

下肢康复机器人及等速肌力训练对胸腰段脊髓损伤患者康复效果的影响

胡敏杰, 李志锋, 刘水根, 查磊, 李晓雅, 张艺帆

(深圳平乐骨伤科医院·深圳市坪山区中医院康复医学科 广东 深圳 518000)

摘要 **目的:** 探讨下肢康复机器人及等速肌力训练对胸腰段脊髓损伤患者康复效果的影响。**方法:** 选取2022年1月—2023年12月收治的120例胸腰段脊髓损伤患者, 采用随机数字表法分为对照组($n=60$, 采用常规训练+下肢康复机器人训练)和研究组($n=60$, 采用常规训练+下肢康复机器人训练+等速肌力训练), 比较两组患者膝关节、髋关节活动度, 步行功能和下肢肌力。**结果:** 与训练前比较, 两组患者训练4周后膝关节和髋关节活动度、脊髓损伤步行指数(WISCI II)、6min步行测试(6MWT)、屈肌群和伸肌群峰力矩(PT)、屈肌群和伸肌群力矩加速能(TAE)、腓绳肌与股四头肌肌力比率(H/Q)、髋伸肌肌力、髋屈肌肌力、髋外展肌肌力、踝跖屈肌肌力升高($P<0.05$), 两组患者训练4周后10m步行时间(10MWT)降低($P<0.05$), 且与对照组比较, 研究组患者训练4周后膝关节和髋关节活动度、WISCI II、6MWT、屈肌群和伸肌群PT、屈肌群和伸肌群TAE、H/Q、髋伸肌肌力、髋屈肌肌力、髋外展肌肌力、踝跖屈肌肌力更高($P<0.05$), 研究组患者训练4周后10MWT更低($P<0.05$)。**结论:** 下肢康复机器人及等速肌力训练应用于胸腰段脊髓损伤患者可改善膝关节、髋关节活动度, 提升步行功能和下肢肌力。

关键词 脊髓损伤; 康复机器人; 等速肌力训练; 关节活动度

中图分类号 R651.2 R493 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721(2024)06-1130-07

Rehabilitation effect of lower limb rehabilitation robot and isokinetic muscle strength training on patients with thoracolumbar spinal cord injury

HU Minjie, LI Zhifeng, LIU Shuigen, ZHA Lei, LI Xiaoya, ZHANG Yifan

(Department of Rehabilitation Medicine, Shenzhen Pingle Orthopedic Hospital/ Traditional Chinese Medicine Hospital of Pingshan District of Shenzhen City, Shenzhen 518000, China)

Abstract **Objective:** To explore the effectiveness of lower limb rehabilitation robot and isokinetic muscle strength training on patients with thoracolumbar spinal cord injury. **Methods:** From January 2022 to December 2023, 120 patients with thoracolumbar spinal cord injury were selected. They were divided into the control group ($n=60$) and the study group ($n=60$) using a random number table. The control group received the conventional training + lower limb rehabilitation robot training, while the study group received the conventional training + lower limb rehabilitation robot training + isokinetic muscle strength training. Knee and hip joint range of motion, walking function, and lower limb muscle strength of patients in the two groups were compared. **Results:** Compared with that before training, the knee and hip joint range of motion, walking index for spinal cord injury (WISCI II), 6-minute walking test (6MWT), peak torque (PT), torque acceleration energy (TAE), hamstrings to quadriceps ratio (H/Q), hip extensor strength, hip flexor strength, hip abductor strength, and ankle plantar flexor strength were all improved

收稿日期: 2024-05-08 录用日期: 2024-06-06

Received Date: 2024-05-08 Accepted Date: 2024-06-06

基金项目: 深圳市健康科研项目(2023211)

Foundation Item: Health Research Project of Shenzhen city (2023211)

通讯作者: 张艺帆, Email: dzxy1012@163.com

Corresponding Author: ZHANG Yifan, Email: dzxy1012@163.com

引用格式: 胡敏杰, 李志锋, 刘水根, 等. 下肢康复机器人及等速肌力训练对胸腰段脊髓损伤患者康复效果的影响[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2024, 5(6): 1130-1136.

Citation: HU M J, LI Z F, LIU S G, et al. Rehabilitation effect of lower limb rehabilitation robot and isokinetic muscle strength training on patients with thoracolumbar spinal cord injury[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024, 5(6): 1130-1136.

in both groups after 4 weeks of training ($P<0.05$). After 4 weeks of training, the 10 meter walking time (10MWT) of patients in the two groups was decreased ($P<0.05$), and the knee and hip joint range of motion, WISCI II, 6MWT, PT, TAE, H/Q, hip extensor strength, hip flexor strength, hip abductor strength, and ankle plantar flexor strength were higher in the study group than those in the control group ($P<0.05$), while the study group had lower 10MWT after 4 weeks of training than the control group ($P<0.05$).

Conclusion: The application of lower limb rehabilitation robot combining with isokinetic muscle strength training in patients with thoracolumbar spinal cord injury can improve their knee and hip joint mobility, enhance walking function and improve lower limb muscle strength of patients.

Key words Spinal Cord Injury; Rehabilitation Robot; Isokinetic Muscle Strength Training; Joint Range of Motion

胸腰段脊髓损伤作为一种严重的神经系统疾病,常常导致患者下肢功能受限,严重影响患者的日常生活质量和自理能力^[1]。随着医疗技术的不断进步,下肢康复机器人和等速肌力训练等先进康复手段逐渐应用于胸腰段脊髓损伤患者的康复治疗中,为患者带来了新的康复希望和可能性。下肢康复机器人作为一种智能化、精准化的康复设备,能够通过模拟人体自然步态,帮助患者进行下肢运动训练,提高肌肉力量和关节活动度^[2],这种治疗方式不仅能够减轻患者的痛苦,还能在一定程度上恢复患者的下肢功能,提高患者的生活质量^[3]。等速肌力训练则是一种针对肌肉力量的训练方法,通过控制运动速度,使肌肉在恒定的速度下进行收缩和放松,从而达到增强肌肉力量的目的^[4],这种训练方式可以有效提高患者的肌肉力量,改善患者的运动功能^[5]。下肢康复机器人与等速肌力训练的联合能够全方位提升患者的下肢运动功能和肌肉力量,形成互补效应,为患者提供更为全面、高效的康复治疗方案。与传统康复方法相比,下肢康复机器人与等速肌力训练的联合应用具有显著的优势。传统康复方法主要依赖人工操作和物理治疗,训练效率相对较低,且难以精确控制训练参数,而现代康复技术则通过康复机器人和等速设备的精确控制,实现了康复训练的个性化、精准化和高效化。然而,下肢康复机器人与等速肌力训练在理论上对胸腰段脊髓损伤患者的康复具有积极的影响,但实际的应用效果及其影响因素尚需进一步研究和探讨。因此,本研究旨在通过对比分析下肢康复机器人及等速肌力训练在胸腰段脊髓损伤患者康复中的应用效果,探讨其对患者康复效果的具体影响,为临床康复治疗提供科学依据和实践指导。

1 临床资料

选取2022年1月—2023年12月收治的120例胸腰段脊髓损伤患者,采用随机数字表法分为对照组($n=60$,采用常规训练+下肢康复机器人训练)和研究组($n=60$,采用常规训练+下肢康复机器人训练+等速肌力训练)。纳入标准:①经MRI诊断确诊为脊髓损伤,损伤平面在T10~L3;②损伤程度为不完全性损伤;③损伤分级为C级和D级;④均在医院签署知情同意书。排除标准:①损伤平面在颈段T10以上者;②损伤程度为完全性损伤者;③损伤分级为A级、B级和E级者;④腓肠肌和股四头肌的肌力在3级及以上,Holden步行功能分级在1级及以上;⑤意识、心理、精神有严重障碍者;⑥心、肺、肝、肾等方面存在严重疾病者;⑦既往发生过神经损伤以及肢体骨折者。两组患者基线资料比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,见表1。本研究获得医学伦理委员会的批准。

2 方法

2.1 对照组 采用常规训练联合下肢康复机器人训练。

2.1.1 常规训练

2.1.1.1 肌力耐力训练:①渐进式抗阻训练。根据患者的具体情况,逐步增加负重,以挑战身体,提高肌肉力量和耐力。②功能性电刺激。通过外部电流刺激受损区域,促进肌肉收缩,增强肌肉力量。

2.1.1.2 核心肌群及近端肢体稳定性训练:①核心肌肉训练。包括腹肌、背肌和臀部肌肉的训练,如平板支撑等,以增强腰部稳定性。②近端肢体稳定性训练。通过针对性的练习,如单腿站立、平衡板练习等,提高近端肢体的稳定性。

表 1 两组患者基线资料比较 [$\bar{x} \pm s, n(\%)$]Table 1 Comparison of baseline data between the two groups of patients [$\bar{x} \pm s, n(\%)$]

组别	例数	年龄 (岁)	性别		BMI (kg/m ²)	病程 (d)	损伤平面	
			男	女			T10~T12	L2~L4
研究组	60	36.97 ± 5.96	47 (78.33)	13 (21.67)	24.16 ± 1.32	20.73 ± 6.30	22 (36.67)	38 (63.33)
对照组	60	38.58 ± 5.01	50 (83.33)	10 (16.67)	23.76 ± 1.36	19.70 ± 5.74	25 (41.67)	35 (58.33)
t/χ^2 值		-1.609	0.484		1.635	0.939	0.315	
P 值		0.110	0.487		0.105	0.349	0.575	

2.1.1.3 关节活动度锻炼：包括被动关节活动度锻炼，以预防关节僵硬和肌肉萎缩，保持关节活动度。患者应在家人和医生的指导下定时翻身、拍背，进行肢体拉伸训练，每个关节可以拉伸 10 次，每天拉伸 1~2 次。此外，床旁锻炼、坐位平衡训练和站立训练也是常用的方法，有助于患者适应轮椅生活，提高生活自理能力。

2.1.1.4 力量训练：在脊髓稳定之后，逐步开展全身力量性训练，以增强肌肉力量和耐力。对于手部可以活动的患者，可以通过抓握训练，如抓乒乓球等方式锻炼抓握功能，待灵活度有所好转后再考虑力量练习。

2.1.1.5 本体感觉及平衡训练：①平衡功能训练。使用平衡板、平衡球等器械进行训练，提高患者的协调性和稳定性。②神经肌肉促进技术。通过特定的练习，激活和强化受损的神经-肌肉系统，促进本体感觉的恢复。

2.1.1.6 步态训练：①站立训练。在治疗师指导下，下肢佩戴矫形器进行站立训练，双手扶平行杠以保持平衡。②行走训练。在患者能够稳定站立后，进行行走训练，包括在平行杠内的行走和独立行走。

2.1.1.7 双上肢的肌力及耐力训练：通过握力器、拉力器等器械进行上肢的肌力训练。进行上肢的耐力训练，如持续握持重物、进行上肢的循环运动等。

2.1.1.8 日常生活活动训练：侧重于恢复患者日常生活所需的基本运动技能，如穿衣、洗澡、进食等，通过模拟日常生活场景，进行针对性训练，提高患者的自理能力和生活质量。

2.1.2 下肢康复机器人训练 主要采用广州一

康医疗设备实业有限公司生产的下肢智能反馈训练系统 (A1 型)，该系统集成了站立床、减重装置、踏板及智能反馈操作，该系统将减重支持、智能反馈及虚拟踏步训练融为一体，使患者在站立训练的同时实现下肢运动，模拟正常步行时的下肢关节动作。

2.1.2.1 双下肢肌力 0 级患者治疗方案：①全减重。由于患者双下肢肌力为 0 级，即完全无法进行肌肉收缩，因此需要采用全减重的模式，减轻下肢的负担，避免进一步损伤。②纯被动模式。通过物理治疗师或康复师的手动操作或利用康复设备如床上自行车等，进行纯被动的运动训练。这种训练可以帮助维持肌肉柔韧性，促进血液循环，预防关节僵硬，并保持关节的正常活动范围。③体会步行感觉输入。在纯被动训练的过程中，让患者尽量体会步行的感觉输入，有助于促进神经肌肉系统的康复。

2.1.2.2 双下肢肌力 1~2 级患者治疗方案：①肌肉反馈模式。针对已经具有一定肌电活动的患者，可以采用肌肉反馈的模式进行训练。例如利用肌电生物反馈电刺激疗法，通过外部电流刺激肌肉，激发其潜在功能，同时让患者感受到肌肉收缩的反馈。②功能性电刺激训练。类似于肌力 0 级患者的治疗方案，但此时可以更加注重功能性电刺激训练。通过特定的电流刺激，促进肌肉收缩，增强肌力，同时结合助力运动训练和其他免荷运动训练，以达到更好的康复效果。

2.1.2.3 有一定肌力但关键肌 ≥ 3 级患者治疗方案：①徒手抗阻训练。当患者的关键肌肌力达到一定程度时 (如 3~4 级)，可以开始进行

徒手抗阻训练。这种训练可以帮助患者逐步增强肌力，提高肌肉的抗阻能力。②器械抗阻训练。在徒手抗阻训练的基础上，可以进一步使用器械进行抗阻训练。这些器械可以提供更稳定、更精确的阻力，帮助患者更有效地增强肌力。③营养支持。在整个康复过程中，营养支持是非常重要的。富含蛋白质的食物如鸡蛋、牛奶、牛肉等可以帮助患者促进肌肉修复和生长。

2.2 研究组 采用常规训练联合下肢康复机器人训练及等速肌力训练。常规训练及下肢康复机器人训练同对照组。等速肌力训练采用美国 BIODEX 等速肌力评估训练系统 System 4 对双膝关节屈、伸肌群实施等速训练，频率为 1 次/天。训练过程中涉及 60°/s、90°/s、120°/s 三种运动速度，每种速度下训练持续 5 min，总计双膝训练时间为 30 min。治疗周期为每周 5 d，持续 4 周。两组训练每次持续 30 min，2 次/天，6 天/周，共治疗 4 周。这种综合训练方法旨在促进患者下肢功能的恢复与提升。

2.3 观察指标

2.3.1 关节活动度 于训练前和训练 4 周后使用量角器测患者膝关节、髋关节主动屈曲度，度数近正常则活动范围大、灵活性好，行走时步态矫正佳、稳定性高。

2.3.2 步行功能 于训练前和训练 4 周后测量 10 m 步行时间（10-Meter Walk Test, 10MWT），患者以最快速度通过 10 m 距离，记录耗时以计算步行速度。6 min 步行测试（6-Minute Walk Test, 6MWT），患者在 30.5 m 直线距离内往返

走动，速度自定，记录 6 min 内步行距离，包括休息和中止时间。脊髓损伤步行指数（Walking Index for Spinal Cord Injury II, WISCI II），根据患者步行 10 m 所需的辅助设备、矫形支具和身体接触帮助程度，评估 SCI 患者步行能力，分为 21 个级别，级别越高步行能力越强。

2.3.3 下肢肌力指标 于训练前和训练 4 周后使用美国 BIODEX 等速肌力训练系统 System 4，记录两组患者双膝关节屈、伸肌群的峰力矩（Peak Torque, PT）、力矩加速能（Torque Acceleration Energy, TAE）及腓绳肌与股四头肌肌力比率（Hamstring to Quadriceps Strength Ratio, H/Q）、髌伸肌肌力、髌屈肌肌力、髌外展肌肌力、踝跖屈肌肌力。

2.4 统计学方法 所有数据均采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析，计数资料以例数（百分比） $[n(\%)]$ 表示，组间比较行 χ^2 检验。等级资料行秩和检验。符合正态分布的计量资料用均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示，组与组之间行独立样本 t 检验，组内行配对 t 检验。以 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

3 结果

3.1 关节活动度 与训练前比较，训练 4 周后两组患者膝关节、髋关节活动度均升高，差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。训练 4 周后研究组患者膝关节、髋关节活动度均高于对照组，差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)，见表 2。

3.2 步行功能 与训练前比较，训练 4 周后两组患者 WISCI II、6MWT 均升高，差异具有统计

表 2 两组患者膝关节、髋关节活动度比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of knee and hip joint range of motion between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	膝关节活动度 (°)		髋关节活动度 (°)	
		训练前	训练 4 周后	训练前	训练 4 周后
研究组	60	16.15 \pm 3.95	66.63 \pm 11.84 ^a	16.42 \pm 4.64	100.35 \pm 7.48 ^a
对照组	60	16.77 \pm 4.18	44.28 \pm 9.45 ^a	17.18 \pm 5.34	63.92 \pm 12.80 ^a
t 值		-0.831	11.428	-0.840	19.041
P 值		0.408	<0.001	0.403	<0.001

注：与训练前比较，^a $P < 0.05$

学意义 ($P<0.05$)。训练 4 周后两组患者 10MWT 均降低, 差异具有统计学意义 ($P<0.05$)。且与对照组相比, 训练 4 周后研究组患者 WISCI II、6MWT 均更高 ($P<0.05$), 研究组患者 10MWT 更低, 差异具有统计学意义 ($P<0.05$), 见表 3。

3.3 下肢肌力 与训练前比较, 训练 4 周后两组患者屈肌群和伸肌群 PT、屈肌群和伸肌群 TAE、H/Q、髌伸肌肌力、髌屈肌肌力、髌外展

肌肌力、踝跖屈肌肌力升高, 差异具有统计学意义 ($P<0.05$)。且与对照组相比, 训练 4 周后研究组患者屈肌群和伸肌群 PT、屈肌群和伸肌群 TAE、H/Q、髌伸肌肌力、髌屈肌肌力、髌外展肌肌力、踝跖屈肌肌力更高, 差异具有统计学意义 ($P<0.05$), 见表 4。

4 讨论

胸腰段脊髓损伤是严重的神经系统损伤,

表 3 两组患者 WISCI II、6MWT、10MWT 比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Comparison of WISCI II, 6MWT and 10MWT between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	WISCI II (分)		6MWT (m)		10MWT (s)	
		训练前	训练 4 周后	训练前	训练 4 周后	训练前	训练 4 周后
研究组	60	11.25 ± 2.41	18.30 ± 2.64 ^a	57.65 ± 7.35	199.93 ± 61.73 ^a	30.75 ± 9.05	15.83 ± 3.61 ^a
对照组	60	10.78 ± 3.22	16.20 ± 3.29 ^a	56.63 ± 7.56	158.18 ± 51.70 ^a	31.62 ± 8.64	22.60 ± 5.13 ^a
t 值		0.899	3.852	0.747	4.016	-0.537	-8.350
P 值		0.370	<0.001	0.457	<0.001	0.592	<0.001

注: 与训练前比较, ^a $P<0.05$

表 4 两组患者下肢肌力比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 4 Comparison of lower limb muscle strength between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

项目	研究组 (n=60)	对照组 (n=60)	t 值	P 值	
屈肌群 PT (N.m)	训练前	11.70 ± 2.42	11.40 ± 2.49	0.670	0.504
	训练 4 周后	27.30 ± 3.50 ^a	19.90 ± 2.54 ^a	13.251	<0.001
伸肌群 PT (N.m)	训练前	27.52 ± 4.46	28.15 ± 3.42	-0.873	0.384
	训练 4 周后	47.65 ± 5.59 ^a	36.93 ± 4.80 ^a	11.269	<0.001
屈肌群 TAE (J)	训练前	3.77 ± 0.62	3.70 ± 0.62	0.589	0.557
	训练 4 周后	7.58 ± 0.67 ^a	5.30 ± 0.65 ^a	18.989	<0.001
伸肌群 TAE (J)	训练前	7.70 ± 1.55	7.27 ± 1.45	1.580	0.117
	训练 4 周后	16.15 ± 3.10 ^a	10.42 ± 2.32 ^a	11.472	<0.001
H/Q	训练前	38.52 ± 7.88	38.97 ± 7.03	-0.330	0.742
	训练 4 周后	63.68 ± 7.83 ^a	48.30 ± 7.77 ^a	10.802	<0.001
髌伸肌肌力 (N)	训练前	43.82 ± 8.50	42.72 ± 9.59	0.665	0.508
	训练 4 周后	51.97 ± 5.63 ^a	47.37 ± 9.28 ^a	3.281	0.001
髌屈肌肌力 (N)	训练前	55.23 ± 7.81	53.85 ± 9.73	0.859	0.392
	训练 4 周后	65.80 ± 9.53 ^a	58.72 ± 8.57 ^a	4.281	<0.001
髌外展肌肌力 (N)	训练前	43.60 ± 9.66	41.75 ± 8.37	1.121	0.264
	训练 4 周后	54.50 ± 7.91 ^a	47.60 ± 8.39 ^a	4.636	<0.001
踝跖屈肌肌力 (N)	训练前	43.93 ± 7.90	42.70 ± 3.43	1.109	0.270
	训练 4 周后	52.60 ± 5.48 ^a	47.25 ± 6.91 ^a	4.700	<0.001

注: 与训练前比较, ^a $P<0.05$

主要发生在胸部和腰部的脊髓部位，其发病率逐年上升，已成为威胁人类健康的一大难题^[6]。这种损伤往往导致患者下肢功能严重受损，出现肢体瘫痪、膀胱控制障碍等多种体征，严重影响了患者的生活质量^[7]。康复训练对于胸腰段脊髓损伤患者的重要性不言而喻。通过科学、系统的康复训练，患者能够恢复部分或全部的运动功能，提高生活质量，实现生活自理^[8]。然而，常规训练方法虽然有一定的效果，但在某些方面仍存在不足，如训练强度难以控制、训练效果不稳定等^[9]。近年来下肢康复机器人作为一种新型的康复设备，在脊髓损伤患者的康复训练中得到了广泛应用^[10]。它通过模拟人体下肢的运动，为患者提供精准、个性化的训练，有效弥补了常规训练的不足。目前，下肢康复机器人在胸腰段脊髓损伤患者的康复中已经取得了显著的应用效果^[11]。等速肌力训练作为一种先进的训练方法也在胸腰段脊髓损伤患者的康复中发挥了重要作用^[12]。它通过控制肌肉的运动速度，使肌肉在训练过程中始终保持恒定的速度，从而达到提高肌肉力量、改善肌肉协调性的目的。

本研究结果显示，训练4周后研究组患者膝关节与髋关节活动度、WISCI II、6MWT、屈肌群和伸肌群PT、屈肌群和伸肌群TAE、H/Q、髋伸肌肌力、髋屈肌肌力、髋外展肌肌力、踝跖屈肌肌力更高，10MWT更低。这提示下肢康复机器人及等速肌力训练应用于胸腰段脊髓损伤患者可改善膝关节、髋关节活动度，提升步行功能和下肢肌力。这是由于下肢康复机器人能够根据患者的具体情况制定个性化的训练方案，通过模拟人体下肢的自然运动，帮助患者进行关节活动度的训练。这种训练方式不仅精准，而且能够确保患者在安全的环境下进行训练，避免了因训练不当导致的损伤^[13-14]。等速肌力训练能够通过提供与肌肉力量相匹配的阻力，使肌肉在整个运动过程中始终保持恒定的速度^[15]。这种训练方法能够有针对性地强化患者的肌肉力量，改善肌肉协调性，从而提高膝关节、髋

关节的活动度^[16]。下肢康复机器人联合等速肌力训练对于改善患者的下肢肌力也有显著效果。通过个性化的训练方案和精准的训练参数控制，这种联合训练能够针对性地强化患者的肌肉力量，提高肌肉耐力，从而改善下肢的整体功能。与常规训练相比，联合训练更能够确保训练效果的一致性和稳定性，使患者在康复过程中获得更好的效果。

通过采用60°/s、90°/s、120°/s三种不同速度进行等速训练，能够全方位地锻炼膝关节和髋关节周围的肌肉群。这种多速度的训练模式可以刺激肌肉在不同速度下的适应能力，从而提高肌肉的协调性和力量，进而改善关节活动度。下肢康复机器人的站立训练能够模拟正常步行时的下肢关节动作，使患者在康复过程中逐渐恢复站立能力。通过站立床、减重装置和踏板的结合使用，下肢康复机器人能够辅助患者进行稳定地站立，并在这一过程中促进膝关节、髋关节的活动。下肢康复机器人提供的减重支持能够减轻患者在训练过程中的身体负担，使其能够更轻松地完成踏步训练^[17]。虚拟踏步训练则能够模拟实际步行中的动作，使患者在训练中逐渐适应步行时的关节活动模式，从而改善步行功能。智能反馈系统能够实时监测患者在训练过程中的动作和肌肉活动情况并提供及时的反馈^[18]。这种反馈机制能够帮助患者更好地调整自己的动作和姿势，确保训练的正确性和有效性。通过不断地优化动作和姿势，患者的膝关节、髋关节活动度以及下肢肌力都能够得到显著提升。

下肢康复机器人能够根据患者的具体情况进行个性化定制，通过准确的测量和运动控制，有效地对患者进行康复锻炼。下肢康复机器人允许患者在早期就开始进行步行训练，从而帮助其下肢肌力恢复、避免肌肉萎缩、维持及扩大关节活动度。下肢康复机器人能够模拟正常步态，帮助患者体验正常步行，从而改善下肢肌肉萎缩，并提高心肺及胃肠功能。等速肌力训练能够针对患者的特定肌肉群进行精确的力

量训练,有效增强下肢肌力^[19]。通过等速设备的精确控制,可以量化评估患者的肌力恢复情况,为康复训练提供科学依据。下肢康复机器人主要关注步态的恢复和关节活动度的提升,而等速肌力训练则注重肌肉力量的增强。两者在康复训练中相互补充,形成完整的康复体系。两者联合使用,能够产生协同效应,共同提升患者的康复效果^[20]。例如,下肢康复机器人提供的步态训练能够激活肌肉,而等速肌力训练则能够进一步巩固和增强这些肌肉的力量。相比单独治疗,联合治疗能够更全面地提升患者的康复效果。通过下肢康复机器人的步态训练和等速肌力训练的肌肉力量训练,患者的膝关节、髋关节活动度、步行功能和下肢肌力都能得到显著改善。相比常规训练,联合治疗具有更高的效率和更好的效果。常规训练主要依赖人工操作和物理治疗,训练效率相对较低,且难以精确控制训练参数。而联合治疗则通过下肢康复机器人和等速设备的精确控制,实现了康复训练的个性化、精准化和高效化。

综上所述,下肢康复机器人联合等速肌力训练通过综合运用站立训练、多速度训练、减重支持、虚拟踏步训练和智能反馈系统等多种手段,能够有效地改善胸腰段脊髓损伤患者的膝关节、髋关节活动度,提升步行功能和下肢肌力。这种综合训练方法不仅有助于患者恢复日常生活能力,还能够提高其生活质量。但本研究样本量相对较少,加之所有患者均来自同一医院,可能存在一定偏差,尚需开展大样本、多中心研究,来进一步论证结论的可靠性。

利益冲突声明: 本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明: 胡敏杰负责设计论文框架,起草论文;李志锋负责实验操作,研究过程的实施;刘水根、查磊负责数据收集,统计学分析,绘制图表;李晓雅负责论文修改;张艺帆负责拟定写作思路,指导撰写文章并最后定稿。

参考文献

[1] 陈思,李鹏,安恒远,等.胸腰段脊髓损伤患者康复初期肩部超声异常表现及危险因素分析[J].中国脊柱脊髓杂志,2022,32(4):356-361.

- [2] 夏晓咪,蒋孝翠,赵秦,等.序贯应用全身振动训练和下肢康复机器人训练对不完全性脊髓损伤患者下肢功能的影响[J].江苏医药,2022,48(8):801-804.
- [3] 周捷,汪红亮,王刚,等.下肢康复机器人在脊髓损伤康复中运用的研究进展[J].重庆医学,2023,52(1):162-163.
- [4] 热迪娜·亚生,再努热·阿不拉汗,阿依努尔·艾尼,等.重复经颅磁刺激联合等速肌力训练对不完全性脊髓损伤患者神经电生理指标下肢肌力和脊髓功能独立性的影响[J].现代生物医学进展,2021,21(19):3719-3722,3732.
- [5] 潘冉,王颖.截瘫三联针法联合等速肌力训练治疗胸腰段脊髓损伤[J].中医学报,2021,36(8):1786-1788.
- [6] 唐烁,王先斌,陈源,等.肺康复联合训练对颈胸段脊髓损伤患者的临床效果[J].贵阳医学院学报,2021,46(11):1321-1326,1332.
- [7] 曾波,王萍芝,高敏,等.核心训练联合高压氧治疗外伤性颈段不完全性脊髓损伤患者的康复效果分析[J].中华航海医学与高气压医学杂志,2024,31(1):7-11.
- [8] 郝娟,梁俊豪,黄英,等.中频电刺激联合康复训练对胸腰段不完全性脊髓损伤患者下肢肌力尿潴留及步态参数的影响[J].河北医学,2022,28(8):1370-1375.
- [9] 杨海霞,吴超伦,仝林,等.功能电刺激联合四肢联动对胸腰段不完全性脊髓损伤的康复效果[J].颈腰痛杂志,2022,43(5):775-776.
- [10] 廖晨霞,李伦兰,张新兰,等.机器人辅助训练下脊髓损伤患者康复效果的Meta分析[J].护士进修杂志,2022,37(23):2150-2157.
- [11] 王锋,李靖龙.下肢外骨骼机器人在脊髓损伤中的应用研究进展[J].实用医学杂志,2022,38(23):3012-3016.
- [12] 杨春琴,李玲霞,王明明,等.有氧运动配合核心肌群训练对脊髓损伤患者心肺功能及下肢肌力的影响[J].河北医学,2022,28(1):86-91.
- [13] 韩晓婷,金红芳,赵艳萍.下肢康复机器人在脑瘫患儿康复中的应用研究进展[J].医学综述,2023,29(9):1789-1793.
- [14] 杨瑞雪,王佳,李坚,等.机器人辅助步态训练对完全性脊髓损伤患者功能状态、行走和生活质量的影响[J].颈腰痛杂志,2022,43(6):885-887.
- [15] 姜林鸿,张广渊,齐瑞,等.等速肌力训练对卒中中偏瘫患者下肢运动功能康复效果的meta分析[J].中国康复医学杂志,2023,38(3):388-393.
- [16] 李雪飞,王伟伟,汪道静,等.等速肌力训练康复对卒中中偏瘫病人步行能力及免疫功能的影响[J].中西医结合心脑血管病杂志,2021,19(17):2998-3001.
- [17] Liu K P, Li L, Li W T, et al. Compliant Control of Lower Limb Rehabilitation Exoskeleton Robot Based on Flexible Transmission[J]. Journal of Bionic Engineering, 2023, 20(07): 1021-1035.
- [18] Almeida F, Carratalá H, Carratalá V, et al. Influence of lower-limb muscle power-related variables on the ippon-seoi-nage of elite judokas[J]. International Journal of Performance Analysis in Sport, 2022, 22(5): 670-683.
- [19] Seker A N, Arman N. Comparison of the Effects of Two Different Exercise Programs on Lower Limb Functions, Posture, and Physical Activity in Office Workers Working at Home and in Office Alternately: A Randomized Controlled Trial[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2023, 103(2): 134-142.
- [20] Saumur T M, Nestico J, Mochizuki G, et al. Associations Between Lower Limb Isometric Torque, Isokinetic Torque, and Explosive Force With Phases of Reactive Stepping in Young, Healthy Adults[J]. J Appl Biomech, 2022, 38(3): 190-197.

编辑: 赵敏