

·临床研究·

智能下肢康复机器人辅助步行训练对卒中后偏侧忽略患者步行功能的疗效研究*

曹磊¹ 叶琳琳¹ 杨晓龙¹ 单桂香¹ 张祎辰¹ 宋为群^{1,2}

摘要

目的:探讨采用智能下肢康复机器人进行步态训练能否提高脑卒中后偏侧忽略患者的步行能力。

方法:将40例脑卒中后偏侧忽略的患者随机分为对照组和试验组各20例。每组患者均给予脑卒中常规药物治疗、重复经颅磁刺激(rTMS)及常规的康复训练,试验组采用机器人辅助步态训练,对照组采用常规的行走训练。检测并比较两组患者治疗前后偏侧忽略症状评分、Fugl-Meyer下肢运动功能(FMA-LE)评分、步态参数(步速、步幅时间、步频、步长时间差、着地冲击力差)。

结果:①两组患者的一般资料无显著性差异(均 $P>0.05$);②治疗后,两组患者线段二等分、线段划消、星形划消的评分均有改善(均 $P<0.05$);③两组患者FMA-LE量表治疗后的评分均优于治疗前(均 $P<0.01$),但是试验组的改善程度更大($P<0.01$);④治疗后,两组患者的步速、步幅时间、步频、步长时间差、着地冲击力差均有改善(均 $P<0.01$),试验组的改善程度更大($P<0.01$)。

结论:在改善偏侧忽略症状的同时,脑卒中后的偏侧忽略患者可以通过智能下肢康复机器人辅助步行训练改善其步行能力。

关键词 脑卒中;偏侧忽略;重复经颅磁刺激;机器人辅助步行训练;步态分析系统

中图分类号:R743.3;R318.01 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2025)-09-1308-06

Study on the effect of intelligent lower limb rehabilitation robot assisted walking training on the walking function in patients with hemineglect after stroke/CAO Lei, YE Linlin, YANG Xiaolong, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2025, 40(9): 1308—1313

Abstract

Objective: To explore whether gait training facilitated by an intelligent lower limb rehabilitation robot can enhance the walking capabilities of post-stroke patients with hemineglect.

Method: A total of forty patients, who had suffered from hemilateral neglect post-stroke, were randomly assigned to either a control group or an experimental group, with twenty individuals in each. All patients received conventional pharmacotherapy, repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS), and standard rehabilitation training. Additionally, the experimental group underwent robot-assisted gait training, whereas the control group was engaged in traditional walking training. Parameters such as hemineglect symptom scores, Fugl-Meyer assessment for lower extremity (FMA-LE) scores, and various gait metrics (including stride speed, stride length time, stride frequency, stride length time disparity, and impact difference) were evaluated and compared between both groups pre- and post-treatment.

Result: Initially, no significant disparities were observed in the baseline data of the two groups (all $P>0.05$). Subsequently, improvements in line segmentation, line bisecting, and star cancellation test scores were noted

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2025.09.003

*基金项目:北京市医院管理中心培育计划(PX2020037)

1 首都医科大学宣武医院康复医学科,北京市,100053; 2 通讯作者

第一作者简介:曹磊,男,博士,主任医师; 收稿日期:2023-07-19

1308 www.rehab.com.cn

in both groups post-treatment (all $P<0.05$). Moreover, the post-treatment FMA-LE scores exhibited a significant enhancement compared to the pre-treatment scores (all $P<0.01$), with the experimental group demonstrating a more pronounced improvement ($P<0.01$). Furthermore, post-treatment assessments indicated notable advancements in walking speed, stride length time, stride frequency, stride length time variance, and impact difference in both groups (all $P<0.01$), with the experimental group showing superior progress ($P<0.01$).

Conclusion: The findings suggest that gait training using an intelligent lower limb rehabilitation robot not only ameliorates hemineglect symptoms but also significantly improves the walking abilities of stroke patients afflicted with hemineglect.

Author's address Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing, 100053

Key word stroke; hemispatial neglect; repeated transcranial magnetic stimulation; robot-assisted walking training; gait analysis system

脑卒中可导致多种功能障碍,严重影响生存质量。步态障碍是卒中后最常见的功能障碍因素之一^[1]。大约有40%的脑卒中患者能完全恢复日常生活能力,而只有60%—80%的患者恢复独立行走的能力^[1-2]。偏侧忽略是导致卒中患者步态恢复不良的主要众所周知的因素之一^[3]。因此,在临床中如何制定康复干预策略,改善患者的忽略症状以及提高患者行走能力是卒中后偏侧忽略患者康复的主要目标。以往的研究表明,下肢康复机器人在保证患者安全的前提下,能够通过提供高重复性的步行训练来促进脑功能的可塑性,提高患者的步行能力,在改善卒中患者步行能力方面显示出了较大的潜力。然而,对偏侧忽略患者而言,该类研究仍较少。考虑到单侧忽略患者的治疗特点,目前已有多个临床指南推荐重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)作为其康复治疗的有效调控手段^[4-5],但对步行功能的研究仍需进一步探索。因此,本研究将基于现有的临床指南,在应用常规rTMS治疗的基础上,探讨智能下肢康复机器人对卒中后偏侧忽略患者步行功能的影响,以期验证下肢机器人辅助训练在卒中后偏侧忽略患者步行能力方面的应用优势。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选择首都医科大学宣武医院康复医学科2019年1月至2022年11月期间住院的卒中后偏侧忽略的患者40例,随机分为对照组、试验组,每组各20例。脑卒中的诊断经头颅CT或MRI证实。根据纸笔试验结果(≥ 2 个项目测试阳性)可诊断为偏侧忽

略^[5]。首都医科大学宣武医院伦理委员会批准号:研临审[2020]156号。所有患者均由家属签署书面康复治疗知情同意书。

1.2 纳入标准与排除标准

纳入标准:①年龄:18—80岁;②右利手;③首次发病的右侧大脑半球卒中且病程 > 3 个月;④根据纸笔试验诊断为偏侧忽略^[5];⑤可进行步行训练;⑥下肢布氏分期 $\geq \text{IV}$ 期,下肢改良Ashworth分级 ≤ 2 级^[6];⑦右利手;⑧能够配合完成训练与评估。

排除标准:①发病前无法独立行走;②原发病加重或其他不可预知的病情变化;③体内金属置入物者;④不能校正的视力、视野障碍;⑤简易精神状态检查量表评分 < 17 分^[5,7]。

1.3 研究方法

1.3.1 治疗方法:常规治疗:所有被试每天接受2—3h的康复训练。内容主要为物理治疗、作业治疗,必要时为言语和语言治疗。康复的持续时间和内容由包括一名医生在内的医疗小组使用国际功能、残疾和健康分类来评估需要哪些干预措施,治疗医师根据治疗目标进行选择。两组患者均接受2周rTMS治疗,工作日每天上下午各1次。

静息运动阈值(resting motor threshold, RMT)测定:采用Transcranial Magstim Rapid 2刺激器(Magstim公司,英国),应用单脉冲磁刺激模式,嘱患者放松全身肌肉,刺激左侧半球的手运动皮质的投影区,将表面电极放于右手的拇短展肌肌腹,记录诱发电位,连续10次刺激中至少能有5次能够诱发出波幅不低于 $50\mu\text{V}$ 刺激的即为RMT^[7-8]。

rTMS治疗:采用Transcranial Magstim Rapid 2刺激器(Magstim公司,英国),应用重复刺激模式,

450个刺激脉冲,频率1Hz,强度为90% RMT,持续时间7min 30s;刺激部位:国际脑电图10/20电极安装系统的P3点,即左侧大脑半球顶后皮质的体表投影区^[7-8]。

对照组:在常规康复治疗的基础上,进行为期两周的步态训练,工作日1次/天,1h/次。

试验组:在常规康复治疗的基础上,接受为期2周的Lokomat下肢康复机器人(Hocoma公司,瑞士)训练,工作日1次/天,1h/次。

1.3.2 观察指标:两组患者干预前后均进行偏侧忽略的纸笔试验、Fugl-Meyer下肢运动功能评估、Gaitboter步态分析系统(中国科学院计算技术研究所)。

偏侧忽略评价方法:采用纸笔试验评估患者忽略的程度^[7]。

Fugl-Meyer下肢运动功能评估量表(Fugl-Meyer assessment: lower extremity, FMA-LE):总分34分,记录患者治疗前后的评分。

Gaitboter步态分析系统^[6,9]:收集的指标包括步速、步幅时间、步频和步长时间差、着地冲击力差。方法:患者着系统自带的可穿戴设备站在水平地面5s以上后,嘱其按日常步态形式直线行走。

1.4 统计学分析

本研究使用SPSS 22.0进行数据分析。为比较两组患者一般资料,我们采用 χ^2 检验。采用Shapiro-Wilk法对计量资料进行正态分布检测。符合正态分布的计量资料用平均值±标准差表示,在治疗前后使用配对 t 检验进行比较,治疗后则使用独立样本 t 检验进行比较。对于不符合正态分布的计量资料,使用中位数和四分位数[M(P25, P75)]表示,治疗前后使用配对样本秩和检验进行比较,治疗后使用独立样本秩和检验进行比较。 $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果

2.1 一般临床资料

两组患者的一般资料无显著性差异($P > 0.05$)。见表1。

2.2 两组患者治疗前后偏侧忽略症状比较

治疗前两组患者纸笔试验项目组间差异无显著性意义(均 $P > 0.05$)。治疗2周后,两组患者纸笔试

验结果较前改善(均 $P < 0.01$),但改善程度无显著性差异($P > 0.05$)。见表2—4。

2.3 两组患者治疗前后下肢功能的比较

两组患者治疗前的FMA-LE评分无显著性差异(均 $P > 0.05$)。治疗2周后,两组患者的评分均较治疗前有所提高(均 $P < 0.01$),试验组FMA-LE评分明显高于对照组,且有显著性差异($P < 0.01$)。见表5。

2.4 两组患者治疗前后步态参数比较

两组患者治疗前的步速、步幅时间、步频、步长时间差、着地冲击力差均无显著性意义(均 $P > 0.05$)。与治疗前相比,两组患者治疗后的步速、步幅及步频均有提高,而步长时间差、着地冲击力差较治疗前均减小(均 $P < 0.01$),对照组的步态参数没有试验组改善的大,有显著性意义(均 $P < 0.01$)。见表6。

表1 两组患者的一般资料 (x±s)						
组别	性别(例)		年龄 (岁)	诊断(例)		病程(d)
	男	女		脑梗死	脑出血	
对照组	15	5	51.650±5.860	13	7	116.300±14.992
试验组	16	4	51.650±5.860	14	6	119.850±15.789
χ^2 值/ t 值	0.143		- 0.509	0.114		- 0.729
P 值	0.705		0.617	0.736		0.470

表2 卒中后偏侧忽略患者治疗前后线段二等分结果 (x±s, %)				
组别	干预前	干预后	t 值	P 值
对照组	49.4±9.6	23.3±5.4	17.468	<0.001
试验组	46.8±7.1	24.1±5.7	31.768	<0.001
t 值	- 0.959	0.447		
P 值	0.343	0.657		

表3 卒中后偏侧忽略患者治疗前后线段划消结果 [M(P 25, P 75), %]				
组别	干预前	干预后	t 值	P 值
对照组	61.5(57, 67)	23(17.8, 30)	10.613	<0.001
试验组	65(60, 70)	25(20.8, 30)	31.768	<0.001
Z 值	- 1.457	- 0.423		
P 值	0.145	0.672		

表4 卒中后偏侧忽略患者治疗前后星型划消结果 (x±s, %)				
组别	干预前	干预后	t 值	P 值
对照组	77.6±4.9	23.4±4.1	27.214	<0.001
试验组	76.7±4.4	25.4±4.2	31.768	<0.001
t 值	0.542	- 1.489		
P 值	0.591	0.145		

表5 中后偏侧忽略患者治疗前后FMA-LE结果比较
($\bar{x}\pm s$,分)

组别	干预前	干预后	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
对照组	23.95±1.1	30.75±1.21	- 19.717	<0.001
试验组	24.15±1.14	27.95±1.36	- 13.708	<0.001
<i>t</i> 值	- 0.566	6.893		
<i>P</i> 值	0.575	<0.001		

3 讨论

脑卒中是世界上成年人长期残疾的主要原因。卒中患者偏瘫侧出现步态站立阶段缩短,摆动阶段延长,行走速度降低,步幅缩短。选择性运动控制和协调能力的恶化、肌肉无力、张力变化、平衡和运动范围的丧失都可导致步态障碍,严重影响患者的生存质量。因此,如何恢复卒中患者的独立步态是康

表6 卒中后偏侧忽略患者治疗前后步速、步幅时间、步频、步长时间差、着地冲击力差比较 [M(P 25, P 75)]

组别	步速(m/s)		步幅时间(s)		步频(步/min)		步长时间差(s)		着地冲击力差(g)	
	干预前	干预后	干预前	干预后	干预前	干预后	干预前	干预后	干预前	干预后
试验组	0.35 (0.34,0.36)	0.66 (0.65,0.67) ^①	1.30 (1.20,1.40)	2.10 (1.90,2.30) ^①	50.00 (48.00,51.00)	69.00 (68.00,72.00) ^①	0.42 (0.41,0.44)	0.19 (0.17,0.20) ^①	0.65 (0.62,0.67)	0.31 (0.28,0.33) ^①
对照组	0.36 (0.34,0.38)	0.57 (0.53,0.58) ^①	1.25 (1.20,1.40)	1.70 (1.60,1.80) ^①	48.50 (47.25,50.75)	62.00 (60.25,63.75)	0.42 (0.41,0.43)	0.29 (0.28,0.31) ^①	0.64 (0.61,0.66)	0.43 (0.41,0.45) ^①
<i>Z</i> 值	- 0.851	- 5.432	- 0.098	- 5.224	- 0.947	- 5.429	- 0.401	- 5.448	- 0.898	- 5.419
<i>P</i> 值	0.414	<0.001	0.922	<0.001	0.355	<0.001	0.698	<0.001	0.369	<0.001

注:①与治疗前比*P*<0.01。

复的主要目标之一^[10]。卒中患者能否恢复独立步态与其日常生活能力^[11]、生存质量^[12]、照顾者负担^[13]、出院目的地^[14],甚至生存预后有关^[15]。

偏侧忽略指的是发生脑损伤后,患者出现无法对病灶对侧空间的事物或者刺激信号觉察的综合征^[16-17]。偏侧忽略最常见于右侧大脑半球卒中后的患者,它不仅会给患者日常生活带来不便,更是影响患者其他功能障碍恢复以及整体预后的一个独立的负性因素^[18]。偏侧忽略被认为在卒中后幸存者的功能障碍中起着至关重要的作用,与无忽略的卒中患者相比,合并偏侧忽略的卒中患者更容易向健侧倾斜,加重了步态训练及恢复的难度^[19]。

经颅磁刺激应用于改善卒中后视空间注意障碍已经20年。采用低频rTMS通过抑制左侧顶后皮质,改善多数左侧空间忽略患者在线段划消、线段二等分测试中的表现,并且新兴的刺激参数同样能够改善偏侧忽略症状,产生较持久的临床疗效^[8,20]。

偏瘫患者的步行训练通常受到人员、空间和成本效益的限制。机器人辅助步行训练是一种最新、最有效的运动方法,可用于卒中后偏瘫的治疗^[21]。中国脑卒中早期康复治疗指南指出偏瘫患者应在病情稳定后尽快离床,借助器械进行站立、步行康复训练^[22]。机器人辅助步态训练对脑卒中各个时期无法独立步行患者的步行功能,平衡功能,日常生活活动

能力等均有积极影响^[23]。2017年的Cochrane综述结论认为除物理治疗外,机器人辅助步行训练可改善卒中后的步行能力,尤其是处于早期康复阶段(3个月)的患者将从中获益最多且是安全的^[24]。

机器人辅助行走设备可以使双下肢能准确地承受相同的重量,并且在步态周期的每个阶段,强烈和重复的刺激和本体感觉输入诱导皮质和皮质下区域的重组。通过持续促进步态循环^[25],大脑的运动和感觉通路之间的神经传输被重新建立或现有的连接得到加强。机器人系统的优点是治疗时间更长、强度更大、对患者情绪健康的心理益处、高水平的运动依从性和耐受性、监测和记录患者的功能状态,以及重新评估的能力^[21]。与单纯卒中后步态障碍的患者相比,由于忽略症状的存在,患者在常规的步态训练时更容易向健侧倾斜,跌倒风险更高,并且在训练过程中注意力不集中。机器人辅助步态训练可以很好的避免这些风险。从忽略症状的评估来看,本研究结果表明了两组患者忽略症状的有效改善,但组间比较并未发现差异,这进一步排除了偏侧忽略症状对两组患者步态恢复的影响。更为重要的是,对下肢功能而言,本研究发现,卒中后偏侧忽略患者实施下肢康复机器人辅助步行训练,与对照组相比,下肢康复机器人组的下肢功能评分改善程度更为明显,这进一步说明了下肢机器人辅助步行训练的益处。

在临床实践中,下肢功能和步态异常的评估通常使用主观评分量表,这取决于检查人员的专业知识,并且在高性能患者中经常受到天花板效应^[1]。本研究使用的Gaitboter^[6,9]对卒中后偏侧忽略患者的步态参数进行数据收集和分析。本研究结果表明,智能下肢康复机器人辅助步态训练可以有效改善卒中后的偏侧忽略患者的步行能力,其中步幅时间、步频的增加,表明患者步行的节奏和稳定性有所改善,而患者步长时间差、着地冲击力差的缩小表明患者的步态对称性的改善。

此外,有研究者对卒中后机器人辅助治疗偏侧忽略的随机对照试验和准随机对照试验进行了荟萃分析^[26],结果认为,通过机器人辅助肢体训练治疗能够改善卒中后偏侧忽略患者的中线知觉,但对线段二等分、星型划消等测试结果没有影响。值得注意的是,国内有学者曾采用rTMS联合下肢康复机器人训练以观察其对脑卒中后患者偏侧忽略的影响^[27-28],结果认为可以改善患者的偏侧忽略症状,并且能够同时改善患者的下肢功能,但该研究rTMS的刺激靶点的选取并非常规的偏侧忽略治疗靶点,且未对患者的步态时空参数进行量化评估。本研究两组患者均实施rTMS,且刺激靶点的选取采用了指南中推荐的偏侧忽略常规治疗靶点,目的是探讨在改善偏侧忽略症状的同时,进行机器人辅助步态训练,并进一步通过可量化的步态评估设备,评估偏侧忽略患者步行功能的改善程度。然而,考虑到rTMS对脑功能网络的影响,我们认为,rTMS在改善卒中患者偏侧忽略症状的同时,可能通过对脑运动及感觉网络的影响,促进了下肢机器人训练对患者步行功能的优化,但尚需要开展更多研究。

综上所述,本研究认为在改善偏侧忽略症状的同时,卒中后的偏侧忽略患者智能下肢康复机器人可以有效改善其FMA-LE的评分及相应的步态参数。本研究的局限性主要有:①入组的患者数量相对较少,研究结果仅包括短期结果,长期随访结果未进行评估。②影响机器人康复效果的因素有很多。除了疾病的阶段,影响治疗成功的一个重要因素是治疗的频率以及持续的时间^[29]。本研究已经对患者进行工作日每天一次的机器人辅助步行训练,是否继续增加该训练的频率,受限于患者的体能、设备能否有

空余的时间段以及医保的支付能力。③随着技术的发展,机器人辅助步行训练和其他设备的不同组合正在开始传播,如电刺激或生物反馈技术,但其疗效仍有争议,需要进行更多的研究^[30-31]。此外,机器人设备仍然非常昂贵。虽然有人认为机器人康复比传统康复更经济^[32],但目前所需的投资非常高。因此,随着新技术的发展,必须努力降低机器人的成本。

参考文献

- [1] Igarashi T, Tani Y, Takeda R, et al. Relationship between gait regularity and harmony, and gait speed at discharge in inpatients with subacute stroke[J]. J Phys Ther Sci, 2023, 35(1): 40—45.
- [2] Miyazaki T, Kiyama R, Nakai Y, et al. Relationships between gait regularity and cognitive function, including cognitive domains and mild cognitive impairment, in community-dwelling older people[J]. Healthcare (Basel), 2021, 9(11): 1571.
- [3] Morone G, Matamala-Gomez M, Sanchez-Vives MV, et al. Watch your step! Who can recover stair climbing independence after stroke?[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2018, 54(6): 811—818.
- [4] Ye L, Cao L, Xie H, et al. Visual processing features in patients with visual spatial neglect recovering from right-hemispheric stroke[J]. Neurosci Lett, 2020, 714: 134528.
- [5] Ye L, Cao L, Xie H, et al. Visual-spatial neglect after right-hemisphere stroke: behavioral and electrophysiological evidence[J]. Chin Med J (Engl), 2019, 132(9): 1063—1070.
- [6] 葛亚丽, 曹磊, 宋为群. 节律性听觉刺激对卒中后步行功能的影响[J]. 中国脑血管病杂志, 2022, 19(4): 247—253.
- [7] 叶琳琳, 曹磊, 张甜甜, 等. 健侧半球间歇θ脉冲刺激和低频重复经颅磁刺激治疗卒中后视空间忽略的效果比较[J]. 中国脑血管病杂志, 2022, 19(2): 79—87.
- [8] Cao L, Fu W, Zhang Y, et al. Intermittent theta burst stimulation modulates resting-state functional connectivity in the attention network and promotes behavioral recovery in patients with visual spatial neglect[J]. Neuroreport, 2016, 27(17): 1261—1265.
- [9] Tian T, Wang C, Xu Y, et al. A wearable gait analysis system used in type 2 diabetes mellitus patients: a case-control study[J]. Diabetes Metab Syndr Obes, 2021, 14: 1799—1808.
- [10] Selves C, Stoquart G, Lejeune T. Gait rehabilitation after stroke: review of the evidence of predictors, clinical outcomes and timing for interventions[J]. Acta Neurol Belg,

- 2020, 120(4): 783—790.
- [11] Cho KH, Lee JY, Lee KJ, et al. Factors related to gait function in post-stroke patients[J]. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26(12): 1941—1944.
 - [12] Irisawa H, Mizushima T. Assessment of changes in muscle mass, strength, and quality and activities of daily living in elderly stroke patients[J]. *Int J Rehabil Res*, 2022, 45(2): 161—167.
 - [13] Lobo EH, Frolich A, Abdelrazek M, et al. Information, involvement, self-care and support: The needs of caregivers of people with stroke: A grounded theory approach[J]. *PLoS One*, 2023, 18(1): e0281198.
 - [14] Covert S, Johnson JK, Stilphen M, et al. Use of the activity measure for post-acute care "6 clicks" basic mobility inpatient short form and national institutes of health stroke scale to predict hospital discharge disposition after stroke [J]. *Phys Ther*, 2020, 100(9): 1423—1433.
 - [15] Chiu HT, Wang YH, Jeng JS, et al. Effect of functional status on survival in patients with stroke: is independent ambulation a key determinant?[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2012, 93(3): 527—531.
 - [16] Osawa A, Maeshima S. Unilateral spatial neglect due to stroke[A]. Brisbane (AU), 2021.
 - [17] Durfee AZ, Hillis AE. Unilateral spatial neglect recovery poststroke[J]. *Stroke*, 2023, 54(1): 10—19.
 - [18] Gammeri R, Iacono C, Ricci R, et al. Unilateral spatial neglect after stroke: current insights[J]. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 2020, 16: 131—152.
 - [19] Nijboer T, van de Port I, Schepers V, et al. Predicting functional outcome after stroke: the influence of neglect on basic activities in daily living[J]. *Front Hum Neurosci*, 2013, 7: 182.
 - [20] Fu W, Cao L, Zhang Y, et al. Continuous theta-burst stimulation may improve visuospatial neglect via modulating the attention network: a randomized controlled study [J]. *Top Stroke Rehabil*, 2017, 24(4): 236—241.
 - [21] Inoue S, Otaka Y, Kumagai M, et al. Effects of balance exercise assist robot training for patients with hemiparetic stroke: a randomized controlled trial[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2022, 19(1): 12.
 - [22] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会神经康复学组, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国脑卒中早期康复治疗指南[J]. *中华神经科杂志*, 2017, 50(6): 405—412.
 - [23] Park JH, Shin YI, You JSH, et al. Comparative effects of robotic-assisted gait training combined with conventional physical therapy on paretic hip joint stiffness and kinematics between subacute and chronic hemiparetic stroke[J]. *NeuroRehabilitation*, 2018, 42(2): 181—190.
 - [24] Mehrholz J, Thomas S, Elsner B. Treadmill training and body weight support for walking after stroke[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2017, 8(8): CD002840.
 - [25] Wallard L, Dietrich G, Kerlirzin Y, et al. Effects of robotic gait rehabilitation on biomechanical parameters in the chronic hemiplegic patients[J]. *Neurophysiol Clin*, 2015, 45(3): 215—219.
 - [26] Bazan R, Fonseca BHS, Miranda JMA, et al. Effect of robot-assisted training on unilateral spatial neglect after stroke: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2022, 36(8): 545—556.
 - [27] 陈春燕, 袁华, 惠楠, 等. 经颅磁刺激联合康复机器人训练对脑卒中患者偏侧忽略及视觉电生理的影响[J]. *海南医学*, 2020, 31(17): 2187—2190.
 - [28] 罗秋云, 覃建蓓, 钟丽芳. 经颅磁刺激联合康复机器人训练对脑卒中患者偏侧忽略及视觉电生理的影响[J]. *临床医学工程*, 2022, 29(7): 897—898.
 - [29] Yaksi E, Bahadir ES, Yasar MF, et al. The effect of robot-assisted gait training frequency on walking, functional recovery, and quality of life in patients with stroke[J]. *Acta Neurol Belg*, 2023, 123(2): 583—590.
 - [30] Bressi F, Cinnera AM, Morone G, et al. Combining robot-assisted gait training and non-invasive brain stimulation in chronic stroke patients: a systematic review[J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 795788.
 - [31] Park J, Chung Y. The effects of robot-assisted gait training using virtual reality and auditory stimulation on balance and gait abilities in persons with stroke[J]. *NeuroRehabilitation*, 2018, 43(2): 227—235.
 - [32] Lo K, Stephenson M, Lockwood C. The economic cost of robotic rehabilitation for adult stroke patients: a systematic review[J]. *JBIC Database System Rev Implement Rep*, 2019, 17(4): 520—547.