

康复机器人对卒中后手部运动功能效果的网状meta分析*

杨钰琳¹ 常万鹏¹ 丁江涛¹ 仵宵¹ 肖伯恒¹ 马丽虹^{1,2}

脑卒中是神经系统最常见的疾病之一,是全球致残最主要的因素^[1]。卒中后80%的患者会出现不同程度的肢体障碍,随着康复治疗的介入,仅有12%的患者手功能可以得到较好的改善^[2]。卒中后手功能的不良预后严重限制了患者日常生活的正常参与,如何使其最大限度地恢复已成为临床上亟待解决的问题。

常规康复治疗是改善卒中后手功能障碍的主要手段,但这种训练过程模式单一,患者易疲劳^[3]。2020版中国脑卒中康复指南认为,以目标为导向的训练可以提高卒中患者锻炼强度,且指南中强调了通过机械辅助来进行运动康复训练对患者功能改善的有效性^[4-5]。康复机器人是遵循此指南通过对卒中患者的患手进行集中、重复、强化训练,从而加速手功能恢复的一种辅助设备^[6]。康复机器人能够为卒中患者提供有目标的重复性练习,从而促进患者两侧大脑半球和运动神经的有效激活,并在训练过程中能实时监测患者运动功能的变化,使患者在增强训练积极性的同时提高康复效率^[7-8]。Rong等^[9]认为,远端关节的训练更有利于卒中患者手功能的恢复。由于手的复杂性,针对手功能的康复机器人分类方式较多,不同康复机器人是否会对卒中患者手功能产生不同疗效的机制尚未总结。本文主要依照控制部位和材料使用^[6,10-11],将手功能康复机器人分为了刚性外骨骼、软体手套和末端执行器三类,并通过循证医学的方法,将康复机器人分别与常规康复治疗进行比较,系统评价手功能康复机器人对脑卒中患者手部控制力、肌肉力量、运动力指数、灵巧度以及日常生活能力的影响,并比较不同手功能机器人的疗效差异,以期对卒中后手功能的临床康复提供循证依据。

1 资料与方法

本研究已在PROSPERO国际系统评价注册平台(<https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO>)注册(No. CRD42022370872)。

1.1 文献的纳入与排除标准

研究设计:脑卒中患者应用手功能康复机器人的随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)。

研究对象:脑卒中患者,符合全国第4届脑血管病学术会议制订的脑卒中诊断标准^[12],或其他类似标准;手功能障碍者,年龄均>18岁,且意识清晰,生命体征稳定。

干预措施:对照组为常规康复治疗,试验组在对照组基础上进行手功能康复机器人的训练,手功能康复机器人的类型包括刚性外骨骼、软体手套、末端执行器三类。

结局指标:①上肢及手部控制力和肌肉力量评定:上肢运动功能评定(Fugl-Meyer assessment upper extremity, FMA-UE);②上肢及手部运动力指数评定:运动力指数(motricity index, MI);③手功能灵巧度评定:箱块试验(box and blocks test, BBT);④腕关节肌张力评定:腕关节的改良版Ashworth分级(modified Ashworth scale wrist, MAS-wrist);⑤日常生活能力评定:Barthel指数(Barthel index, BI)。

排除标准:①非中、英文文献;②重复发表;③研究设计非RCT;④无基线情况;⑤原始数据不完整或无法提取数据,且与作者联系后无果;⑥与其他措施联合应用;⑦研究对象病种混杂;⑧会议论文摘要;⑨无所谓结局指标。

1.2 检索策略

由2名研究人员采用主题词结合自由词的方式,检索Cochrane Library、PubMed、Web of Science、Google Scholar、CBM、CNKI、VIP、Wanfang Data各数据库从建库至2022年8月。另外,补充人工检索纳入研究的参考文献及灰色文献等,确保检索的全面性。

中文检索式以知网为例:(手功能机器人 OR 外骨骼 OR 软体手套 OR 末端执行器 OR 康复机器人) AND (脑卒中 OR 脑血管意外 OR 脑中风 OR 脑血管中风 OR 偏瘫)。英文检索式以PubMed为例如下:

#1 (robotic[MeSH] OR exoskeleton OR exoskeleton devices OR soft glove OR soft robotic OR end effector)

#2 (stroke[MeSH] OR cerebrovascular accident OR CVA OR cerebrovascular apoplexy OR brain vascular accident OR cerebrovascular stroke OR cerebral stroke OR acute stroke OR hemiplegia)

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2024.02.015

*基金项目:山东省高等医学教育研究中心科研规划课题

1 山东中医药大学康复医学院,山东省济南市,250355; 2 通讯作者
第一作者简介:杨钰琳,女,硕士研究生; 收稿日期:2022-12-23

#3 (hand[MeSH] OR wrist OR fingers OR thumb OR metacarpus OR hand function)

#4 (randomized controlled trial[MeSH] OR random OR random allocation OR RCT)

#5 (#1 AND #2 AND #3 AND #4)。

1.3 文献筛选与资料提取

将检索的文献导入EndNote软件中并剔除重复文献,由2名研究者按纳入、排除标准对文献进行独立筛选和资料提取,并交叉核对,如遇分歧则咨询第三位研究者意见。资料提取内容包括基本信息、基线情况、干预措施、结局指标等。

1.4 文献质量评价

由2名研究者采用Cochrane系统评价手册5.1.0对纳入文献质量进行评估,评估内容包括①选择性偏倚:按随机序列生成方法是否恰当和分配方案隐藏是否完善进行评估;②实施偏倚:对受试者或研究人员和结局评估者施盲,按盲法是否完善进行评估;③随访偏倚:按结果数据是否完整,缺失数据是否恰当处理进行评估;④报告偏倚:按是否选择性报告结果进行评估;⑤其他偏倚。偏倚风险分别按高、低、不清楚三种情况进行评价。根据修订版Jadad量表对纳入文献进行质量评价,1—3分视为低质量,4—7分视为高质量。

1.5 统计学分析

采用RevMan 5.3软件进行meta分析和异质性分析。纳入的结局指标均为连续性变量,效应量采用均数差(mean difference, MD)表示,并计算95%置信区间(confidence interval, CI)作为效应量,同时结合 I^2 统计量定量判断异质性大小。当 $P \geq 0.05, I^2 \leq 50\%$,认为各文献间异质性不显著,采用固定效应模型;当 $P < 0.05, I^2 > 50\%$,认为各文献间异质性显著,采用随机效应模型,对于异质性结果可通过亚组分析、敏感性分析或进行定性描述的方法来探讨异质性来源,若无法确定异质性来源时,则仅做描述型分析。采用Stata17.0软件进行网状meta分析,首先绘制各结局指标网络证据图,再绘制网状meta分析表和累计概率图进行排序比较,最后绘制漏斗图检验各结局指标发表偏倚情况,检验水准: $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 文献检索结果

初步检索共获得文献513篇,其中Cochrane Library 190篇,PubMed 27篇,Web Of Science 52篇,Google Scholar

52篇,中国生物医学数据库45篇,中国知网数据库110篇,维普期刊数据库3篇,万方数据库34篇。经逐层筛选,最终纳入12篇^[13-24]。详细筛选流程及排除原因见图1。

2.2 纳入文献的基本特征

共纳入12篇文献,401例患者,涉及三种手功能康复机器人设备,其中刚性外骨骼3篇^[13-15]、软体手套6篇^[16-21]、末端执行器3篇^[21-24]。基本特征见表1。

2.3 纳入文献的方法学质量评价

所纳入的12篇文献均提及“随机分组”,其中9篇交代了具体随机方法,如数字表法和计算机随机法;7篇文献进行了“不透明信封”的分配隐藏;3篇文献对研究对象或干预者进行了盲法;5篇文献对结果测评实施了盲法;12篇文献结果数据完整、无选择性报告结果和其他偏倚风险情况均不清楚,见图2—3。根据修订版Jadad量表进行质量评价,高质量文献11篇,低质量文献1篇,平均4.83分,见表2。

2.4 meta分析

2.4.1 FMA-UE:7篇文献^[13-16,19,22,24],206例患者采用FMA-UE进行上肢和手的运动控制和肌肉力量评定,其中试验组105例,对照组101例。 $I^2=28\%, P>0.1$,各研究间异质性小,采用固定效应模型分析。结果显示,试验组FMA-UE评分显著高于对照组(MD=2.81, 95%CI 1.33—4.28, $P<0.05$)。见图4。

2.4.2 BBT:4篇文献^[13,16,20,22],145例患者采用箱块试验进行手功能灵巧度评定,其中试验组71例,对照组74例。 $I^2=0\%$,

图1 文献筛选流程

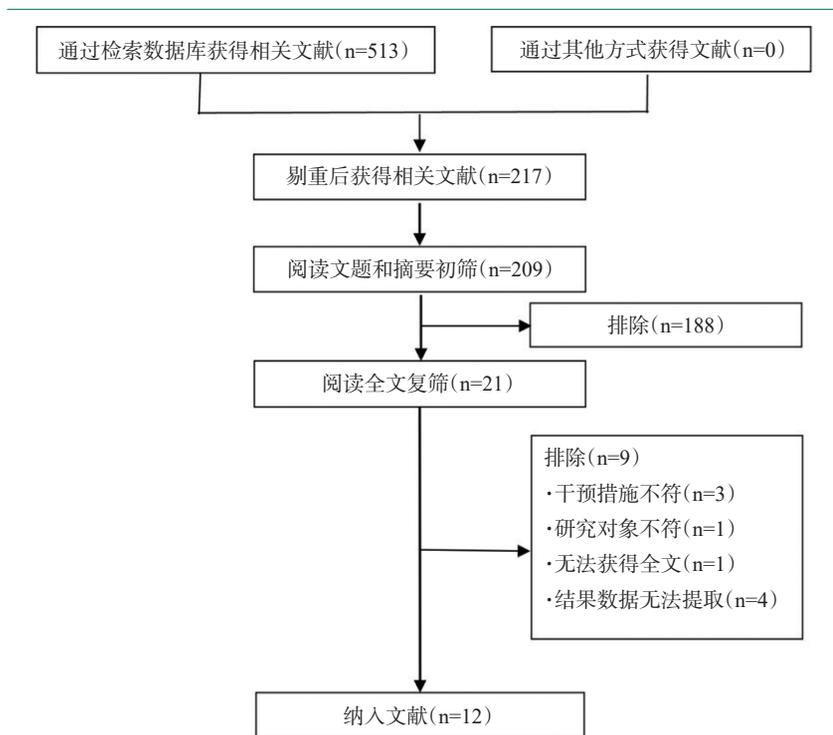


表1 文献纳入基本特征

纳入研究	国家	年龄		样本量 T/C	干预措施			测量时间	结局指标
		试验组	对照组		试验组	对照组	干预时间		
Hsu, 2021 ^[13]	中国	55.5±13.4	56.3±16.5	17/15	外骨骼机器人(辅助肌腱固定术诱导抓握外骨骼), 40min/次, 2次/周。	CRT	9周	9周/12周的随访	①②④
Singh, 2021 ^[14]	印度	41.1±12.8	42.7±9.3	12/11	外骨骼机器人(用于腕关节和手指关节的机电机器人), 45min/次, 5次/周。	CRT	4周	4周	①④⑤
Susanto, 2015 ^[15]	中国	50.7±9.0	55.1±10.6	9/10	外骨骼机器人(改良的手部外骨骼机器人), 60min/次, 3—5次/周。	CRT	5周	4周/6个月的随访	①
Friedman, 2014 ^[16]	美国	57±30.5	57±30.5	6/6	软体手套(Music Glove), 60min/次, 3次/周。	CRT	2周	5周/1个月的随访	①②
Villafane, 2018 ^[17]	意大利	67±11	70±12	16/16	软体手套(Gloreha), 30min/次, 3次/周。	CRT	3周	3周	③④⑤
Vanoglio, 2017 ^[18]	意大利	72±11	73±14	15/15	软体手套(Gloreha), 40min/次, 5次/周。	CRT	6周	6周	③
杨延辉, 2021 ^[19]	中国	55.1±10.1	54.8±10.3	25/25	软体手套(Handmate Pro), 30min/次, 10次/周。	CRT	12周	8周/12周	①⑤
Radder, 2019 ^[20]	荷兰	71±2	73±1	28/33	软体手套(ironHand), 180min/周。	CRT	4周	4周	②
侯莹, 2019 ^[21]	中国	60.3±13.46	59.3±12.33	30/25	软体手套(SPT-GI型手功能训练仪), 20min/次, 5次/周。	CRT	4周	1周/4周/2个月的随访	⑤
Sale, 2014 ^[22]	意大利	67.0±12.4	72.56±8.98	11/9	末端执行器(Amadeo机器人系统), 40min/次, 4—5次/周。	CRT	4/5周	4/5周/3个月的随访	①②③④
Orihuela, 2015 ^[23]	墨西哥	56.2±13.72	55.0±25.78	9/8	末端执行器(Amadeo机器人系统), 40min/次, 5次/周。	CRT	8周	8周	③
Calabro, 2019 ^[24]	意大利	65±3	64±3	25/25	末端执行器(Amadeo机器人系统), 45min/次, 5次/周。	CRT	8周	8周	①

注: T: 试验组; C: 对照组; CRT: 常规康复治疗(conventional rehabilitation therapy); ①FMA-UE; ②BBT; ③MI; ④MAS-wrist; ⑤BI

图2 偏倚风险比例

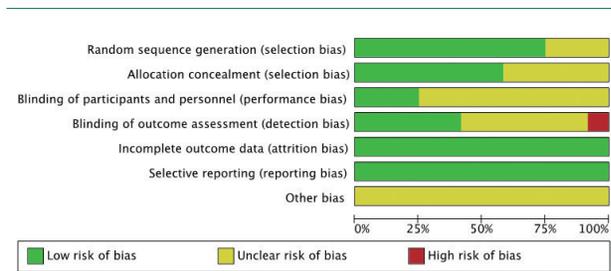


图3 偏倚风险总结图

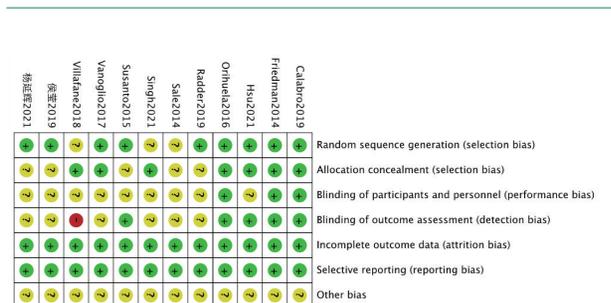


表2 纳入文献的Jadad量表评分

纳入研究	随机序列产生	随机化隐藏	盲法	撤出与退出	总分	质量
Hsu, 2021 ^[13]	2	2	0	1	5	高
Singh, 2021 ^[14]	1	2	0	1	4	高
Susanto, 2015 ^[15]	2	1	0	1	4	高
Friedman, 2014 ^[16]	2	2	2	1	7	高
Villafane, 2018 ^[17]	1	2	0	1	4	高
Vanoglio, 2017 ^[18]	2	2	0	1	5	高
杨延辉, 2021 ^[19]	2	1	0	1	4	高
Radder, 2019 ^[20]	2	1	0	1	4	高
侯莹, 2019 ^[21]	2	1	0	1	4	高
Sale, 2014 ^[22]	1	1	0	1	3	低
Orihuela, 2015 ^[23]	2	2	2	1	7	高
Calabro, 2019 ^[24]	2	2	2	1	7	高

注: 1—3分视为低质量, 4—7分视为高质量

$P>0.1$, 各研究间异质性小, 采用固定效应模型分析。结果显示, 试验组和对照组之间无显著性差异($MD=2.13$, $95\%CI -0.14-4.40$, $P>0.05$)。见图5。

2.4.3 MI: 4篇文章^[17-18, 22-23], 99例患者采用MI进行手部运动动力指数评定, 其中试验组51例, 对照组48例, $I^2=0\%$, $P>0.1$, 各研究间异质性小, 采用固定效应模型分析。结果显示, 试验组MI评分显著高于对照组($MD=7.59$, $95\%CI$

1.69—13.49, $P < 0.05$)。见图6。

2.4.4 MAS-wrist: 4 篇文献^[13-14, 17, 22], 107 例患者采用 MAS-wrist 进行腕关节的肌张力评定, 其中试验组 56 例, 对照组 51 例。 $I^2=0\%$, $P > 0.1$, 各研究间异质性小, 采用固定效应模型分析。结果显示, 试验组和对照组之间无显著性差异 ($MD = -0.04$, $95\%CI -0.28-0.21$, $P > 0.05$)。见图7。

2.4.5 BI: 4 篇文献^[14, 17, 19, 21], 160 例患者采用 BI 进行日常生活能力评定, 其中试验组 83 例, 对照组 77 例, $I^2=0\%$, $P > 0.1$, 各研究间异质性小, 采用固定效应模型分析。结果显示, 试验组 BI 评分显著高于对照组 ($MD = 7.60$, $95\%CI 3.38-11.81$, $P < 0.05$)。见图8。

2.5 网状 meta 分析

2.5.1 网络证据图: 各结局指标的网络关系见图9。各圆点分别代表不同干预措施, 圆点越大表明该干预措施病例数越多, 反之则越少。两圆点之间相连的线是两种干预措施之间存在直接比较的证据, 反之则无。实线越粗, 表明直接比较的证据越多, 反之越少。

2.5.2 网状 meta 分析结果: 各结局指标的网状 meta 分析结果见表3—7。在 FMA-UE 评分方面, 与常规康复治疗相比, 三种设备在提高 FMA-UE 评分方面均有显著性差异 ($P < 0.05$)。软体手套与刚性外骨骼和末端执行器之间具有显著性差异 ($P < 0.05$)。其余各组之间 FMA-UE 评分结果均无显著性差异 ($P > 0.05$)。

在 BBT 评分方面, 所有组之间 BBT 评分均无显著性差异 ($P > 0.05$)。在 MI 评分方面, 与常规康复治疗相比, 软体手套在提高 MI 评分方面具有显著性差异 ($P < 0.05$)。其余各组之间 MI 评分结果均无显著性差异 ($P > 0.05$)。在 MAS-wrist 评分方面, 所有组之间 MAS-wrist 评分均无显著性差异 ($P > 0.05$)。在 BI 评分方面, 与常规康复治疗相比, 软体手套在提高 BI 评分方面具有显著性差异 ($P < 0.05$)。其余各组之间 BI 评分结果均无显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.5.3 累计概率排序结果: 在各结局指标中, 累计概率图的曲线下面积越大代表疗效越好, 累计概率比较见图10。①在 FMA-UE 评分中, 优先概率排名结果为: 刚性外骨骼 (42.8%) > 软体手套 (30.3%) > 末端执行器 (26.5%) > 常规康复 (0.4%); ②在 BBT 评分中, 优先概率排名结果为: 软体手套 (46.2%) > 刚性外骨骼 (36.4%) > 末端执行器 (17.1%) > 常规康复 (0.3%); ③在 MI 评分中, 优先概率排名结果为: 软体手套 (80.1%) > 末端执行器 (19.9%) > 常规康复 (0.1%); ④在 MAS-wrist 评分中, 优先概率排名结果为: 刚性外骨骼 (64.0%) > 末端执行器 (27.7%) > 软体手套 (4.9%) > 常规康复 (3.4%); ⑤在 BI 评分中, 优先概率排名结果为: 软体手套 (89.0%) > 刚性外骨骼 (11.0%) > 常规康复 (0.0%)。

2.6 不良反应

纳入文献均未提及不良反应状况, 其中2 篇文献^[16, 20]对卒中患者进行了满意度调查, 均良好。

2.7 发表偏倚

因纳入文献量有限, 本文仅对 FMA-UE 结局指标进行发表偏倚检验, 结果显示漏斗图大致对称, 表示文章存在发表偏倚的可能性小, 见图11。

3 讨论

最新全球疾病负担研究显示, 我国总体脑卒中终生发病风险位居全球首位, 严重影响患者的日常生活, 是危害我国国民健康的重大非传染性疾病^[25]。手功能机器人作为一种

表3 FMA-UE 评分的网状 meta 分析结果

MD(95%CI)			
a			
- 10.26(- 16.35, - 4.77) ^①	b		
- 1.23(- 7.22, 4.76)	4.88(0.47, 9.29) ^①	c	
9.33(3.09, 15.57) ^①	15.44(10.71, 20.17) ^①	6.11(1.13, 11.09) ^①	d

注: a: 刚性外骨骼; b: 软体手套; c: 末端执行器; d: 常规康复治疗。① $P < 0.05$

表4 BBT 评分的网状 meta 分析结果

MD(95%CI)			
a			
2.45(- 12.56, 17.47)	b		
1.07(- 13.97, 16.10)	- 1.38(- 6.02, 3.25)	c	
- 0.43(- 15.10, 14.24)	- 2.88(- 6.12, 0.35)	- 1.50(- 4.82, 1.82)	d

注: a: 刚性外骨骼; b: 软体手套; c: 末端执行器; d: 常规康复治疗。

表5 MI 评分的网状 meta 分析结果

MD(95%CI)			
b			
7.55(- 4.81, 19.91)	c		
12.57(0.54, 24.6) ^①	5.02(- 7.43, 17.47)	d	

注: b: 软体手套; c: 末端执行器; d: 常规康复治疗。① $P < 0.05$

表6 MAS-wrist 评分的网状 meta 分析结果

MD(95%CI)			
a			
0.33(- 0.21, 0.87)	b		
- 0.63(- 3.92, 2.65)	- 0.96(- 4.27, 2.35)	c	
0.13(- 0.16, 0.42)	- 0.20(- 0.65, 0.25)	0.76(- 2.51, 4.03)	d

注: a: 刚性外骨骼; b: 软体手套; c: 末端执行器; d: 常规康复治疗。

表7 BI 评分的网状 meta 分析结果

MD(95%CI)			
a			
6.94(- 4.16, 18.04)	b		
- 1.86(- 11.96, 8.25)	- 8.79(- 13.43, - 4.16) ^①	d	

注: a: 刚性外骨骼; b: 软体手套; d: 常规康复治疗。① $P < 0.05$

图4 手功能康复机器人组与对照组FMA-UE比较

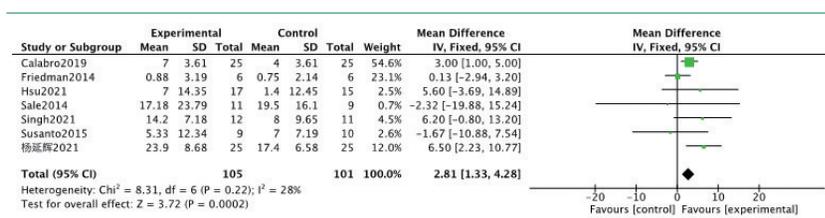


图5 手功能康复机器人组与对照组BBT比较

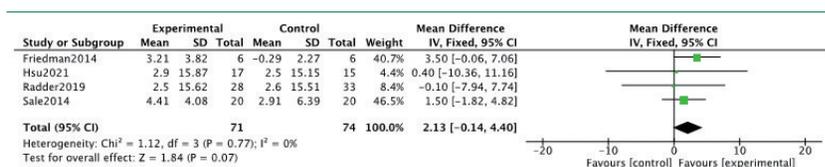


图6 手功能康复机器人组与对照组MI比较

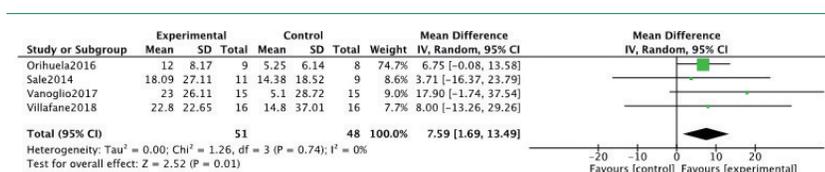


图7 手功能康复机器人组与对照组MAS-wrist比较

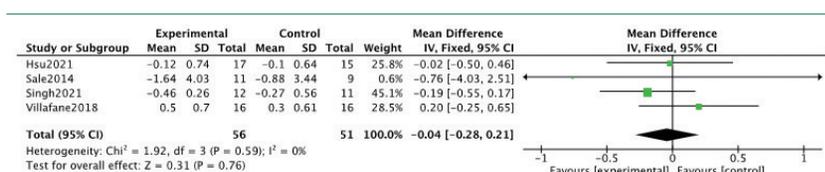


图8 手功能康复机器人组与对照组BI比较

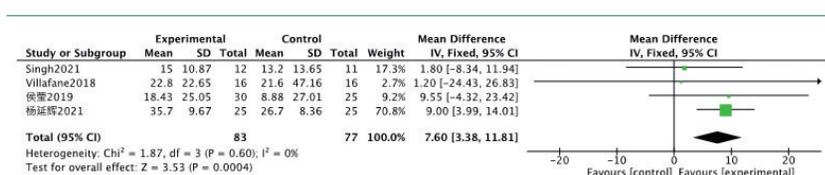
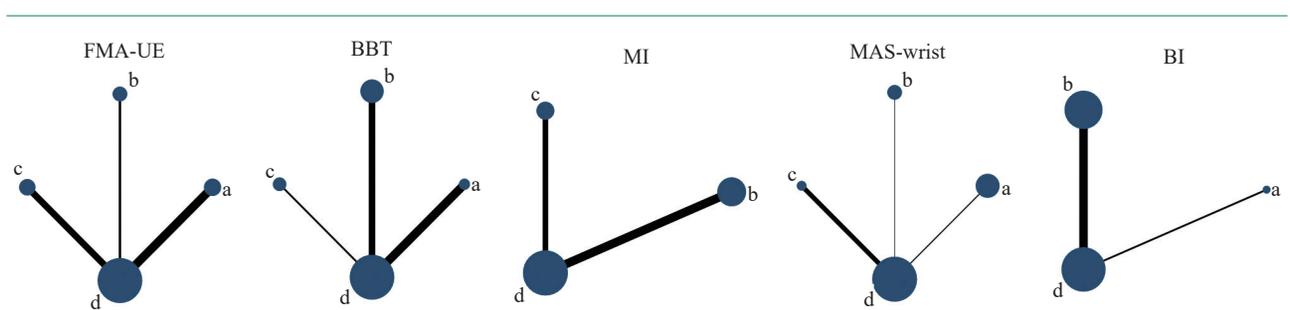


图9 网状meta分析网络证据图

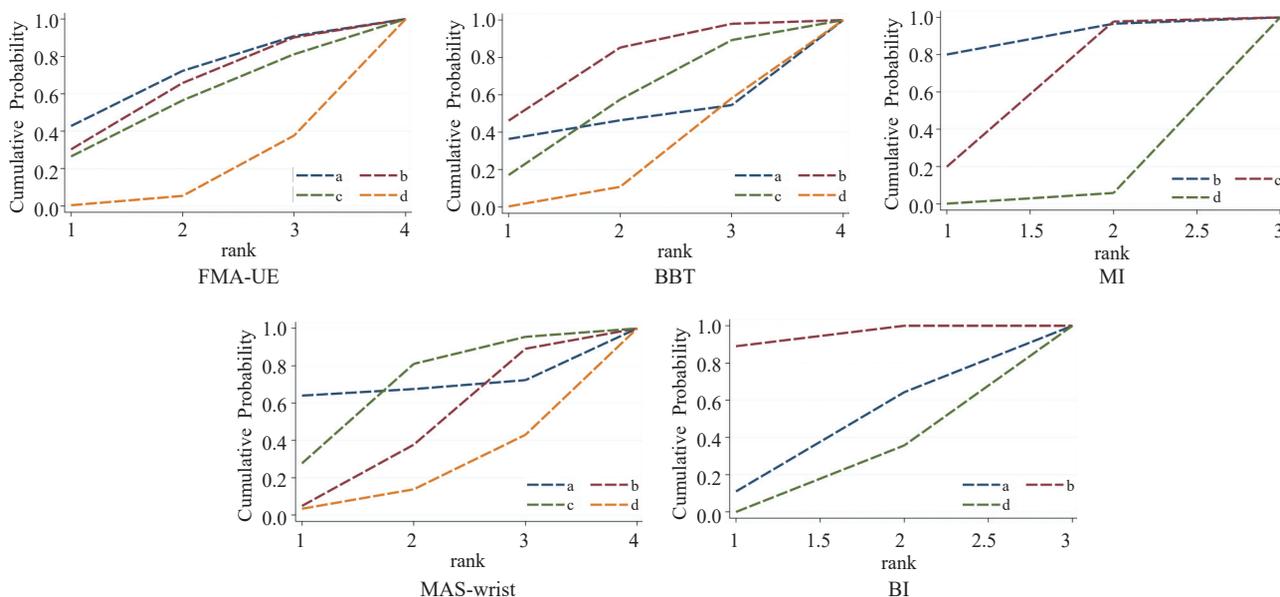


注:FMA-UE: 上肢Fugl-Meyer量表, BBT: Box and Blocks Test, 箱块测试, MI: Motricity index 上肢运动力指数量表, MAS-wrist: 腕关节的改良版 Ashworth 分级, BI: Barthel 指数。a: 刚性外骨骼; b: 软体手套; c: 末端执行器; d: 常规康复治疗。

康复辅助设备,可促进潜伏神经通路的启用和神经轴突发芽,促使运动功能改善和恢复,具有成本低、无创伤、无副作用和操作简单等优势^[26]。康复机器人作为一种辅助手段在临床中正受到广泛关注,本文从循证医学的角度,系统评价手功能康复机器人对脑卒中患者的康复疗效,并比较不同手功能机器人的疗效差异,为临床中脑卒中患者的康复提供应用价值和见解。

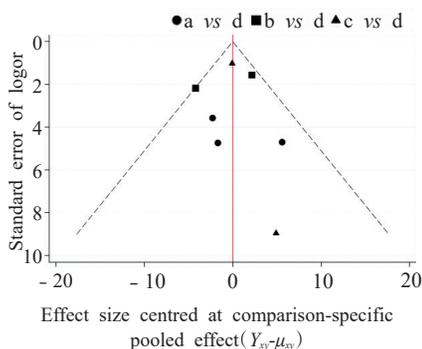
手功能障碍是阻碍脑卒中患者回归家庭和社会的主要原因,目前仍是卒中后临床治疗的重点问题^[27]。FMA-UE 量表被广泛应用于脑卒中患者上肢近端、远端关节的运动控制以及肌肉力量的评定,具有良好的信度和效度^[28]。研究结果显示,与常规康复治疗相比,手功能康复机器人可显著提高 FMA-UE 评分。皮质兴奋性和皮质脊髓束完整性被证明与脑卒中患者手功能恢复相关^[29-30]。功能磁共振成像显示,康复机器人干预后,大脑半球的运动感觉皮质出现了不对称激活,皮质间的功能连接性增加,相关神经元活动增强^[31]。基于“大脑可塑性理论”的研究同样表示,机器人通过外周高强度的重复训练,能够将损伤的神经干建立有效的突触连接,增加同侧病变运动区和扣带回前皮质的激活,形成优化的神经网络和运动程序,从而增强神经的可塑性^[2,32]。网状 meta 分析结果和各指标累计概率图显示,刚性外骨骼可能是提高卒中患者 FMA-UE 评分的最佳选择且各设备之间具有显著性差异。贾杰^[33]认为,运动训练联合感觉

图10 网状meta分析累计概率图



注:FMA-UE:上肢Fugl-Meyer量表, BBT: Box and Blocks Test, 箱块测试, MI: Motricity index 上肢运动力指数量表, MAS-wrist: 腕关节的改良版 Ashworth 分级, BI: Barthel 指数。a: 刚性外骨骼; b: 软体手套; c: 末端执行器; d: 常规康复治疗。

图11 以FMA-UE为结局指标的漏斗图



注:a: 刚性外骨骼; b: 软体手套; c: 末端执行器; d: 常规康复治疗。

输入可以增强神经肌肉控制, 形成“手-脑感知”的闭环通路。刚性外骨骼表现出最好的效果可能是因为其能紧密贴合手部, 控制每个手指活动, 在使用过程中将大脑感觉输入和运动输出相结合, 并对感知信息进行整合, 最后产生肌肉骨骼的正确运动模式^[14, 34], 其不仅能弥补软体手套和末端执行器无法与实物相接触的不足, 且具有比二者更高的精准度^[35]。这提示我们, 刚性外骨骼可作为改善脑卒中患者手部控制能力和肌肉力量的首选设备。

BBT是临床中测试患者手灵巧度的常用工具, 具有良好的信度和效度^[36]。研究结果和网状meta分析结果显示, 手功能康复机器人对手灵巧度改善不明显, 且各设备之间无显著

性差异, 这可能与纳入研究较少有关。各指标累计概率图显示, 软体手套表现出更优效果。软体手套材质轻、自由度大, 患者在执行任务活动时, 手的抓握和指捏动作在完成过程中束缚小, 有利于卒中患者手指充分活动^[6]。这提示我们软体手套可能在改善卒中患者手灵巧度能力时为首选设备。

MI是一种可以分析多种上肢运动的工具, 包括捏手等动作, 对于手功能运动损伤程度的评定具有良好的信度和效度^[37]。研究结果显示, 与常规康复治疗相比, 手功能康复机器人可显著提高MI评分。网状meta分析结果和各指标累计概率图显示, 软体手套可能是提高卒中患者MI评分的最佳选择。软体手套不仅可以进行主被动的手部辅助运动, 还可以让患者在辅助下执行简单的任务, 这种任务导向式的训练可能有助于加快运动功能的改善^[17, 22, 38], 这提示我们软体手套可能在改善卒中患者手运动力损伤时为首选设备。但该结局指标中, 因纳入研究有限, 并无刚性外骨骼设备对MI评分的影响, 这可能会对最终结论有一定影响, 我们对该研究结果需谨慎对待。

MAS-wrist被广泛应用于评估腕关节肌张力, 具有良好的信度和效度^[39]。研究结果和网状meta分析结果显示, 手功能康复机器人对手灵巧度改善不明显且各设备之间无显著性差异, 这可能与纳入研究较少有关。各指标累计概率图显示, 刚性外骨骼表现出更优效果。刚性外骨骼设备是通过对手配配有专门的线性微型电机来独立提供驱动力, 能够为手

提供平面运动,保证一定的运动范围,并防止患者手部过度弯曲或向外翻转的不良姿势^[40]。这提示我们刚性外骨骼可能在改善卒中患者手部肌张力时为首选设备。

BI是目前临床中应用最广泛的一种评定日常生活能力的工具,具有良好的信度和效度^[41]。研究结果显示,与常规康复治疗相比,手功能康复机器人可显著提高BI评分。网状meta分析结果和概率排序图显示,软体手套表现出更优效果。Polygerinos^[42]所用的软体手套能够增加功能性训练,使日常生活能力显著提高。这提示我们软体手套可能在改善卒中患者日常生活能力时为首选设备。但本文以BI为结局指标纳入的四项研究中有三项为软体手套,因此该meta分析结果存在一定的风险偏倚。

手功能康复机器人在临床中的应用处于初步发展阶段,这些机器人仍存在训练参数无法精准到每块损伤肌肉,训练任务大多停留于运动层面的改善而非活动水平训练^[43]等问题,这可能是导致腕关节肌张力和手部灵活度改善不明显的重要原因。

本研究的局限性:①本次纳入文献均为不同干预措施与常规康复治疗之间进行比较,不存在不同干预措施之间的两两比较,因此未形成闭环的网状关系;②5篇文献^[13,15-16,21-22]进行了随访,但报道结果不一,仍需更多随访报道手功能机器人对卒中后手功能疗效的影响;③干预时间3—9周不等,本研究无法判断干预周期与手功能改善的关系;④部分纳入文献未描述具体的随机方法、分配隐藏和盲发,可能影响meta分析结果;⑤本次纳入研究量较少,在网状meta分析中,对MI和BI两个结局指标进行分析时,未包含所有设备,故该结论需谨慎对待。

综上所述,临床中在改善脑卒中患者手部控制力、肌肉力量和腕关节肌张力时可首选刚性外骨骼设备,以确保关节在正常运动范围内,增强大脑皮质运动半球的激活,进而提高手部运动水平和改善腕关节肌张力。在改善手灵巧度和日常生活能力时可首选软体手套,能够更灵活的完成抓握和指捏动作。为确保结果的科学性,未来仍需更多高质量的RCT帮助我们增大样本量,改善效应估计值。

参考文献

[1] Alawieh A, Zhao J, Feng W. Factors affecting post-stroke motor recovery: Implications on neurotherapy after brain injury[J]. Behav Brain Res, 2018, 340: 94—101.
[2] Iwamoto Y, Imura T, Suzukawa T, et al. Combination of exoskeletal upper limb robot and occupational therapy improve activities of daily living function in acute stroke patients[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2019, 28(7): 2018—2025.
[3] Clarke DJ. Nursing practice in stroke rehabilitation: system-

atic review and meta-ethnography[J]. J Clin Nurs, 2014, 23(9—10): 1201—1226.
[4] 曲庆明, 贾杰. 脑卒中康复相关指南解读及展望[J]. 中国医刊, 2022, 57(5): 487—490.
[5] Zhang T, Zhao J, Li X, et al. Chinese stroke association guidelines for clinical management of cerebrovascular disorders: executive summary and 2019 update of clinical management of stroke rehabilitation[J]. Stroke Vasc Neurol, 2020, 5(3): 250—259.
[6] 张捷, 李源莉, 孟铭强. 脑卒中手功能康复机器人应用研究[J]. 华东科技, 2022(5):108—113.
[7] 李芳, 郑洁皎. 手康复机器人治疗脑卒中后手功能障碍的研究进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2016, 38(9): 709—712.
[8] Scobbie L, Mclean D, Dixon D, et al. Implementing a framework for goal setting in community based stroke rehabilitation: a process evaluation[J]. BMC Health Serv Res, 2013, 13: 190.
[9] Rong W, Li W, Pang M, et al. A neuromuscular electrical stimulation (NMES) and robot hybrid system for multi-joint coordinated upper limb rehabilitation after stroke[J]. J Neuroeng Rehabil, 2017, 14(1): 34.
[10] Park W, Jeong W, Kwon GH, et al. A rehabilitation device to improve the hand grasp function of stroke patients using a patient-driven approach[J]. IEEE Int Conf Rehabil Robot, 2013, 2013: 6650482.
[11] 郭晓辉, 王晶, 徐光华. 手部功能康复机器人研究最新进展[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(2): 235—240.
[12] 中华神经科学会, 中华神经外科学会. 各类脑血管疾病诊断要点[J]. 中华神经科杂志, 1996, 29(6): 60—61.
[13] Hsu HY, Yang KC, Yeh CH, et al. A tenodesis-induced-grip exoskeleton robot (TIGER) for assisting upper extremity functions in stroke patients: a randomized control study[J]. Disabil Rehabil, 2022, 44(23): 7078—7086.
[14] Singh N, Saini M, Kumar N, et al. Evidence of neuroplasticity with robotic hand exoskeleton for post-stroke rehabilitation: a randomized controlled trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2021, 18(1): 76.
[15] Susanto EA, Tong RK, Ockenfeld C, et al. Efficacy of robot-assisted fingers training in chronic stroke survivors: a pilot randomized-controlled trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2015, 12: 42.
[16] Friedman N, Chan V, Reinkensmeyer AN, et al. Retraining and assessing hand movement after stroke using the Music-Glove: comparison with conventional hand therapy and isometric grip training[J]. J Neuroeng Rehabil, 2014, 11: 76.
[17] Villafañe JH, Taveggia G, Galeri S, et al. Efficacy of short-term robot-assisted rehabilitation in patients with hand paralysis after stroke: a randomized clinical trial[J]. Hand

- (N Y), 2018, 13(1): 95—102.
- [18] Vanoglio F, Bernocchi P, Mulè C, et al. Feasibility and efficacy of a robotic device for hand rehabilitation in hemiplegic stroke patients: a randomized pilot controlled study [J]. *Clin Rehabil*, 2017, 31(3): 351—360.
- [19] 杨延辉, 陈树耿, 李秋霞, 等. 智能软体手功能康复机器人在脑卒中康复中的应用效果[J]. *临床医学研究与实践*, 2021, 6(33): 23—26.
- [20] Radder B, Prange-Lasonder GB, Kottink AIR, et al. Home rehabilitation supported by a wearable soft-robotic device for improving hand function in older adults: a pilot randomized controlled trial[J]. *PLoS One*, 2019, 14(8): e0220544.
- [21] 侯莹, 高琳, 陈苗苗, 等. 基于运动想象的手部机器人辅助训练对脑卒中患者上肢运动功能的疗效[J]. *中国康复理论与实践*, 2019, 25(1): 81—85.
- [22] Sale P, Mazzoleni S, Lombardi V, et al. Recovery of hand function with robot-assisted therapy in acute stroke patients: a randomized-controlled trial[J]. *Int J Rehabil Res*, 2014, 37(3): 236—242.
- [23] Orihuela-Espina F, Roldán GF, Sánchez-Villavicencio I, et al. Robot training for hand motor recovery in subacute stroke patients: a randomized controlled trial[J]. *J Hand Ther*, 2016, 29(1): 51—57, quiz 57.
- [24] Calabrò RS, Accorinti M, Porcari B, et al. Does hand robotic rehabilitation improve motor function by rebalancing interhemispheric connectivity after chronic stroke? Encouraging data from a randomised-clinical-trial[J]. *Clin Neurophysiol*, 2019, 130(5): 767—780.
- [25] 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.
- [26] 吴宏健, 李莉娜, 李龙, 等. 脑卒中后手功能康复机器人综合干预研究进展[J]. *生物医学工程学杂志*, 2019, 36(1): 151—156.
- [27] 黄斯霖, 古剑雄. 脑卒中后手功能康复治疗的研究[J]. *医学信息*, 2020, 33(24): 40—44.
- [28] Fugl-Meyer AR, Jääskö L, Leyman I, et al. The post-stroke hemiplegic patient. I. a method for evaluation of physical performance[J]. *Scand J Rehabil Med*, 1975, 7(1): 13—31.
- [29] Stinear CM, Barber PA, Smale PR, et al. Functional potential in chronic stroke patients depends on corticospinal tract integrity[J]. *Brain*, 2007, 130(Pt 1): 170—180.
- [30] 贾杰. 脑卒中后手功能康复应评价和治疗并重[J]. *上海医药*, 2014, 35(2): 6—9.
- [31] Rowe JB, Chan V, Ingemanson ML, et al. Robotic assistance for training finger movement using a Hebbian model: a randomized controlled trial[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2017, 31(8): 769—780.
- [32] Pinter D, Pegritz S, Pargfrieder C, et al. Exploratory study on the effects of a robotic hand rehabilitation device on changes in grip strength and brain activity after stroke [J]. *Top Stroke Rehabil*, 2013, 20(4): 308—316.
- [33] 贾杰. 脑卒中上肢康复: 手脑感知与手脑运动[J]. *中国康复医学杂志*, 2020, 35(4): 385—389.
- [34] Du J, Yang F, Hu J, et al. Effects of high- and low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on motor recovery in early stroke patients: evidence from a randomized controlled trial with clinical, neurophysiological and functional imaging assessments[J]. *Neuroimage Clin*, 2019, 21: 101620.
- [35] McConnell AC, Moioli RC, Brasil FL, et al. Robotic devices and brain-machine interfaces for hand rehabilitation post-stroke[J]. *J Rehabil Med*, 2017, 49(6): 449—460.
- [36] Platz T, Pinkowski C, Van Wijck F, et al. Reliability and validity of arm function assessment with standardized guidelines for the Fugl-Meyer test, action research arm test and box and block test: a multicentre study[J]. *Clin Rehabil*, 2005, 19(4): 404—411.
- [37] Malmut L, Lin C, Srdanovic N, et al. Arm subscore of motricity index to predict recovery of upper limb dexterity in patients with acute ischemic stroke[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2020, 99(4): 300—304.
- [38] Lewthwaite R, Winstein CJ, Lane CJ, et al. Accelerating stroke recovery: body structures and functions, activities, participation, and quality of life outcomes from a large rehabilitation trial[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2018, 32(2): 150—165.
- [39] Brashear A, Zafonte R, Corcoran M, et al. Inter- and intrarater reliability of the Ashworth scale and the disability assessment scale in patients with upper-limb poststroke spasticity [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2002, 83(10): 1349—1354.
- [40] Kabir R, Sunny MSH, Ahmed HU, et al. Hand rehabilitation devices: a comprehensive systematic review[J]. *Micro-machines (Basel)*, 2022, 13(7): 1033.
- [41] Collin C, Wade DT, Davies S, et al. The Barthel ADL index: a reliability study[J]. *Int Disabil Stud*, 1988, 10(2): 61—63.
- [42] Polygerinos P, Wang Z, Galloway KC, et al. Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation[J]. *Robotics and Autonomous Systems*, 2015, 73: 135—143.
- [43] Yue Z, Zhang X, Wang J. Hand rehabilitation robotics on poststroke motor recovery[J]. *Behav Neurol*, 2017, 2017: 3908135.