

## 智能机器人步态模拟训练联合呼吸训练对脑卒中患者的影响

李宁远, 张羽, 刘莉, 张玲玲, 高黎明, 杨文洁

(南京医科大学附属脑科医院康复医学科 江苏 南京 210000)

**摘要** **目的:** 分析智能机器人步态模拟训练联合呼吸训练对脑卒中患者下肢运动功能和日常生活活动能力的影响。**方法:** 选取 2022 年 1 月—2024 年 1 月于南京医科大学附属脑科医院康复医学科收治的 120 例脑卒中患者, 随机分为呼吸组、智能机器人组和联合训练组, 每组各 40 例。三组均采用常规康复治疗, 呼吸组进行呼吸训练; 智能机器人组进行智能机器人步态模拟训练; 联合训练组进行呼吸训练联合智能机器人步态模拟训练。评估三组患者的 Fugl-Meyer 下肢运动功能量表 (FMA-LE) 评分、Berg 平衡量表 (BBS) 评分、步态参数及日常生活活动能力评估量表 (ADL) 评分。**结果:** 治疗 8 周后, 三组患者的 FMA-LE 评分、BBS 评分、步态参数及 ADL 评分均升高, 且呼吸组 < 智能机器人组 < 联合组 ( $P < 0.05$ )。FMA-LE 评分、BBS 评分、步态参数及 ADL 评分在时点和组别上存在交互作用 ( $P < 0.05$ )。**结论:** 与单独采用呼吸训练或智能机器人步态模拟训练相比, 智能机器人步态模拟训练联合呼吸训练能够更有效地改善脑卒中患者的下肢运动功能和日常生活活动能力。

**关键词** 智能机器人步态模拟训练; 呼吸训练; 脑卒中; 下肢运动功能; 生活质量

**中图分类号** R743.3 R681.8 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 05-0723-06

## Effect of intelligent robot-assisted gait simulation training combined with respiratory training on stroke patients

LI Ningyuan, ZHANG Yu, LIU Li, ZHANG Lingling, GAO Liming, YANG Wenjie

(Department of Rehabilitation Medicine, the Affiliated Brain Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210000, China)

**Abstract** **Objective:** To analyze the effect of combining intelligent robot-assisted gait simulation training with respiratory training on lower limb motor function and activities of daily living (ADL) in stroke patients. **Methods:** 120 stroke patients who were treated at the Department of Rehabilitation Medicine, the Affiliated Brain Hospital of Nanjing Medical University from January 2022 to January 2024 were enrolled. They were randomly divided into the respiratory training group ( $n = 40$ ), robot-assisted group ( $n = 40$ ), and combined training group ( $n = 40$ ). All patients received conventional rehabilitation therapy. The respiratory training group underwent respiratory training, the robot-assisted group received intelligent robot-assisted gait simulation training, and the combined training group were given intelligent robot-assisted gait simulation training combined with respiratory training. Outcomes were assessed using the Fugl-Meyer assessment for lower extremity (FMA-LE), Berg balance scale (BBS), gait parameters, and ADL scores. **Results:** After 8 weeks of treatment, improvements in FMA-LE, BBS, gait parameters, and ADL scores were found in all the three groups of patients, with the following ranking of respiratory training group < robot-assisted group < combined training group ( $P < 0.05$ ). Significant interaction effects between timepoints and groups were observed for FMA-LE, BBS, gait parameters, and ADL scores ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** Compared to standalone respiratory training or robot-assisted gait simulation training, the combined approach can more effectively enhance lower limb motor function, and ADL capability in stroke patients.

**Key words** Intelligent Robot-assisted Gait Simulation Training; Respiration Training; Stroke; Lower Limb Motor Function; Quality of Life

近年来, 我国脑卒中发病率持续上升, 尤其在 40~70 岁年龄段, 标准化发病率年增长显著<sup>[1]</sup>。这一严峻的健康挑战不仅给患者带来了沉重的身心压力, 也对公共卫生体系构成了重大威胁。脑卒中急性期后, 高达 70%~80% 的患者遗留各类功能障碍, 其中单侧肢体障碍最为常见<sup>[2-3]</sup>。当前, 脑卒中后下肢运动功能的康复策略多以简单动作的重复训练为主, 但该过程较为单一, 针对性不足<sup>[4]</sup>。为取得更

**基金项目:** 2022 年江苏省卫健委医学科研重点项目 (ZD2022030)

**Foundation Item:** Medical Research Key Project of Jiangsu Provincial Health Commission in 2022 (ZD2022030)

**引用格式:** 李宁远, 张羽, 刘莉, 等. 智能机器人步态模拟训练联合呼吸训练对脑卒中患者的影响 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2025, 6(5): 723-728.

**Citation:** LI N Y, ZHANG Y, LIU L, et al. Effect of intelligent robot-assisted gait simulation training combined with respiratory training on stroke patients[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(5): 723-728.

**通讯作者 (Corresponding Author):** 张羽 (ZHANG Yu), Email: 13770695971@126.com

佳的临床康复效果，通常需要结合多种康复方法，构建更为综合和系统的康复方案。智能机器人步态训练系统通过模拟正常的步态模式，精确控制患者的下肢运动，促进神经系统重塑，从而改善下肢运动功能，提升步行速度和稳定性。该系统能够提供个性化的训练方案，根据患者的具体情况进行调整，确保训练的有效性和安全性<sup>[5-6]</sup>。呼吸训练系统则可以通过一系列呼吸练习，增强患者的呼吸肌肉功能，改善呼吸模式，提高肺活量，有助于减轻患者因运动而产生的呼吸困难，进一步提高整体运动能力和生活质量<sup>[7-8]</sup>。鉴于此，本研究探究智能机器人步态模拟训练联合呼吸训练对脑卒中患者运动功能和日常生活活动能力的潜在影响，旨在为脑卒中患者的康复治疗提供新的视角和策略，以期为提高其生存质量贡献学术价值。

1 资料与方法

**1.1 一般资料** 选取 2022 年 1 月—2024 年 1 月于南京医科大学附属脑科医院康复医学科收治的 120 例脑卒中患者为研究对象，随机分为呼吸组、智能机器人组和联合治疗组，每组各 40 例。纳入标准：①符合脑卒中的相关诊断标准<sup>[9]</sup>；②年龄 40~70 岁；③为首发脑卒中，且病程在 3 个月以内；④存在单侧肢体运动功能障碍；⑤意识清晰，能够理解和配合研究人员进行康复训练。排除标准：①非脑卒中导致的单侧肢体运动功能障碍；②合并有心、肝、肾等重要脏器功能障碍者；③存在严重认知功能障碍；④存在其他可能影响康复训练效果的并发症，如严重感染、肿瘤等；⑤存在 Flexbot-s 智能机器人使用禁忌证。三组患者一般资料比较，差异无统计学意义（ $P>0.05$ ），具有可比性（见表 1）。本研究通过南京医科大学附属脑科医院伦理委员会批准

（审批号：2022-KY060-01）。

**1.2 方法** 三组均采用常规康复治疗方案。康复师团队指导患者正确摆放患侧肢体，确保处于功能位，定期教授并辅助患者变换体位，以提高身体适应性和舒适度。此外，治疗方案还包括每日 1 次的关节活动度训练、体位转移练习、平衡功能提升、肌力强化、膝关节稳定性控制以及躯干与髋关节的功能恢复训练。每次训练时长为 60 min，每周进行 5 d，持续 8 周。

呼吸组在常规康复治疗方案的基础上结合呼吸训练。呼吸训练主要包括缩唇呼吸、呼吸肌强化、膈肌锻炼及胸廓活动度提升。缩唇呼吸需紧闭双唇，鼻吸口呼，每次持续 3 min，每日 2 次。通过吹气球练习强化呼吸肌，每次 5 min，每日 3 次。膈肌锻炼取仰卧抬头位，于脐部放置沙袋（从 1 kg 逐渐增至 3 kg）进行腹式呼吸，每次 5 min，每日 3 次。胸廓训练取仰卧位，轻度屈髋屈膝，康复人员于肋间肌施压，指导患者慢深呼吸，吸气加阻，呼气助缩，每次间歇 1 min，每日 15 次。训练计划持续 8 周。

智能机器人组在常规康复治疗方案的基础上结合 Flexbot-s 智能机器人步态模拟训练。治疗前，康复人员精确测量患者下肢长度，并详细解释治疗方案及注意事项，如治疗前禁食、禁烟酒，停用洋地黄类药物 3 周以上，感冒或急性感染患者暂缓治疗等。治疗过程中，康复人员协助患者穿戴减重马甲，调整站立姿势，设定步速为 35 步/分钟，步幅 35 cm，髋膝踝缩放比 80%，减重比例为患者体重的 40%（如图 1）。Flexbot-s 智能机器人能够根据患者实时反馈自动调整步态模式和参数。康复人员全程密切关注患者反应，若发现异常立即停止治疗并采取急救措施。治疗室内配备齐全急救医疗设备和药

表 1 三组患者一般资料比较 [ $\bar{x} \pm s, n(\%)$ ]

Table 1 Comparison of general data among the three groups of patients [ $\bar{x} \pm s, n(\%)$ ]

| 指标                        |    | 呼吸组 (n=40)   | 智能机器人组 (n=40) | 联合组 (n=40)   | $F/\chi^2$ 值 | P 值   |
|---------------------------|----|--------------|---------------|--------------|--------------|-------|
| 年龄 (岁)                    |    | 65.70 ± 6.05 | 65.35 ± 6.23  | 65.49 ± 6.09 | 0.036        | 0.965 |
| 性别                        | 男  | 23 ( 57.50 ) | 24 ( 60.00 )  | 22 ( 55.00 ) | 0.205        | 0.903 |
|                           | 女  | 17 ( 42.50 ) | 16 ( 40.00 )  | 18 ( 45.00 ) |              |       |
| BMI ( kg/m <sup>2</sup> ) |    | 22.20 ± 2.07 | 22.08 ± 2.03  | 22.09 ± 2.11 | 0.046        | 0.956 |
| 病程 ( d )                  |    | 35.28 ± 6.76 | 35.78 ± 6.89  | 34.90 ± 6.99 | 0.162        | 0.850 |
| 偏瘫侧                       | 左侧 | 18 ( 45.00 ) | 20 ( 50.00 )  | 21 ( 52.50 ) | 0.467        | 0.792 |
|                           | 右侧 | 22 ( 55.00 ) | 20 ( 50.00 )  | 19 ( 47.50 ) |              |       |



图1 智能机器人步态模拟训练示意图  
Figure 1 Schematic diagram of intelligent robot-assisted gait simulation training

品，确保治疗安全。训练计划持续8周。

联合训练组在常规康复治疗方案的基础上同时结合呼吸训练和智能机器人步态模拟训练，训练方法如上。所有训练均由同一康复师团队进行。训练计划持续8周。

**1.3 观察指标** ① Fugl-Meyer 下肢运动功能评估量表 (Fugl-Meyer Assessment for Lower Extremity, FMA-LE)<sup>[10]</sup>：于治疗前和治疗8周后进行评估，主要评估患者下肢的多个关节和肌肉活动。治疗师指导患者完成17项下肢动作，如髋关节屈曲、膝关节屈曲、踝关节背屈等，并根据患者完成情况给予0~2分的评分。0分表示无法完成动作，1分表示部分完成，2分表示充分完成。总分为34分，得分越高提示患者下肢运动功能越好。② Berg 平衡量表 (Berg Balance Scale, BBS)<sup>[11]</sup>：于治疗前和治疗8周后进行评估，共包含简单坐立、站立到复杂行走、转身和单脚站立等14项评估项目。治疗师指导患者尝试完成每项任务，并根据患者完成情况给予0~4分的评分。0分表示无法完成，4分表示能够独立完成。总分为56分，得分越高提示患者平衡能力越高。③步态参数：于治疗前和治疗8周后采用 Flexbot-s

步态训练系统进行测量。首先进行系统校准与传感器放置。患者在系统的引导下行走，系统实时采集步长 (单步行进距离)、步宽 (左右足跟间距离)、步频 (单位时间迈步次数) 及步速 (单位时间行进距离) 等数据，通过内置传感器与数据处理模块，生成步态分析报告。④日常生活活动能力评估量表 (Activity of Daily Living, ADL)<sup>[12]</sup>：于治疗前和治疗8周后进行评估，治疗师采用 Barthel 指数评估患者日常生活活动能力，分为完全依赖、较大依赖、稍微依赖、完全独立4级。总分为100分，分数越高提示患者的日常生活活动能力越好。

**1.4 统计学方法** 采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。计数数据以例数 (百分比)  $[n (%)]$  表示，行  $\chi^2$  检验；计量数据先经 S-W 检验判断正态性，若符合正态分布则使用均数  $\pm$  标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示，行  $t$  检验或重复测量方差分析，事后两两比较采用 LSD 法；不符合正态分布则采用四分位数  $[M (P25, P75)]$  表示，行  $Z$  检验。以  $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 FMA-LE 评分** 治疗前三组患者 FMA-LE 评分比较，差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。治疗8周后，三组患者 FMA-LE 评分均升高，且呼吸组  $<$  智能机器人组  $<$  联合组，差异具有统计学意义 ( $P < 0.05$ )；FMA-LE 在时点和组别上存在交互作用，差异具有统计学意义 ( $P < 0.05$ )，见表2。

**2.2 BBS 评分** 治疗前三组患者 BBS 评分比较，差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。治疗8周后，三组患者 BBS 评分均升高，且呼吸组  $<$  智能机器人组  $<$  联合组，差异具有统计学意义 ( $P < 0.05$ )；BBS 评分

表2 三组患者 FMA-LE 评分比较 ( $\bar{x} \pm s$ )  
Table 2 Comparison of FMA-LE scores among the three groups of patients ( $\bar{x} \pm s$ )

| 指标    | 呼吸组<br>( $n=40$ )                                                   | 智能机器人组<br>( $n=40$ )           | 联合组<br>( $n=40$ )               |
|-------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 治疗前   | 18.03 $\pm$ 2.85                                                    | 18.38 $\pm$ 2.69               | 18.15 $\pm$ 2.84                |
| 治疗8周后 | 23.60 $\pm$ 3.24 <sup>a</sup>                                       | 25.68 $\pm$ 3.45 <sup>ab</sup> | 27.53 $\pm$ 3.44 <sup>abc</sup> |
| $F$ 值 | $F_{\text{组间}}=7.877, F_{\text{时点}}=380.152, F_{\text{交互}}=8.340$   |                                |                                 |
| $P$ 值 | $P_{\text{组间}}=0.001, P_{\text{时点}} < 0.001, P_{\text{交互}} < 0.001$ |                                |                                 |

注：与治疗前相比，<sup>a</sup> $P < 0.05$ ；与呼吸组相比，<sup>b</sup> $P < 0.05$ ；与智能机器人组相比，<sup>c</sup> $P < 0.05$

在时点和组别上存在交互作用,差异具有统计学意义 ( $P<0.05$ ),见表3。

**2.3 步态参数** 治疗前三组患者步态参数比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ )。治疗8周后,三组患者步长、步宽、步频、步速均升高,且呼吸组<智能机器人组<联合组,差异具有统计学意义 ( $P<0.05$ );步长、步宽、步频、步速在时点和组别上存在交互作用,差异具有统计学意义 ( $P<0.05$ ),见表4。

**2.4 ADL 评分** 治疗前三组患者 ADL 评分比较,差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。治疗8周后,三组患者 ADL 评分均升高,且呼吸组<智能机器人组<联合组,差异具有统计学意义 ( $P<0.05$ );ADL 评分在时点和组别上存在交互作用,差异具有统计学意义 ( $P<0.05$ ),见表5。

合组,差异具有统计学意义 ( $P<0.05$ );ADL 评分在时点和组别上存在交互作用,差异具有统计学意义 ( $P<0.05$ ),见表5。

### 3 讨论

脑卒中是一种常见的神经系统疾病,其高致残率和高复发率对患者的身心健康构成极大威胁<sup>[13]</sup>。在康复治疗中,如何有效改善患者的运动功能、平衡能力和日常生活活动能力,一直是临床医生和研究人员关注的焦点<sup>[14]</sup>。近年来,随着科技的进步和康复医学的发展,智能机器人步态模拟训练和呼吸训练逐渐成为脑卒中康复治疗的重要手段<sup>[15-16]</sup>。既往研究认为,两者结合能够显著提高患者的康复效果,特别是在改善运动功能、平衡能力和日常生活活动能力方面<sup>[17-18]</sup>。Park Y H 等人<sup>[19]</sup>研究表明,呼吸训练能够增强患者的核心肌群力量,提高身体稳定性,从而有助于步态训练的顺利进行。而 ZHANG Y T 等人<sup>[20]</sup>指出,智能机器人步态模拟训练通过精确模拟步态,促进患者神经肌肉的重新适应和协调,两者相辅相成,共同推动了患者的全面康复。尽管越来越多的同类研究开始关注智能机器人步态模拟训练与呼吸训练在脑卒中康复中的作用,但很少将

表 3 三组患者 BBS 评分比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

Table 3 Comparison of BBS scores among the three groups of patients ( $\bar{x} \pm s$ )

| 指标      | 呼吸组<br>( $n=40$ )                                                   | 智能机器人组<br>( $n=40$ )       | 联合组<br>( $n=40$ )           |
|---------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 治疗前     | 26.73 ± 3.95                                                        | 26.93 ± 3.74               | 27.10 ± 3.60                |
| 治疗 8 周后 | 30.25 ± 3.03 <sup>a</sup>                                           | 33.38 ± 3.58 <sup>ab</sup> | 38.40 ± 3.39 <sup>abc</sup> |
| $F$ 值   | $F_{\text{组间}}=25.920, F_{\text{时点}}=272.385, F_{\text{交互}}=27.841$ |                            |                             |
| $P$ 值   | $P_{\text{组间}}<0.001, P_{\text{时点}}<0.001, P_{\text{交互}}<0.001$     |                            |                             |

注:与治疗前相比,<sup>a</sup> $P<0.05$ ;与呼吸组相比,<sup>b</sup> $P<0.05$ ;与智能机器人组相比,<sup>c</sup> $P<0.05$

表 4 三组患者步态参数比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

Table 4 Comparison of gait parameters among three groups of patients ( $\bar{x} \pm s$ )

| 指标        | 呼吸组 ( $n=40$ ) | 智能机器人组 ( $n=40$ )                                                   | 联合组 ( $n=40$ )             |
|-----------|----------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 步长 (cm)   | 治疗前            | 23.55 ± 5.82                                                        | 23.55 ± 5.78               |
|           | 治疗 8 周后        | 29.23 ± 5.95 <sup>a</sup>                                           | 34.18 ± 6.14 <sup>ab</sup> |
|           | $F$ 值          | $F_{\text{组间}}=10.985, F_{\text{时点}}=192.577, F_{\text{交互}}=11.871$ |                            |
|           | $P$ 值          | $P_{\text{组间}}<0.001, P_{\text{时点}}<0.001, P_{\text{交互}}<0.001$     |                            |
| 步宽 (cm)   | 治疗前            | 10.23 ± 2.06                                                        | 10.25 ± 2.28               |
|           | 治疗 8 周后        | 13.38 ± 3.37 <sup>a</sup>                                           | 15.25 ± 3.51 <sup>ab</sup> |
|           | $F$ 值          | $F_{\text{组间}}=25.584, F_{\text{时点}}=218.002, F_{\text{交互}}=20.130$ |                            |
|           | $P$ 值          | $P_{\text{组间}}<0.001, P_{\text{时点}}<0.001, P_{\text{交互}}<0.001$     |                            |
| 步频 (步/秒)  | 治疗前            | 1.09 ± 0.10                                                         | 1.08 ± 0.09                |
|           | 治疗 8 周后        | 1.26 ± 0.09 <sup>a</sup>                                            | 1.38 ± 0.09 <sup>ab</sup>  |
|           | $F$ 值          | $F_{\text{组间}}=74.891, F_{\text{时点}}=632.622, F_{\text{交互}}=64.695$ |                            |
|           | $P$ 值          | $P_{\text{组间}}<0.001, P_{\text{时点}}<0.001, P_{\text{交互}}<0.001$     |                            |
| 步速 (cm/s) | 治疗前            | 24.11 ± 5.22                                                        | 23.93 ± 4.99               |
|           | 治疗 8 周后        | 28.30 ± 4.28 <sup>a</sup>                                           | 31.51 ± 4.61 <sup>ab</sup> |
|           | $F$ 值          | $F_{\text{组间}}=20.419, F_{\text{时点}}=178.195, F_{\text{交互}}=17.906$ |                            |
|           | $P$ 值          | $P_{\text{组间}}<0.001, P_{\text{时点}}<0.001, P_{\text{交互}}<0.001$     |                            |

注:与治疗前相比,<sup>a</sup> $P<0.05$ ;与呼吸组相比,<sup>b</sup> $P<0.05$ ;与智能机器人组相比,<sup>c</sup> $P<0.05$

表5 三组患者 ADL 评分比较 ( $\bar{x} \pm s$ )  
Table 5 Comparison of ADL scores among the three groups of patients ( $\bar{x} \pm s$ )

| 指标         | 呼吸组<br>( <i>n</i> =40)                                                                           | 智能机器人组<br>( <i>n</i> =40)  | 联合组<br>( <i>n</i> =40)      |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 治疗前        | 56.68 ± 7.87                                                                                     | 57.03 ± 8.07               | 56.88 ± 8.01                |
| 治疗 8 周后    | 65.30 ± 7.19 <sup>a</sup>                                                                        | 70.15 ± 7.44 <sup>ab</sup> | 75.05 ± 7.00 <sup>abc</sup> |
| <i>F</i> 值 | <i>F</i> <sub>组间</sub> = 8.811, <i>F</i> <sub>时点</sub> = 178.388, <i>F</i> <sub>交互</sub> = 7.663 |                            |                             |
| <i>P</i> 值 | <i>P</i> <sub>组间</sub> < 0.001, <i>P</i> <sub>时点</sub> < 0.001, <i>P</i> <sub>交互</sub> = 0.001   |                            |                             |

注：与治疗前相比，<sup>a</sup>*P* < 0.05；与呼吸组相比，<sup>b</sup>*P* < 0.05；与智能机器人组相比，<sup>c</sup>*P* < 0.05

两者协同运用于脑卒中患者康复训练中<sup>[21-22]</sup>。

本研究结果显示，无论是单独采用呼吸训练、智能机器人步态模拟训练，还是两者联合治疗，均能有效提升患者的 FMA-LE 评分、BBS 评分、步态参数以及 ADL 评分。这一发现肯定了康复治疗在脑卒中患者恢复过程中的积极作用，同时也强调了智能机器人技术和呼吸训练在促进患者功能恢复中的潜力。具体而言，FMA-LE 评分作为评估下肢运动功能的重要指标，其提升反映了患者下肢肌肉力量、协调性和运动模式的改善<sup>[23]</sup>。BBS 评分的提高则表明患者在平衡控制方面取得了显著进步<sup>[24]</sup>。步长增加、步宽适中、步频加快和步速提升等步态参数的改善，共同促进了患者行走能力的恢复<sup>[25]</sup>。ADL 评分的提升则直接体现了患者在日常生活自理能力上的进步，这对提高患者的生活质量具有重要意义<sup>[26]</sup>。联合组在治疗脑卒中患者时表现出更为显著的疗效，主要得益于智能机器人步态模拟训练与呼吸训练的协同作用。其机制可能是<sup>[27-30]</sup>：一方面，智能机器人步态模拟训练通过精确模拟正常的步态模式，为患者提供了一个稳定且可重复的康复环境。这种训练模式不仅有助于重新构建患者的运动神经通路，促进下肢功能恢复，还能通过反复练习，提高患者的步行能力和平衡能力。此外，智能机器人训练系统能够根据患者情况和康复进展，灵活调整训练参数，确保每位患者都能接受最适合的个性化治疗。这种高度个性化的治疗策略，显著提高了训练的针对性和有效性。另一方面，呼吸训练在康复治疗中也发挥着重要作用。系统性的呼吸训练显著改善了患者的呼吸功能，这不仅增强了患者的整体体能和耐力，还为后续的步态训练奠定了更为坚实的生理基础。同时，呼吸训练还有助于提高患者的肺功能和心血管功能，进一步促进其全面康

复。智能机器人步态模拟训练与呼吸训练的有机结合，实现了从生理到功能的全方位康复，这种协同作用不仅体现在短期疗效上，还可能对长期康复产生积极影响。

尽管本研究取得了一定的成果，但仍存在一些局限性。例如，本研究样本量相对有限，可能在一定程度上影响了结果的普遍性和适用性。此外，本研究主要关注短期疗效，对于长期疗效的评估尚显不足。未来应进一步扩大样本量，延长观察时间，以更全面地评估联合治疗的疗效和安全性。

综上所述，智能机器人步态模拟训练联合呼吸训练在脑卒中康复中展现出显著疗效，不仅促进了患者运动功能的恢复，还提高了日常生活活动能力。未来应进一步扩大样本量，延长观察时间，并探索最佳训练组合方式，以优化治疗方案，提高患者的康复质量。

**利益冲突声明：**本文不存在任何利益冲突。

**作者贡献声明：**李宁远负责设计论文框架，起草论文，论文修改；高黎明、杨文洁负责实验操作，研究过程的实施；刘莉、张玲玲负责数据收集，统计学分析，绘制图表；张羽负责拟定写作思路，指导撰写文章并最后定稿。

参考文献

[1] ZHAO Y, HUA X, REN X W, et al. Increasing burden of stroke in China: a systematic review and meta-analysis of prevalence, incidence, mortality, and case fatality[J]. *Int J Stroke*, 2023, 18(3): 259–267.

[2] 史卫卫, 韦琴, 赵晶晶, 等. 2018–2019 年河北省居民脑卒中发病流行病学特征分析 [J]. *中国慢性病预防与控制*, 2023, 31(4): 274–277.

[3] 盛译萱, 常辉, 王志永, 等. 肌肉协同理论在脑卒中上肢康复中的研究进展 [J]. *机器人*, 2024, 46(3): 370–384.

[4] QU H, ZENG F X, TANG Y B, et al. The clinical effects of brain-computer interface with robot on upper-limb function for post-stroke rehabilitation: a meta-analysis and systematic review[J]. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 2024, 19(1): 30–41.

[5] Cao S, Ko M, Li C Y, et al. Single-belt versus split-belt: intelligent treadmill control via microphase gait capture for poststroke rehabilitation[J]. *IEEE Trans Hum Mach Syst*, 2023, 53(6): 1006–1016.

[6] ZHANG Y S, ZHANG K, HUANG L, et al. The effects of respiratory muscle training on respiratory function and functional capacity in patients with early stroke: a meta-analysis[J]. *Eur Rev Aging Phys Act*, 2024, 21(1): 4.

[7] 戈武杨, 冯文. 本体感觉神经肌肉促进疗法模式下的呼吸训练前后脑卒中患者疲劳程度与肺功能及呼吸力学指标的相关性分析 [J]. *中国康复医学杂志*, 2022, 37(2): 244–247.

[8] 高晶晶, 程鹤. 呼吸训练对脑卒中患者上肢功能及平衡能力的影响 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2024, 46(9): 786–790.

[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. 中国急性缺血性卒中诊治指南 2023[J]. *中华神经科杂志*, 2024, 57(6): 523–559.

[10] de Menezes K K P, Scianni A A, Avelino P R, et al. Balance deficit is the domain of the Fugl-Meyer scale that best explain limitations in functional independence during hospitalization after a stroke[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2023, 32(12): 107386.

[11] Simon A, Gyombolai Z, Kubik A Z, et al. Cross-cultural validation of the Berg balance scale to assess balance among Hungarian institutionalised

- older adults[J]. Disabil Rehabil, 2024, 46(13): 2918–2925.
- [12] Rose Sin Yi L, Jing Jing S, Hammada A O, et al. Effects of virtual reality-based cognitive interventions on cognitive function and activity of daily living among stroke patients: Systematic review and meta-analysis[J]. J Clin Nurs, 2024, 33(3): 1169–1184.
- [13] 刘丹, 李文志. 缺血性脑卒中的中医治疗的研究进展[J]. 心血管康复医学杂志, 2023, 32(6): 625–628.
- [14] 王琳, 严婷婷, 司芬. 基于慢性疾病轨迹模式的脑卒中患者康复管理实践与效果评价[J]. 中国护理管理, 2024, 24(6): 856–861.
- [15] 熊桃, 谭雪梅, 罗静, 等. 脑卒中患者康复动机评估工具的研究进展[J]. 中华护理杂志, 2024, 59(7): 890–896.
- [16] 张海泉, 胡川, 王欣. 智能机器人步态模拟训练结合悬吊运动对脑卒中早期下肢运动功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2024, 39(6): 798–803.
- [17] 严小青, 李玉静, 李怡璇, 等. 机器人辅助步态训练对脑卒中患者步行功能康复效果的范围综述[J]. 医疗卫生装备, 2024, 45(7): 105–111.
- [18] 王壮, 王铁钊, 丘世因, 等. 脑卒中上肢康复机器人研究进展[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2023, 23(1): 15–21.
- [19] Park Y H, Lee D H, Lee J H. A comprehensive review: robot-assisted treatments for gait rehabilitation in stroke patients[J]. Medicina (Kaunas), 2024, 60(4): 620.
- [20] ZHANG Y T, ZHAO W W, WAN C L, et al. Exoskeleton rehabilitation robot training for balance and lower limb function in sub-acute stroke patients: a pilot, randomized controlled trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2024, 21(1): 98.
- [21] 安丹蕾, 季宇宣, 张瀚之, 等. 下肢康复训练机器人联合等速肌力训练对老年脑卒中偏瘫患者神经功能、步行能力、Lovett 肌力分级及平衡能力的影响[J]. 临床和实验医学杂志, 2024, 23(4): 377–381.
- [22] 邓丽云, 钱雪, 糜盘英, 等. 下肢康复机器人整合运动想象在 Pusher 综合征中的应用[J]. 现代科学仪器, 2024, 41(4): 57–61.
- [23] 盛译萱, 常辉, 王志永, 等. 肌肉协同理论在脑卒中上肢康复中的研究进展[J]. 机器人, 2024, 46(3): 370–384.
- [24] 赵雅娴, 唐芷晴, 孙新亭, 等. 不同强度穿戴式下肢康复机器人训练对脑卒中后下肢功能的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2023, 29(5): 497–503.
- [25] 陈芳, 黄俊豪, 吴文杰, 等. 下肢外骨骼机器人在脑卒中患者功能康复中应用进展[J]. 中国康复, 2023, 38(4): 243–247.
- [26] Kim S Y, Lee M Y, Lee B H. Effects of rehabilitation robot training on physical function, functional recovery, and daily living activities in patients with sub-acute stroke[J]. Medicina (Kaunas), 2024, 60(5): 811.
- [27] TIAN H L, YANG Y B, ZHANG H, et al. Efficacy of Daoyin combined with lower limb robot as a comprehensive rehabilitation intervention for stroke patients: a randomized controlled trial[J]. J Tradit Chin Med, 2024, 44(3): 530–536.
- [28] 黄振明, 邓海茵, 何友泽, 等. 上肢康复机器人在脑卒中后不同时期上肢运动功能康复中的应用研究进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2024, 46(8): 751–755.
- [29] 王芬芬, 徐蓉贞. 上肢康复机器人联合镜像疗法对脑卒中患者上肢运动功能及日常生活活动能力的疗效[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2024, 5(5): 871–875.
- [30] 吴雪娇, 彭广卫, 沈小花, 等. 本体感觉神经肌肉促进技术和下肢机器人对脑卒中后下肢运动和自动态平衡功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(12): 1677–1682.

收稿日期: 2024–12–16

编辑: 张笑嫣

(上接 722 页)

- [8] Dourado G B, Volpato G H, de Almeida-Pedrin R R, et al. Likert scale VS visual analog scale for assessing facial pleasantness[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2021, 160(6): 844–852.
- [9] 陈灵芝, 詹瑞玺, 尹玲, 等. 妊娠期腹腔镜子宫肌瘤剔除术应用进展[J]. 中国计划生育和妇产科, 2021, 13(2): 40–43.
- [10] Ahmad A, Kumar M, Bhoi N R, et al. Diagnosis and management of uterine fibroids: current trends and future strategies[J]. J Basic Clin Physiol Pharmacol, 2023, 34(3): 291–310.
- [11] Lee N, Choi S H, Won S, et al. Comparison of surgical outcomes of two new techniques complementing robotic single-site myomectomy: coaxial robotic single-site myomectomy vs. hybrid robotic single-site myomectomy[J]. J Pers Med, 2024, 14(4): 439.
- [12] 王慕桔, 邢秀月, 王丽娜, 等. 子宫肌瘤剔除术经脐单孔腹腔镜治疗与传统腹腔镜治疗效果比较[J]. 中国计划生育学杂志, 2022, 30(4): 841–845.
- [13] 刘冬梅, 张莉亚, 叶梅青. 经脐单孔腹腔镜与传统腹腔镜子宫肌瘤剔除术治疗子宫肌瘤的效果[J]. 临床与病理杂志, 2022, 42(3): 635–640.
- [14] Won S, Choi S H, Lee N, et al. Robotic single-site plus two-port myomectomy versus conventional robotic multi-port myomectomy: a propensity score matching analysis[J]. J Pers Med, 2022, 12(6): 928.
- [15] 杨兰英, 杨帆, 王嘉霞, 等. 单孔与传统腹腔镜行子宫肌瘤切除术临床疗效的研究[J]. 中国循证医学杂志, 2021, 21(4): 391–393.
- [16] Kim J H, Lee E J. Single-site robotic myomectomy without accessory instrument compared with two-port laparoscopic myomectomy: a propensity score matching analysis[J]. Gynecol Obstet Invest, 2022, 87(1): 70–78.
- [17] 盛燕楠, 王剑, 毛宝宏, 等. 机器人辅助子宫肌瘤剔除术与腹腔镜子宫肌瘤剔除术疗效对比的 Meta 分析[J]. 实用妇产科杂志, 2023, 39(2): 147–153.
- [18] Choi S H, Won S, Lee N, et al. Coaxial-robotic single-site myomectomy: surgical outcomes compared with robotic single-site myomectomy by propensity score matching analysis[J]. J Pers Med, 2022, 13(1): 17.
- [19] 罗曼文, 刘艳燕, 张蔚. 机器人手术系统在妇科良性疾病中的应用及价值[J]. 实用妇产科杂志, 2023, 39(10): 736–738.
- [20] 邵爽, 金晶, 杜欣. 妊娠期单孔腹腔镜子宫肌瘤剔除术后足月剖宫产 2 例诊治体会[J]. 中国计划生育和妇产科, 2024, 16(7): 108–112, 封 3.
- [21] 何永娜, 徐霞, 朱翠兰. 经腹子宫肌瘤剔除术与腹腔镜下子宫肌瘤剔除术治疗子宫肌瘤的临床效果比较[J]. 实用癌症杂志, 2021, 36(6): 1008–1010.
- [22] WANG L, DENG J Y, LI K P, et al. A systematic review and meta-analysis comparing robotic single-site versus multi-port myomectomy[J]. J Robot Surg, 2023, 17(4): 1319–1328.
- [23] 杨阳, 刘杜娟. 腹腔镜子宫肌瘤剔除术对子宫肌瘤患者并发症发生率的影响研究[J]. 贵州医药, 2021, 45(5): 741–742.
- [24] Kim J M, Lee Y H, Chong G O, et al. Comparison of multi-and single-site robotic myomectomy using the Da Vinci® SP surgical system: a propensity score matching analysis[J]. J Clin Med, 2022, 11(23): 6905.
- [25] 唐文平, 张海红, 刘进. 影响腹腔镜子宫肌瘤剔除术后复发的相关因素分析[J]. 中国医师进修杂志, 2021, 44(4): 337–342.
- [26] 何妍宜, 谢翠云, 韩焕梅, 等. 经腹子宫肌瘤切除术和腹腔镜子宫肌瘤剔除术术后复发率的比较[J]. 现代肿瘤医学, 2021, 29(12): 2117–2119.
- [27] Choi S H, Won S, Lee N, et al. Robotic single-site plus one-port myomectomy versus robotic single-site plus two-port myomectomy: a propensity score matching analysis[J]. Yonsei Med J, 2024, 65(7): 406–412.
- [28] 陈宇东, 梁少凤. 经脐单孔腹腔镜与传统多孔腹腔镜手术治疗子宫肌瘤的疗效及术后康复效果比较[J]. 现代肿瘤医学, 2021, 29(10): 1760–1765.
- [29] 刘润萍, 田赞, 董俊英, 等. 腹腔镜子宫肌瘤切除术经阴道取标本的临床效果探讨[J]. 腹腔镜外科杂志, 2023, 28(5): 370–373.
- [30] 冯雪, 曹婧, 赵恬舒, 等. 腹腔镜下子宫肌瘤剔除术与开腹子宫肌瘤剔除术治疗效果及术后生育情况对比[J]. 中国计划生育学杂志, 2024, 32(8): 1787–1790.

收稿日期: 2024–12–18

编辑: 魏新珂