

· 临床研究 ·

平地行走式下肢外骨骼机器人对脑卒中患者步行功能的影响

陈芳¹ 季晶² 苏彬³ 邱怀德² 吴希希⁴ 黄颖琚⁴ 黄思思² 张宇婷² 王雪² 万春利²
葛盼丽² 黄俊豪¹ 李勇强^{1,2}

¹南京体育学院, 南京 210014; ²南京医科大学第一附属医院, 南京 210029; ³无锡市同仁
康复医院, 无锡 214150; ⁴江苏省人民医院钟山康复分院, 南京 210046

通信作者: 李勇强, Email: liyongqiang_1980@163.com

【摘要】 目的 观察平地行走式下肢外骨骼机器人训练对脑卒中患者步行功能的疗效。**方法** 按随机数字表法将 58 例脑卒中患者分为机器人组(29 例)和对照组(29 例)。对照组给予常规康复治疗联合常规步行训练, 机器人组则给予常规康复治疗联合外骨骼机器人步行训练。2 组患者的步行训练均为每日 2 次, 每次 30 min, 每周训练 5 d, 连续每次 4 周。于治疗前、治疗 2 周和 4 周后对 2 组患者的步行能力[包括 6 min 步行测试(6MWT) 和功能性步行分级(FAC)]和下肢运动功能[Fugl-Meyer 下肢运动评定量表(FMA-LE)]进行评估, 并于治疗前和治疗 4 周后检测 2 组患者的步态。**结果** 治疗 2 周和 4 周后, 2 组患者的 6MWT 较组内治疗前均明显提高, 差异均有统计学意义($P<0.01$)。机器人组治疗 2 周后与组内治疗前的 6MWT 差值与对照组比较, 差异有统计学意义($P=0.034$)。治疗 2 周和 4 周后, 2 组患者的 FMA-LE 和 FAC 较组内治疗前均显著改善, 差异均有统计学意义($P<0.01$)。治疗 4 周后, 2 组患者的步频和步态周期与组内治疗前比较, 差异均有统计学意义($P<0.01$)。**结论** 平地行走式下肢外骨骼机器人训练可改善脑卒中患者的步行能力和下肢运动功能, 其疗效与常规步行训练相当。

【关键词】 下肢外骨骼机器人; 脑卒中; 步行训练; 下肢运动功能; 康复

基金项目: 南京市科学技术局(2019060002); 无锡“太湖人才计划”医疗卫生高层次人才项目(WXTTP2020008); 江苏省研究生科研与实践创新计划(KYCX21_1976)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.06.004

An exoskeleton robot can help improve the walking ability of stroke survivors

Chen Fang¹, Ji Jing², Su Bin³, Qiu Huaide², Wu Xixi⁴, Huang Yingjun⁴, Huang Sisi², Zhang Yuting², Wang Xue², Wang Chunli², Ge Panli², Huang Junhao¹, Li Yongqiang^{1,2}

¹Nanjing Sport Institute, Nanjing 210014, China; ²The First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China; ³Wuxi Tongren Rehabilitation Hospital, Wuxi 214150, China; ⁴Zhongshan Rehabilitation Hospital Affiliated to Jiangsu Province Hospital, Nanjing 210046, China

Corresponding author: Li Yongqiang, Email: liyongqiang_1980@163.com

【Abstract】 Objective To explore the efficacy of a flat ground exoskeleton robot in improving the walking ability of stroke survivors. **Methods** Fifty-eight stroke survivors with mobility difficulties were randomly divided into a robot group ($n=29$) and a control group ($n=29$). In addition to routine rehabilitation, the control group received conventional walking training, while the robot group underwent exoskeleton robot-assisted gait training. The 30-minute training sessions were held twice a day, 5 days per week for 5 weeks. Before as well as after 2 and 4 weeks of treatment, everyone's walking ability was tested using the 6-minute walk test (6MWT) and functional ambulation scale (FAC). General lower limb motor function was quantified using the Fugl-Meyer Lower Extremity assessment (FMA-LE). Moreover, gait analysis was conducted before and after 4 weeks of treatment. **Results** After 2 and 4 weeks of treatment, the average 6MWT times of both groups were significantly better than before the treatment, with the improvement of the robot group significantly greater than that of the control group after 2 weeks. After 2 and 4 weeks the average FMA-LE and FAC scores of both groups had improved significantly compared with before treatment. After 4 weeks the stride frequency and gait cycle of both groups had improved significantly. **Conclusions** Exoskeleton robot-assisted gait training can improve walking ability and lower limb motor function of stroke survivors about as well as conventional walking training.

【Key words】 Robots; Exoskeletal robots; Stroke; Gait training; Lower limb motor function; Rehabilitation

Funding: Nanjing Municipal Science and Technology Bureau (2019060002); a Wuxi "Taihu Talent" Plan Medical and Health High-level Talents Project (WXTTP2020008); the Postgraduate Research and Practice Innovation Program of Jiangsu Province (KYCX21_1976)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.06.004

脑卒中是全球性的健康问题,也是导致成人残疾的主要因素之一^[1]。随着我国人口老龄化加重,每年新发脑卒中病例超过 200 万,由此导致的医疗需求和社会负担也日益加重^[2]。据统计,30%~40%的脑卒中患者康复后其行走功能受限或丧失行走能力^[3],严重影响患者的独立功能和生活质量。因此,恢复步行能力是脑卒中患者主要康复目标之一,也是临床脑卒中康复亟需解决的问题^[4]。

康复机器人是改善患者康复结局的新方法,有文献支持,康复机器人可改善脑卒中患者的步行能力^[5-7]。目前,应用较为广泛的是平板训练的下肢康复机器人,如 Lokomat^[8]和 ALEX^[9],患者可在此类机器人的辅助下通过减重悬吊装置和活动平板进行步行训练。然而,该训练方式仍存在一定的局限性:①悬吊装置和活动平板限制了患者对迈步的控制,患者主动参与度低;②无法进行坐站转移等功能性训练;③缺乏真实环境中的视觉反馈^[4,10]。随着技术的进步,康复机器人正朝向可穿戴式外骨骼方向发展,轻便和平地行走是其最大特点,不仅可使患者参与到不同环境中,还可实现个性化的步行训练。研究表明,外骨骼机器人可协助患者完成从坐到站、独立行走和上下楼梯等任务导向性功能训练,提高患者的日常生活功能^[11]。本研究采用平地行走式下肢外骨骼机器人对脑卒中患者进行步行训练,旨在验证其对脑卒中患者步行功能的疗效。

对象与方法

一、研究对象和分组

入选标准:①符合 2019 年版《中国各类脑血管疾病诊断要点》^[12],并经头颅 CT 或 MRI 证实,生命体征稳定;②年龄 18~75 岁,性别不限;③体重≤85 kg,身高 1.55~1.90 m;④首次发病,病程 2 周~6 个月;⑤患侧下肢 Brunnstrom 分期在Ⅱ期~Ⅴ期;⑥Holden 步行

功能分级 1 级~4 级,具备一定行走能力,步行稳定性下降,需监护下步行;⑦髋关节和膝关节被动活动范围无明显受限,踝关节被动活动可保持在中立位;⑧认知功能良好,能够理解和积极参与训练方案,同意并签署本临床研究知情同意书。

排除标准:①骨折未完全愈合;②严重骨质疏松;③下肢和机器人穿戴部位皮肤损伤或感染;④不稳定型心绞痛,严重心律失常等心脏疾病;⑤严重慢性阻塞性肺疾病;⑥未经治疗的深静脉血栓;⑦研究者判断患者依从性差,无法按照要求完成研究;⑧其它可能影响步行训练的禁忌证或并发症;⑨同期参加了其他的药物或医疗器械临床试验。

本研究是一项随机、平行对照的试验设计,经南京医科大学第一附属医院伦理委员会批准(审批编号:2019-MD-43),并严格遵守国家临床试验伦理的相关要求。本研究已在中国临床试验注册中心进行注册,注册号为 ChiCTR2100044475。

选取 2019 年 12 月至 2021 年 6 月在南京医科大学第一附属医院就诊且符合上述标准的脑卒中偏瘫患者 58 例,按随机数字表法,按 1:1 比例将 58 例患者分为机器人组和对照组,每组 29 例患者。2 组患者的性别、年龄、病程和病变性质等一般资料经统计学分析,差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,详见表 1。

二、治疗方法

2 组患者均给予常规康复治疗,在此基础上,对照组给予常规步行训练,试验组给予外骨骼机器人步行训练,2 组患者步行训练时间均为每日 2 次,每次 30 min,每周训练 5 d,连续训练 4 周。

1.常规康复治疗:包括早期床边被动活动、神经发育技术、运动再学习、下肢肌力训练、牵伸训练、关节活动范围训练、功能性电刺激、生物反馈训练、体位转移训练、平衡训练、日常生活功能训练等治疗措施,旨在

表 1 2 组患者一般资料

组别	例数	平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	性别(例)		瘫痪侧(例)		病程 (月, $\bar{x}\pm s$)	病变性质(例)	
			男	女	左	右		脑出血	脑缺血
对照组	29	50.86±11.06	20	9	15	14	3.45±1.24	13	16
机器人组	29	48.86±11.96	24	5	14	15	3.48±1.30	10	19

促进下肢运动功能恢复,提高肌肉力量,增加下肢稳定性。常规康复治疗每日 2 次,每次 30 min,每周治疗 5 d,连续治疗 4 周。

2. 常规步行训练:包括患侧下肢坐站训练、负重训练、迈步训练、地面步行训练、平行杠内重心转移训练、活动平板训练和上下楼梯训练等。所有患者在步行训练过程中可根据自身步行能力,使用助行器、拐杖、踝足矫形器等辅助用具。常规步行训练每日 2 次,每次 30 min,每周训练 5 d,连续训练 4 周。

3. 外骨骼机器人步行训练:采用深圳产 BEAR-H1 型平地行走式外骨骼康复机器人对患者进行地面步行训练。训练前测量患者大、小腿的长度、腰部的宽度和深度,根据测量值,调节对应的长度,患者穿戴外骨骼并自下而上绑好鞋带、大腿和小腿的绑带、腰带、背带。输入患者信息,包括大腿长、小腿长、体重和偏瘫侧,确认患者已经穿戴好外骨骼且患者信息无误后,治疗师可辅助患者站立,然后根据患者自身的步行能力选择步行模式进行训练,步行模式包括减重模式、训练模式和智能模式。步行训练过程中,外骨骼给予助力,助力等级 1 级~5 级,步行频率 0.1 Hz~0.5 Hz。外骨骼机器人步行训练每日 2 次,每次 30 min,每周训练 5 d,连续训练 4 周,见图 1。



图 1 外骨骼机器人步行训练

三、疗效指标

于治疗前、治疗 2 周和 4 周后对 2 组患者的步行能力[包括 6 分钟步行测试(6-minute walk test, 6MWT)和功能性步行分级(functional ambulation category, FAC)]和下肢运动功能进行评估,并于治疗前和治疗 4 周后检测 2 组患者的步态。

1. 6MWT 测试^[13]:嘱患者在长 30 m 的走廊以适

宜速度往返行走,治疗结束时测量和记录 6 min 的步行距离,距离四舍五入到 m。

2. FAC 分级^[14]:该量表将步行功能状态分为 0 级~5 级。5 级为任何地方都能独立步行;4 级为在平地上独立步行,在楼梯或斜坡上行走需帮助;3 级为需 1 人在旁监护或用言语指导,但不接触身体;2 级为需 1 人在旁以间断的接触身体的帮助行走,步行不安全;1 级为需 1 人连续不断地帮助才能行走;0 级为不能步行或需 2 人以上的协助。

3. 下肢运动功能评估:采用 Fugl-Meyer 下肢运动评定量表(Fugl-Meyer assessment for lower extremity, FMA-LE)^[15]进行评估,该量表主要用于评价患者患侧下肢的运动功能水平,共 17 项,总分 34 分,得分越高则运动功能越好。

4. 步态分析:采用美国 MiniSun 公司生产的 LLC 便携式步态分析仪进行评估。嘱患者在 10 m 的平坦走道上常速行走,来回 2 趟,第 1 趟让患者适应仪器,第 2 趟去除前 2 m 加速和后 2 m 减速阶段,取中间 6 m 的步态数据计为常速行走测试步态数据。提取步态参数包括,患侧单腿支撑相时长与摆动相时长占比(时长占比)、步频、步态周期。

四、统计方法

应用 SPSS 25.0 版统计学软件对数据进行统计分析。年龄、病程和 FMA-LE 评分、时长占比步频以及步行周期呈正态分布,以($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验,组内治疗前、后比较采用配对 t 检验;6MWT 呈偏态分布,以中位数(四分位间距)表示,组内治疗前、后比较采用 Wilcoxon 符号秩和检验,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。等级资料,如功能步行分级,组内治疗前、后比较采用 Wilcoxon 符号秩和检验,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。二分类资料,如性别、瘫痪侧及病变性质以频数表示,采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。所有检验均为双侧检验,以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

结 果

一、2 组患者治疗前、后 6MWT 比较

治疗前,2 组患者的 6MWT 组间比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。治疗 2 周和 4 周后,2 组患者的 6MWT 评分较组内治疗前均明显提高,差异均有统计学意义($P < 0.01$)。机器人组治疗 2 周后与组内治疗前的 6MWT 差值与对照组比较,差异有统计学意义($P = 0.034$),其治疗 4 周后与组内治疗前的 6MWT 差值与对照组比较,组间差异无统计学意义($P > 0.05$),详见表 2。

表 2 2 组患者 6MWT 比较[$m, M(Q_U-Q_L)$]

组别	例数	治疗前	治疗 2 周后	治疗 2 周后与治疗前 差值	治疗 4 周后	治疗 4 周后与 治疗前差值
对照组	29	111(124)	118(167) ^a	17(48)	149(183) ^a	39(57)
机器人组	29	87(62)	146(104) ^a	40(51) ^b	153(100) ^a	52(50)

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.01$;与对照组比较,^b $P<0.05$

二、2 组患者治疗前、后 FMA-LE 和 FAC 比较

治疗前,2 组患者的 FMA-LE 评分和 FAC 等级组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$);治疗 2 周和 4 周后,2 组患者的 FMA-LE 和 FAC 较组内治疗前均显著改善,差异均有统计学意义($P<0.01$),但 2 项指标的组间差异均无统计学意义($P>0.05$),详见表 3。

表 3 2 组患者治疗前、后 FMA-LE 评分和 FAC 等级比较

组别	例数	FMA-LE (分, $\bar{x}\pm s$)	FAC 等级 [级, $M(Q_U-Q_L)$]
对照组			
治疗前	29	21.31±6.60	3(2,3)
治疗 2 周后	29	22.62±6.22 ^a	3(3,4) ^a
治疗 4 周后	29	24.07±5.72 ^a	4(2.5,4) ^a
机器人组			
治疗前	29	20.00±5.34	3(2,3)
治疗 2 周后	29	22.34±5.07 ^a	3(3,3.5) ^a
治疗 4 周后	29	24.31±4.54 ^a	3(3,4) ^a

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.01$

三、2 组患者治疗前和治疗 4 周后步态参数比较

治疗前,2 组患者的时长占比、步频、步态周期组间比较,差异均无统计学意义均无显著性差异($P>0.05$)。治疗 4 周后,2 组患者的步频和步态周期与组内治疗前比较,差异均有统计学意义($P<0.01$),而时长占比与组内治疗前比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗 4 周后,机器人组的时长占比、步频、步态周期与对照组比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),见表 4。

表 4 2 组患者治疗前和治疗 4 周后步态参数比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	时长占比	步频 (次/min)	步行周期 (s)
对照组				
治疗前	29	0.83±0.55	57.75±24.89	1.71±0.90
治疗 4 周后	29	0.81±0.49	75.15±27.00 ^a	1.33±0.67 ^a
机器人组				
治疗前	29	0.81±0.47	56.51±19.93	1.77±0.82
治疗 4 周后	29	0.85±0.41	75.60±19.96 ^a	1.34±0.65 ^a

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.01$

讨 论

本研究结果显示,机器人组患者经平地行走式外骨骼步行训练 4 周后,其 6MWT 较组内治疗前显著增加,本课题组认为,其机制可能包括:①外骨骼减重装置可有效减少脑卒中患者行走时身体重量对腿部的负

荷,提高步行稳定性,增加重复次数和步行效率,进而提高步行距离^[16-17];②外骨骼机器人训练可增加患者的运动强度和站立时间,改善下肢血液循环,从而提高患者的心肺耐力^[18]。进一步分析本研究中 6MWT 结果发现,机器人组治疗 2 周后与组内治疗前的 6MWT 差值明显优于对照组,差异有统计学意义($P=0.034$),但在治疗 4 周后,2 组间的差异却无统计学意义($P>0.05$),该结果提示,2 周的平地行走式外骨骼步行训练疗效明显,可较快地改善脑卒中患者的步行耐力,但其 4 周的疗效与常规步行训练无明显差异,这与国外相关结果一致^[19-21]。

步态对称性可以反映肢体执行标准化步行模式的能力和双下肢协调性^[23]。文献报道,外骨骼机器人可提供对称性步行训练模式,辅助患侧肢体进行协同运动,可能会减少健肢肌肉的代偿性活动,有助于促进下肢步行同步性,改善步态对称性^[24]。本研究发现,治疗 4 周后,2 组患者患侧支撑相与摆动相占比无统计学差异($P>0.05$),该结果表明,外骨骼机器人未能明显改善脑卒中患者的步态对称性,这与 Patterson 等^[25]研究结果一致,原因可能是本研究治疗周期不够长,患者没有达到足够的训练阈值,还未能充分发挥机器人步行潜力,因此其疗效还需进一步验证。

脑卒中偏瘫患者由于患侧肢体的肌肉力量、张力和运动协调等障碍,进而会出现步态的不稳、步速下降、步态不对称等问题^[22]。本研究结果显示,机器人组患者的 FAC 等级、步频和步行周期均较组内治疗前明显改善($P<0.01$),该结果提示,平地行走式外骨骼步行训练可显著改善脑卒中患者的步行功能,提高其步行独立性和步行速度。

本研究结果还发现,机器人组患者经平地行走式外骨骼步行训练 4 周后,其 Fugl-Meyer 评分较组内治疗前显著改善($P<0.01$)。该结果表明,外骨骼机器人训练可以改善脑卒中患者的下肢运动功能,其作用机制可能包括:一方面,外骨骼机器人可模拟正常的运动模式,通过下肢重复性运动增强各个关节的稳定性与协调性,提高下肢肌群的力量;另一方面,外骨骼机器人可为患者提供正确的下肢关节运动,通过高强度、重复性、任务导向性的步行训练强化外周深感觉信号刺激,有利于正常运动模式的形成和储存,诱导脑皮层神经功能重塑,从而促进下肢运动功能恢复^[26]。相关

临床研究表明,外骨骼步行训练时,脑卒中患者受累侧大脑感觉运动皮质和运动辅助区激活明显,不同脑区间的功能连接增强^[27]。

本研究采用的是一款新型的可穿戴、平地行走式外骨骼机器人,其优势在于以真实地面作为训练场所,将自然体验融入患者的步行模式,患者可以长时间自主行走和移动,为家庭和社区环境步行做好准备。重要的是,这种步行训练模式可以安全地应用于临床环境,并改善卒中患者的下肢运动功能,增加步行能力。在地面步行时患者主动迈步,选择地面行走路径,并通过外界环境的视觉反馈,使中枢获得感觉、运动和注意力信息,增强并改善大脑信息处理能力,有利于改善患者平衡功能和姿势控制^[28-29]。此外,外骨骼机器人具有高精度性、高强度性、高重复性等独特优势,可根据患者步行功能障碍的程度选择运动的辅助方式(减重模式、训练模式、智能模式),其中智能步行模式可以识别患者的运动意图,实时调整助力等级和步频,实现人机交互同步,为患者提供个性化的步行训练方式;同时,康复机器人能够精确控制步行训练的运动参数,如步行速度、运动强度等,为患者提供同质化的功能训练。

本研究样本量较小,治疗周期较短,且缺乏随访观察,无法获取外骨骼步行训练对脑卒中患者的长期疗效;本研究的结局指标多为量表评估,虽然结合了部分步态参数,但未进行神经电生理或功能影像学评估,限制了结果的解释深度以及对潜在机制的探索;本文比较了平地行走式外骨骼机器人训练和常规步行训练,未来研究还可以进一步比较平地行走式外骨骼机器人与平板训练的机器人之间的差异。

综上所述,平地行走式外骨骼机器人训练可改善脑卒中患者的步行能力和下肢运动功能,其疗效与常规步行训练相当。鉴于外骨骼机器人固有的优势特征,如标准化的训练环境、适应性的支持以及足够的训练强度,可大大减轻治疗师的负担,在步行训练方面,外骨骼机器人或可成为康复治疗师的强大助手,以帮助患者更好地进行功能康复。

参 考 文 献

- [1] GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the global burden of disease study 2019[J]. *Lancet*, 2020, 396(10258): 1204-1222. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30925-9.
- [2] Wu S, Wu B, Liu M, et al. Stroke in China: advances and challenges in epidemiology, prevention, and management[J]. *Lancet Neurol*, 2019, 18(4): 394-405. DOI: 10.1016/S1474-4422(18)30500-3.
- [3] Kollen B, Kwakkel G, Lindeman E. Longitudinal robustness of varia-

- bles predicting independent gait following severe middle cerebral artery stroke: a prospective cohort study[J]. *Clin Rehabil*, 2006, 20(3): 262-268. DOI: 10.1191/0269215506cr910oa.
- [4] Louie DR, Eng JJ. Powered robotic exoskeletons in post-stroke rehabilitation of gait: a scoping review[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2016, 13(1): 53. DOI: 10.1186/s12984-016-0162-5.
- [5] Yeung LF, Lau CCY, Lai CWK, et al. Effects of wearable ankle robotics for stair and over-ground training on sub-acute stroke: a randomized controlled trial[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18(1): 19. DOI: 10.1186/s12984-021-00814-6.
- [6] Li DX, Zha FB, Long JJ, et al. Effect of robot assisted gait training on motor and walking function in patients with subacute stroke: a random controlled study[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2021, 30(7): 105807. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.105807.
- [7] Moucheboeuf G, Griffier R, Gasq D, et al. Effects of robotic gait training after stroke: a meta-analysis[J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2020, 63(6): 518-534. DOI: 10.1016/j.rehab.2020.02.008.
- [8] van Kammen K, Boonstra AM, van der Woude LHV, et al. Lokomat guided gait in hemiparetic stroke patients: the effects of training parameters on muscle activity and temporal symmetry[J]. *Disabil Rehabil*, 2020, 42(21): 2977-2985. DOI: 10.1080/09638288.2019.1579259.
- [9] Hidayah R, Bishop L, Jin X, et al. Gait adaptation using a cable-driven active leg exoskeleton (C-ALEX) with post-stroke participants[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2020, 28(9): 1984-1993. DOI: 10.1109/TNSRE.2020.3009317.
- [10] Yao J, Sado T, Wang W, et al. The Kickstart walk assist system for improving balance and walking function in stroke survivors: a feasibility study[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18(1): 42. DOI: 10.1186/s12984-020-00795-y.
- [11] Rodríguez-Fernández A, Lobo-Prat J, Font-Llagunes JM. Systematic review on wearable lower-limb exoskeletons for gait training in neuromuscular impairments[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18(1): 22. DOI: 10.1186/s12984-021-00815-5.
- [12] 中华神经科学会, 中华神经外科学会. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019[J]. *中华神经科杂志*, 2019, 52(9): 710-715. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2019.09.003
- [13] Agarwala P, Salzman SH. Six-minute walk test: clinical role, technique, coding, and reimbursement[J]. *Chest*, 2020, 157(3): 603-611. DOI: 10.1016/j.chest.2019.10.014.
- [14] Park CS, An SH. Reliability and validity of the modified functional ambulation category scale in patients with hemiparesis[J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(8): 2264-2267. DOI: 10.1589/jpts.28.2264.
- [15] Gladstone DJ, Danells CJ, Black SE. The Fugl-Meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2002, 16(3): 232-240. DOI: 10.1177/154596802401105171.
- [16] Pignolo L, Basta G, Carozzo S, et al. A body-weight-supported visual feedback system for gait recovering in stroke patients: a randomized controlled study[J]. *Gait Posture*, 2020, 82: 287-293. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2020.09.020.
- [17] Chua K, Lim WS, Lim PH, et al. An exploratory clinical study on an automated, speed-sensing treadmill prototype with partial body weight support for hemiparetic gait rehabilitation in subacute and chronic stroke patients[J]. *Front Neurol*, 2020, 11: 747. DOI: 10.3389/

- fneur.2020.00747.
- [18] Chang WH, Kim MS, Huh JP, et al. Effects of robot-assisted gait training on cardiopulmonary fitness in subacute stroke patients: a randomized controlled study[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2012, 26(4):318-324. DOI: 10.1177/1545968311408916.
 - [19] Cirstea CM. Are wearable robots effective for gait recovery after stroke[J]. *Stroke*, 2019, 50(12): 3337-3338. DOI: 10.1161/STROKEAHA.119.026548.
 - [20] Gandolla M, Guanzioli E, D'angelo A, et al. Automatic setting procedure for exoskeleton-assisted overground gait: proof of concept on stroke population[J]. *Front Neurobot*, 2018, 12:10. DOI: 10.3389/fnbot.2018.00010.
 - [21] Nam YG, Lee JW, Park JW, et al. Effects of electromechanical exoskeleton-assisted gait training on walking ability of stroke patients: a randomized controlled trial[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2019, 100(1):26-31. DOI: 10.1016/j.apmr.2018.06.020.
 - [22] Ryan HP, Husted C, Lewek MD. Improving spatiotemporal gait asymmetry has limited functional benefit for individuals poststroke[J]. *J Neurol Phys Ther*, 2020, 44(3):197-204. DOI: 10.1097/NPT.0000000000000321.
 - [23] Wonsetler EC, Bowden MG. A systematic review of mechanisms of gait speed change post-stroke. Part 1: spatiotemporal parameters and asymmetry ratios[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2017, 24(6):435-446. DOI:10.1080/10749357.2017.1285746.
 - [24] Buesing C, Fisch G, O'donnell M, et al. Effects of a wearable exoskeleton stride management assist system (SMA[®]) on spatiotemporal gait characteristics in individuals after stroke: a randomized controlled trial[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2015, 12:69. DOI: 10.1186/s12984-015-0062-0.
 - [25] Patterson KK, Mansfield A, Biasin L, et al. Longitudinal changes in poststroke spatiotemporal gait asymmetry over inpatient rehabilitation[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2015, 29(2):153-62. DOI: 10.1177/1545968314533614.
 - [26] Calabrò RS, Naro A, Russo M, et al. Shaping neuroplasticity by using powered exoskeletons in patients with stroke: a randomized clinical trial[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2018, 15(1):35. DOI: 10.1186/s12984-018-0377-8.
 - [27] Lee SH, Lee HJ, Shim Y, et al. Wearable hip-assist robot modulates cortical activation during gait in stroke patients: a functional near-infrared spectroscopy study[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2020, 17(1):145. DOI: 10.1186/s12984-020-00777-0.
 - [28] Peters S, Handy TC, Lakhani B, et al. Motor and visuospatial attention and motor planning after stroke: considerations for the rehabilitation of standing balance and gait[J]. *Phys Ther*, 2015, 95(10):1423-1432. DOI: 10.2522/ptj.20140492.
 - [29] Molteni F, Gasperini G, Cannaviello G, et al. Exoskeleton and end-effector robots for upper and lower limbs rehabilitation: narrative review[J]. *PM R*, 2018, 10(9 Suppl 2):S174-S188. DOI: 10.1016/j.pmrj.2018.06.005.

(修回日期:2022-03-03)

(本文编辑:阮仕衡)

· 外刊撷英 ·

Acetylcholinesterase inhibitor treatment alleviated cognitive impairment caused by delayed encephalopathy due to carbon monoxide poisoning: Two case reports and a review of the literature [Yanagiha K, Ishii K, Tamaoka A. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96(8): e6125.]

Introduction Delayed encephalopathy due to carbon monoxide (CO) poisoning can even occur in patients with mild symptoms of acute CO poisoning. Some cases taking conventional hyperbaric oxygen (HBO) therapy or steroid-pulse therapy may be insufficient, and AchEI may be effective.

Patient concerns and diagnoses We report two cases of delayed encephalopathy after acute CO poisoning involving two women aged 69 (Case 1) and 60 years (Case 2) whose cognitive function improved with acetylcholinesterase inhibitor (AchEI) treatment. Delayed encephalopathy occurred 25 and 35 days after acute CO poisoning in Case 1 and Case 2, respectively. Both patients demonstrated cognitive impairment, apathy, and hypokinesia on admission.

Interventions and outcomes Although hyperbaric oxygen therapy did not yield any significant improvements, cognitive dysfunction improved substantially. This was evidenced by an improved Mini-Mental State Examination score from 9 to 28 points in Case 1 and an improved Hasegawa's dementia rating scale score from 4 to 25 points in Case 2 after administration of an AchEI. In Case 1, we administered galantamine hydrobromide, which was related with improved white matter lesions initially detected on brain magnetic resonance imaging. However, in Case 2 white matter lesions persisted despite AchEI treatment. AchEI treatment may result in improved cognitive and frontal lobe function by increasing low acetylcholine concentrations in the hippocampus and frontal lobe caused by decreased nicotinic acetylcholine receptor levels in delayed encephalopathy after CO poisoning.

Conclusion Physicians should consider AchEIs for patients demonstrating delayed encephalopathy due to CO poisoning.