.2 方法

两组均予神经内科常规治疗(抗血小板、调脂、降压、降糖等)、体位护理(患肢抬高 15~20°)、被动关节活动及早期床旁康复训练(每日 2 次,每次 20~30 min,由康复治疗师与责任护士共同完成)。

#### 1.2.1 对照组

在常规干预基础上加用 IPC 治疗(LGT-2200S 型,广州龙之杰科技有限公司),套筒覆盖足至大腿根部,压力参数设置为 45~78 mmHg,充气 6 s、间歇 24 s(基于静脉回流时间常数 3~5 s 设定),每日累计干预时长≥12 h,总疗程 4 周;治疗期间由责任护士每班检查套筒贴合度、肢体末端血运及患者耐受情况。若出现患肢突发肿胀加重、皮温升高或局部压痛,即刻行床旁下肢静脉彩色多普勒超声检查。一旦确诊 DVT,立即停止 IPC 治疗,退出研究并按 DVT 诊疗规范处理。

#### 1.2.2 联合组

在对照组干预方案基础上加用 NMES 治疗(LGT-2320D 型,广州龙之杰医疗科技有限公司,粤械注准 20162090278)。参数设置:频率 35 Hz、脉宽 300  $\mu$ s、双相对称方波(净电荷为零),8 通道输出。5 cm×5 cm 电极片贴放于胫骨前肌(胫骨结节下 5 cm、胫骨嵴外 2 cm,间距 3 cm)、腓骨长短肌(腓骨头下 4 cm、腓骨外侧缘后 1 cm,间距 3 cm)及股四头肌外侧头(髌骨上缘上 10 cm、大腿中线外 3 cm,间距 4 cm),参考 SENIAM 协议。电流由 0 mA 起调至可见收缩且耐受为上限(一般 15~35 mA),取 1.5×运动阈值(MT);治疗前 75%乙醇擦拭皮肤,确认阻抗<5 k $\Omega$ 后开始,每 5 次治疗后移位≤2 cm 并记录阻抗。治疗频次:每次治疗 30 min,每日 1 次,5 次/周,总疗程 4 周。DVT 监测与退出标准同对照组。

### 1.3 观察指标

①下肢运动功能:分别于干预前、干预 4 周末采用 Fugl-Meyer 下肢运动功能评定量表(Fugl-Meyer assessment of lower extremity, FMA-LE)评估下肢运动功能评分(总分 0~34 分)<sup>[4]</sup>、Berg 平衡量表(Berg balance scale, BBS)(总分 0~56 分)、Barthel 指数(Barthel index, BI)(总分 0~100 分)完成下肢运动功能、平衡能力及日常活动能力评估;②患肢水肿:分别于干预前、干预 4 周末测量髌骨下 10 cm 处小腿周

径,计算患-健侧周径差,并按淤肿分级(0°无、I°<1 cm、II°1~2 cm、III°>2 cm)记录;③ DVT筛查:干预前、干预2周、干预4周末采集静脉血检测D-二聚体(D-dimer, D-D)水平;治疗期间若患者出现患肢突发肿胀加重、皮温升高或局部压痛等疑似DVT症状,干预4周末均行患侧下肢静脉彩色多普勒超声检查,记录DVT发生例数及发生部位;④ 安全性评价:记录治疗相关不良反应。

#### 1.4 统计学方法

采用SPSS 26.0软件进行数据分析。计量资料以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,组内比较采用配对 $t$ 检

验,组间比较采用独立样本 $t$ 检验;计数资料以例(%)表示,组间比较采用 $\chi^2$ 检验或Fisher精确概率法。等级资料(水肿分级)采用Mann-Whitney  $U$ 秩和检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 基线资料比较

两组患者基线资料比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$ ),具有可比性(表1)。

### 2.2 下肢功能评分比较

干预4周后,联合组FMA-LE、BBS及BI评分均显著高于对照组(均 $P<0.001$ )(表2)。

表1 两组患者基线资料比较

| 项目                           | 对照组 ( $n=46$ ) | 联合组 ( $n=46$ ) | $t/\chi^2$ | $P$   |
|------------------------------|----------------|----------------|------------|-------|
| 男/女(例)                       | 25/21          | 23/23          | 0.174      | 0.677 |
| 年龄( $\bar{x}\pm s$ , 岁)      | 63.7±8.4       | 64.2±9.1       | -0.273     | 0.786 |
| 脑卒中类型(梗死/出血, 例)              | 34/12          | 36/10          | 0.222      | 0.637 |
| 患侧(左/右, 例)                   | 24/22          | 26/20          | 0.174      | 0.677 |
| 发病至入组( $\bar{x}\pm s$ , d)   | 11.3±3.6       | 10.8±3.2       | 0.712      | 0.479 |
| Brünnstrom 下肢 II/III/IV 期(例) | 14/22/10       | 12/25/9        | 0.431      | 0.806 |

注:两组基线样本量均为46,最终各有44例完成干预及随访(两组均有2例脱落)。

表2 两组患者干预前后下肢功能评分比较( $\bar{x}\pm s$ , 分)

| 指标        | 时点       | 对照组 ( $n=44$ ) | 联合组 ( $n=44$ ) | $t$    | $P$ (组间) |
|-----------|----------|----------------|----------------|--------|----------|
| FMA-LE 评分 | 干预前      | 14.52±2.83     | 14.18±2.67     | 0.583  | 0.562    |
|           | 干预4周     | 22.07±2.94     | 26.84±3.17     | -7.236 | <0.001   |
|           | $P$ (组内) | <0.001         | <0.001         | —      | —        |
| BBS 评分    | 干预前      | 28.41±3.75     | 27.86±3.52     | 0.718  | 0.475    |
|           | 干预4周     | 36.52±4.08     | 41.36±4.52     | -5.274 | <0.001   |
|           | $P$ (组内) | <0.001         | <0.001         | —      | —        |
| BI 评分     | 干预前      | 48.36±5.84     | 49.12±6.03     | -0.598 | 0.551    |
|           | 干预4周     | 64.25±5.87     | 72.18±6.43     | -6.024 | <0.001   |
|           | $P$ (组内) | <0.001         | <0.001         | —      | —        |

注:FMA-LE: Fugl-Meyer 下肢运动功能评定量表;BBS: Berg 平衡量表;BI: Barthel 指数。

### 2.3 患肢水肿指标比较

干预前两组髌骨下10 cm周径差比较差异无统计学意义( $P=0.695$ );干预4周后,联合组周径差显

著小于对照组( $P<0.001$ )。干预4周后联合组无III度水肿患者,I度及以下比例高于对照组( $P<0.05$ )(表3)。

表3 两组患者干预前后患肢水肿指标比较

| 指标                                | 时点   | 对照组 ( $n=44$ ) | 联合组 ( $n=44$ ) | $t$   | $P$ (组间) |
|-----------------------------------|------|----------------|----------------|-------|----------|
| 髌骨下10 cm周径差( $\bar{x}\pm s$ , cm) | 干预前  | 2.14±0.58      | 2.09±0.61      | 0.394 | 0.695    |
|                                   | 干预4周 | 1.37±0.42      | 0.82±0.31      | 7.042 | <0.001   |
| 水肿分级(0度/I度/II度/III度, 例)           | 干预前  | 0/8/24/12      | 0/9/23/12      | —     | 0.951*   |
|                                   | 干预4周 | 6/18/16/4      | 14/22/8/0      | —     | 0.008*   |

注:\*Mann-Whitney  $U$ 秩和检验。

### 2.4 D-D水平与DVT发生情况

干预前两组D-D水平无显著差异( $P=0.471$ )。

干预2周、4周后,联合组D-D水平均显著低于同期对照组( $P<0.001$ )。DVT检出方面,干预4周后联合

组 DVT 发生率显著低于对照组 ( $P=0.044$ ); 两组均无肺栓塞及严重出血事件发生(表 4)。

表 4 两组 D-D 水平与 DVT 发生情况比较

| 项目                                        | 对照组 ( $n=44$ )     | 联合组 ( $n=44$ )     | $t/\chi^2$ | $P$    |
|-------------------------------------------|--------------------|--------------------|------------|--------|
| D-D ( $\bar{x} \pm s$ , $\mu\text{g/L}$ ) |                    |                    |            |        |
| 干预前                                       | 1084.6 $\pm$ 312.7 | 1037.2 $\pm$ 298.4 | 0.724      | 0.471  |
| 干预 2 周                                    | 762.3 $\pm$ 187.5  | 587.4 $\pm$ 156.2  | 4.783      | <0.001 |
| 干预 4 周                                    | 497.6 $\pm$ 134.2  | 368.4 $\pm$ 112.7  | 4.926      | <0.001 |
| 干预 4 周 DVT 检出 [例 (%)]                     | 6 (13.64)          | 2 (4.55)           | 4.062      | 0.044  |
| DVT 部位 (胫后/腓/腘/股, 例)                      | 3/2/1/0            | 1/1/0/0            | —          | —      |
| 不良事件 (皮肤红痒/疼痛/其他, 例)                      | 3/1/0              | 4/2/0              | —          | >0.05  |

注: D-D: D-二聚体; DVT: 深静脉血栓。

### 3 讨论

脑卒中后偏瘫侧下肢 DVT 高发, 其发生机制涉及静脉淤滞、内皮损伤与血液高凝状态共同构成的“Virchow 三联征”, 偏瘫肢体制动使肌肉泵失效进一步加剧淤滞<sup>[5]</sup>。IPC 序贯充气压迫模拟“肌肉泵”是神经内科预防 DVT 的 I 级推荐护理手段<sup>[6]</sup>; NMES 低频电流兴奋  $\alpha$  运动神经元, 诱发靶肌群节律性收缩, 兼具“肌肉泵”促回流与神经功能重塑双重作用<sup>[7]</sup>, 二者联用可形成“血流动力学改善+神经功能重塑”的协同干预通路, 是本研究复合干预模式的理论支点<sup>[8]</sup>。本研究结果显示, 联合组 FMA-LE、BBS、BI 三项评分均高于对照组, 研究样本聚焦神经内科护理主导场景, 纳入人群为 Brunnstrom 分期 II ~ IV 期的亚急性期脑卒中患者。水肿指标上周径差联合组由 2.09 cm 降至 0.82 cm, 优于对照组的 1.37 cm, 提示电刺激诱发胫骨前肌等节律收缩叠加 IPC 外压产生踝泵“被动+主动”协同引流效应, 亦解释联合组 D-D 下降更显著。联合组 DVT 发生率显著低于对照组, 与文献报道<sup>[9-10]</sup>一致, 提示复合干预模式对 DVT 防控有一定增量价值。

IPC 操作方面, 两组均严格执行统一的 IPC 干预参数: 压力设置 45 ~ 78 mmHg、充气时长 6 s、间歇时长 24 s, 两组干预参数、作用时长完全一致, 有效控制干预混杂因素, 保障研究基线均衡可靠; NMES 设置频率 35 Hz、脉宽 300  $\mu\text{s}$ , 刺激强度以患肢出现可见肌肉收缩且患者可耐受为上限, 遵循电刺激治疗避免超限激活的安全原则。研究全程所有患者均未因疼痛中断干预, 表明该参数窗安全性良好。

综上, 低频 NMES 联合 IPC 的复合干预模式可显

著改善脑卒中后偏瘫患者下肢运动功能、减轻患肢水肿, 并降低 DVT 发生风险, 适合在神经内科康复场景中推广。本研究仍存在一定局限性: 作为单中心研究, 仅随访至干预 4 周末且未分层分析梗死/出血亚型及 Brunnstrom 分期异质性响应, 建议后续开展多中心研究进一步探讨。

### 参考文献

- [1] GOSHGARIAN C, Gorelick P B. DVT Prevention in Stroke[J]. Curr Neurol Neurosci Rep, 2017, 17(10):81.
- [2] 王燕, 王爱丽, 李保兰. 空气压力波联合护理干预对预防脑卒中偏瘫患者下肢深静脉血栓形成的影响[J]. 激光杂志, 2013, 34 (5): 81-82.
- [3] 徐敏, 王姣姣. 低频脉冲电刺激疗法联合康复锻炼对脑卒中后偏瘫患者肢体运动功能的改善作用分析[J]. 现代医学与健康研究电子杂志, 2026, 10 (3): 139-141.
- [4] 鲍文, 陈和木, 高晓平. 脑卒中患者运动功能评定方法的研究现状及发展趋势[J]. 安徽医药, 2011, 15 (4): 502-505.
- [5] PENG J, LONG S, FENG L. Deep Vein Thrombosis Prevention in Acute Ischemic Stroke Patients with Lower Limb Paralysis: A Narrative Review[J]. J Clin Med, 2026, 15(6):2091.
- [6] HAYKAL T, ZAYED Y, DHILLON H, et al. Meta-analysis of the role of intermittent pneumatic compression of the lower limbs to prevent venous thromboembolism in critically ill patients[J]. Int J Low Extrem Wounds, 2022, 21(1):31-40.
- [7] 赵焕, 殷其勇, 陈和木, 等. 经颅超声刺激联合低频神经肌肉电刺激对脑卒中患者认知和运动功能的改善作用[J]. 中华行为医学与脑科学杂志, 2025, 34 (1): 36-42.
- [8] 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. 中国急性缺血性卒中诊治指南 2023[J]. 中华神经科杂志, 2024, 57 (6): 523-559.
- [9] CHEN X, WANG Y, JIA R, et al. Intermittent pneumatic compression (IPC) combined with an electric stimulator in the prevention of venous thromboembolism in stroke patients[J]. Am J Transl Res, 2021, 13(9):10837-10842.