

·循证医学·

机器人辅助步态训练对脑性瘫痪儿童下肢运动功能影响Meta分析

姜晓煜¹, 毕鸿雁^{2*}, 孙文玉², 刘惠芬¹, 苏航¹, 姜佳慧¹

1 山东中医药大学康复医学院, 山东 济南 250355;

2 山东中医药大学附属医院, 山东 济南 250014

* 通信作者: 毕鸿雁, E-mail: hongyan_bi@163.com

收稿日期: 2022-10-28; 接受日期: 2022-12-20

基金项目: 山东省中医药科技重点项目(2020Z04); 山东省社会科学规划研究项目(22CTYJ18)

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2023.02013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



摘要 **目的:**采用Meta分析方法评价机器人辅助步态训练(RAGT)对脑性瘫痪(CP)儿童的下肢运动功能的影响。**方法:**计算机检索Cochrane Library、PubMed、Web of Science、Embase、中国学术期刊全文数据库(CNKI)、万方数据库(Wanfang Data)、维普中文期刊全文数据库(VIP)和中国生物医学文献数据库(CBM-disc)中关于RAGT治疗CP儿童的临床随机对照试验(RCTs),文献检索时限为从建库至2021年12月。主要结局指标包括CP儿童粗大运动功能评定GMFM-D区评分、GMFM-E区评分、伯格平衡量表(BBS)评分、功能性步行量表(FAC)评分、步速、六分钟步行试验(6MWT)评分、改良Ashworth量表(MAS)评分。由2名研究者独立按照纳入、排除标准筛选文献,完成对纳入文献的资料提取、质量评价和风险评估。根据Cochrane协作网提供的系统评价手册,采用RevMan 5.3软件进行Meta分析,通过P值和I²检验综合判断是否存在异质性,当P≥0.1, I²≤50%时,采用固定效应模型;当P<0.1, I²>50%时,采用随机效应模型。**结果:**本研究共纳入10项RCTs,纳入390例患者,其中对照组187例,试验组203例。Meta分析结果显示,与对照组比较,试验组GMFM-D区评分更高[SMD=0.58, 95% CI(0.29, 0.88), P=0.000 1], GMFM-E区评分更高[SMD=0.47, 95% CI(0.18, 0.77), P=0.001], BBS评分更高[MD=5.85, 95% CI(4.00, 7.70), P<0.000 01], FAC评分更高[MD=0.57, 95% CI(0.24, 0.91), P=0.000 8], 步速更快[MD=0.06, 95% CI(0.02, 0.10), P=0.009], 6MWT评分更高[MD=80.18, 95% CI(23.00, 137.36), P=0.006]; 2组MAS评分比较,差异无统计学意义[MD=-0.10, 95% CI(-0.32, 0.12), P=0.39]。**结论:**RAGT可有效改善CP儿童的粗大运动功能、平衡功能和步行功能等下肢运动功能。由于纳入研究的局限性,下一步研究仍需要开展高质量、多中心、大样本的RCTs,为临床提供更可靠的循证依据。

关键词 脑性瘫痪; 儿童; 机器人辅助步态训练; 平衡功能; 下肢运动功能; Meta分析

脑性瘫痪(cerebral palsy, CP)是一组持续性存在的中枢性运动和姿势发育障碍、活动受限综合征,由发育中的胎儿或婴儿非进行性脑损伤引起^[1-2]。CP儿童的运动障碍通常伴有感觉、知觉、认知、交流和行为障碍、癫痫和继发性肌肉骨骼问题^[3],CP儿童需要及时早期干预和治疗^[4]。

目前CP儿童的治疗措施主要包括运动疗法、传统康复治疗、蜡疗、肌电生物反馈等,这些方法虽具有一定疗效,但对患儿下肢运动功能的干预效果不佳。其原因可能是CP儿童接受运动疗法的早期康复干预,多为单纯被动运动,缺乏趣味性,儿童主动参与性较差;下肢步行与平衡功能的针对性干预相

引用格式:姜晓煜, 毕鸿雁, 孙文玉, 等. 机器人辅助步态训练对脑性瘫痪儿童下肢运动功能影响Meta分析[J]. 康复学报, 2023, 33(2): 172-179.

JIANG X Y, BI H Y, SUN W Y, et al. Effect of robot-assisted gait training on lower limb motor function of children with cerebral palsy: a meta-analysis [J]. Rehabil Med, 2023, 33(2): 172-179.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2023.02013

对较晚^[5-6]。机器人辅助步态训练(robotic-assisted gait training, RAGT)是近年来兴起的应用于CP儿童的康复训练技术,主动训练与被动辅助相结合,可以更早地对CP儿童进行下肢运动功能和步态的康复治疗,治疗更具趣味性,最大限度地调动CP儿童主动参与治疗的积极性,提高康复治疗效果^[7]。既往研究表明,RAGT可以安全有效地改善CP儿童的粗大运动功能、平衡功能、步行速度、耐力和步态等,进而增强其运动功能^[8-10]。RAGT基于CP儿童神经可塑性强的理论,通过高强度重复运动为基础的主动训练,促进CP儿童大脑皮质重组,形成正确的感觉-运动神经通路,改善CP儿童的运动和步行功能^[11]。但目前对RAGT干预CP儿童的疗效仍存在争议,有研究认为RAGT对CP儿童粗大运动功能和步态等具有积极的效果^[12-13];也有研究认为RAGT对CP儿童步行功能和肌张力等差异无统计学意义^[14-15]。为此,本研究采用Meta分析对国内外有关RAGT对CP儿童下肢运动功能影响的随机对照试验(randomized controlled trials, RCTs)进行系统评价,旨在为RAGT治疗CP儿童下肢运动功能障碍提供更多循证医学依据。

1 资料与方法

1.1 检索策略

通过计算机检索PubMed、Embase、Cochrane Library、Web of Science、中国学术期刊全文数据库(CNKI)、维普中文期刊全文数据库(VIP)、万方数据库(Wanfang Data)、中国生物医学文献数据库(CBM-disc)中有关RAGT干预CP儿童的RCTs。检索策略采用主题词及自由词相结合的方式。中文检索词为脑瘫、脑性瘫痪、康复机器人、机器人辅助步态训练、随机、随机对照等;英文检索词为cerebral palsy, cerebral palsies, little disease, spastic diplegia, rehabilitation robot, robotic-assisted gait training, randomized controlled trial, randomized等。检索时间为建库至2021年12月1日。

1.2 纳入标准与排除标准

1.2.1 纳入标准 ①研究类型:RCTs,中文或英文文献;②研究对象:存在下肢运动功能障碍的CP儿童^[16];③干预措施:对照组采取常规康复治疗(如运动疗法中悬吊训练、Boabth疗法、任务导向性疗法、跑步机训练等);试验组采用以RAGT为主的康复方法;④结局指标:粗大运动功能评估量表[gross motor function measure-88(GMFM-88),GMFM-66]

中GMFM-D区(站立)和E区(行走与跑跳)评分、伯格平衡量表(Berg balance scale, BBS)评分、功能性步行量表(functional ambulation category, FAC)评分、步速、六分钟步行试验(6-minute walk test, 6MWT)、改良Ashworth量表(modified Ashworth scale, MAS)评分等。

1.2.2 排除标准 ①比较特定干预措施未说明是RAGT的研究;②结局数据不完整、试验设计不完整;③综述、会议报告、文摘等;④重复发表或无法获取全文。

1.3 文献筛选与数据提取

由2名研究者独立使用Endnote X8进行文献筛选。首先进行文献查重,按照设定好的纳入和排除标准阅读文献的标题和摘要,必要时进行全文阅读,如果遇到分歧,由研究小组集体讨论解决。在Excel中进行资料收集,提取的文献资料信息包括:第一作者、发表年份、国家或地区、样本量、性别、年龄、干预措施(试验组和对照组)、干预时长和结局指标。信息提取结束后对数据进行交叉核对,若数据信息不一致时,与第3名具有高级职称的研究员协商解决。

1.4 文献质量评价

由2名研究者独立采用Cochrane协作网提供的偏倚风险评估工具(Cochrane 5.1.0版本)进行文献质量评价^[17]。评估偏倚包括:①随机数列的生成;②隐藏方案是否分配;③是否对研究者和受试者采用盲法;④结局指标的评估是否采用盲法;⑤结果数据是否完整;⑥是否有选择性报告结果;⑦是否有其他偏倚来源。评价结束后,双方将评价结果交换核对,如果遇到分歧,由研究小组讨论解决。

1.5 统计学方法

使用RevMan 5.3软件对纳入的文献进行数据分析。研究中所有结局指标均为连续性数据,对使用的量表和测量方法相同的计量资料采用加权均数差(mean differences, MD)表示,对使用量表不同或测量方法不同的计量资料采用标准化均数差(standardised mean differences, SMD)表示,并给出95%置信区间(confidence interval, CI)。采用 I^2 和 P 值评估异质性。当 $P \geq 0.1$, $I^2 \leq 50\%$,表明各研究之间有同质性或异质性较小,采用固定效应模型进行Meta分析;反之,当 $P < 0.1$, $I^2 > 50\%$ 时,表明各研究之间具有异质性,采用随机效应模型进行Meta分析,并通过敏感性分析或亚组分析寻找异质性来源。通过绘制倒漏斗图分析是否存在发表偏倚。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 纳入文献一般情况

共检索到398篇文献,其中中文文献166篇,英文文献232篇。经排除重复文献、阅读题目和摘要、阅读全文筛选,最终纳入10项RCTs^[13-15,18-24]进行Meta分析。共纳入390例患者,其中对照组187例,试验组203例。文献筛选流程图见图1。

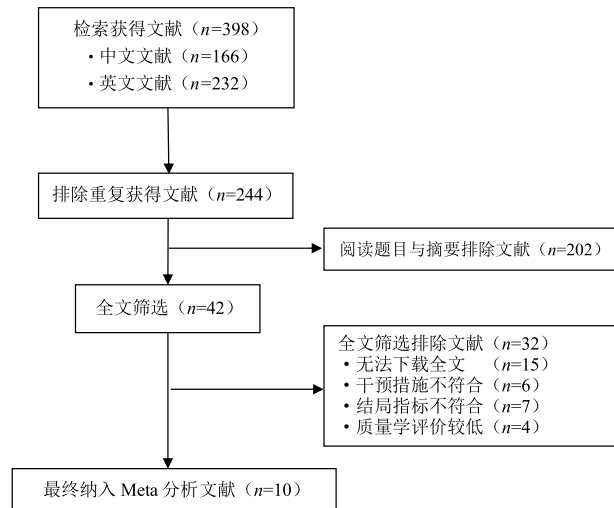


图1 文献筛选流程图

Figure 1 Flow chart of literature screening

2.2 纳入文献的基本特征

纳入文献的一般特征见表1。

表1 纳入研究基本特征

Table 1 Basic characteristics of included studies

纳入研究	国家	例数		年龄/岁		干预措施		干预剂量	疗程	结局指标
		试验组	对照组	试验组	对照组	试验组	对照组			
叶楠等2020 ^[18]	中国	41	41	5.42±1.03	5.53±1.11	A+B	B	30 min/次,1次/d	3个月	①②
马梦梦2018 ^[19]	中国	42	42	5.70±1.60	5.40±1.50	A+B	B	30 min/次,1次/d	3个月	①③④
朱敏杰2016 ^[20]	中国	18	18	5.00~16.00	5.00~16.00	A+B	B	20 min/次,1次/d,6次/周	8周	⑤
金星等2012 ^[21]	中国	16	16	5.35±0.43	5.02±0.78	A+B	B	20 min/次,1次/d,6次/周	8周	⑤
马婷婷等2021 ^[15]	中国	15	15	8.27±2.74	9.82±2.68	A+B	B	30 min/次,5次/周	8周	③⑤⑥
WU等2017 ^[22]	美国	11	10	8.30±1.20	9.60±1.70	A+B	B	30~40 min/次,3次/周	6周	⑤⑥
WALLARD等2018 ^[13]	法国	14	16	10.80±2.30	10.60±3.00	A	B	40 min/次,共20次	4周	④⑤
WU等2017 ^[14]	美国	10	10	11.30±3.80	10.50±2.80	A+B	B	40 min/次,3次/周	6周	②④⑤⑥
PERI等2017 ^[23]	意大利	10	10	9.30±3.90	8.00±3.00	A+B	B	30 min/次,4次/周	10周	⑤⑥
DRUZBICKI等2013 ^[24]	波兰	26	9	8.40±1.11	8.10±2.10	A+B	B	45 min/次,共20次	4周	④

注:A为RAGT;B为常规康复治疗;① BBS评分;② MAS评分;③ FAC评分;④ 步速;⑤ GMFM-D区、GMFM-E区评分;⑥ 6MWT评分。

Note: A is RAGT; B is routine rehabilitation; ① BBS score; ② MAS score; ③ FAC score; ④ gait speed; ⑤ GMFM-D, GMFM-E scores; ⑥ 6MWT score.

2.3 纳入文献的质量评价

共纳入10项RCTs^[13-15,18-24],其中3项RCTs^[21,23-24]未明确提出具体的随机分配方法;1项RCT^[22]使用分配隐藏方法;所有RCTs^[13-15,18-24]均未对受试者和干预者采用盲法;2项RCTs^[15,19]对结果指标评价者实施盲法;4项RCTs^[14-15,22,24]报道脱落人数,并描述脱落原因;所有RCTs^[13-15,18-24]均对预设结局指标进行描述;所有RCTs^[13-15,18-24]均不清楚是否存在其他偏倚来源。纳入文献偏倚风险评估见图2。

2.4 Meta分析

2.4.1 粗大运动功能D区(站立) 7项RCTs^[13-15,20-23]报道GMFM-88或GMFM-66量表D区(站立)评分。经异质性检验,各研究间无明显异质性($P=0.22$, $I^2=27%$),故采用固定效应模型进行分析。结果显示,试验组GMFM-D区(站立)评分明显高于对照组,差异具有统计学意义[SMD=0.58,95% CI(0.29, 0.88), $Z=3.87$, $P=0.0001$]。见图3。

2.4.2 粗大运动功能E区(行走与跑跳) 7项RCTs^[13-15,20-23]报道GMFM-88量表或GMFM-66量表中的E区(行走与跑跳)评分。经异质性检验,各研究间无异质性($P=0.48$, $I^2=0%$),故采用固定效应模型进行分析。结果显示,试验组GMFM-E区(行走与跑跳)评分明显高于对照组,差异具有统计学意义[SMD=0.47,95% CI(0.18,0.77), $P=0.001$]。见图4。

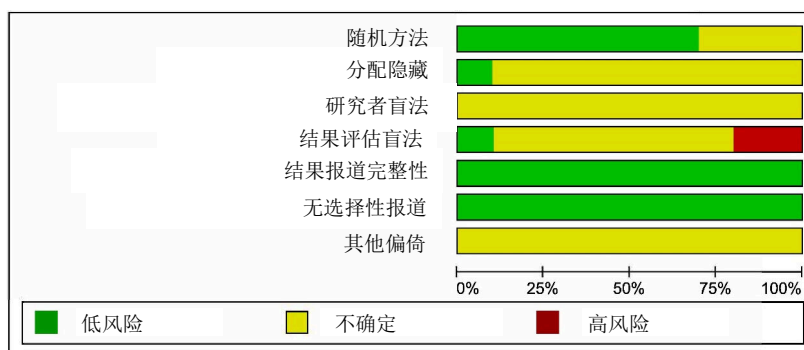


图2 文献偏倚风险评估

Figure 2 Bias risk assessment of included studies

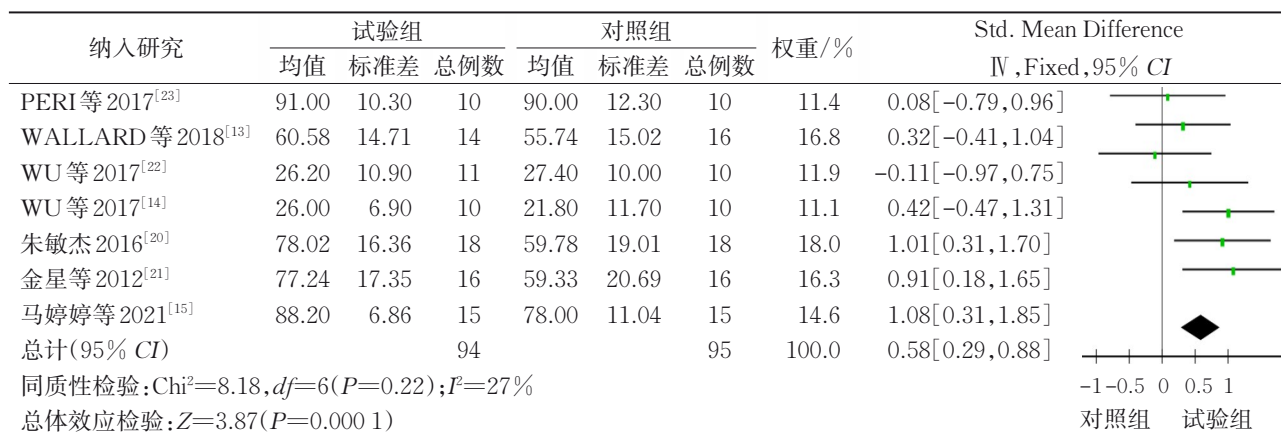


图3 2组GMFM-D评分比较

Figure 3 Comparison of GMFM-D score between two groups

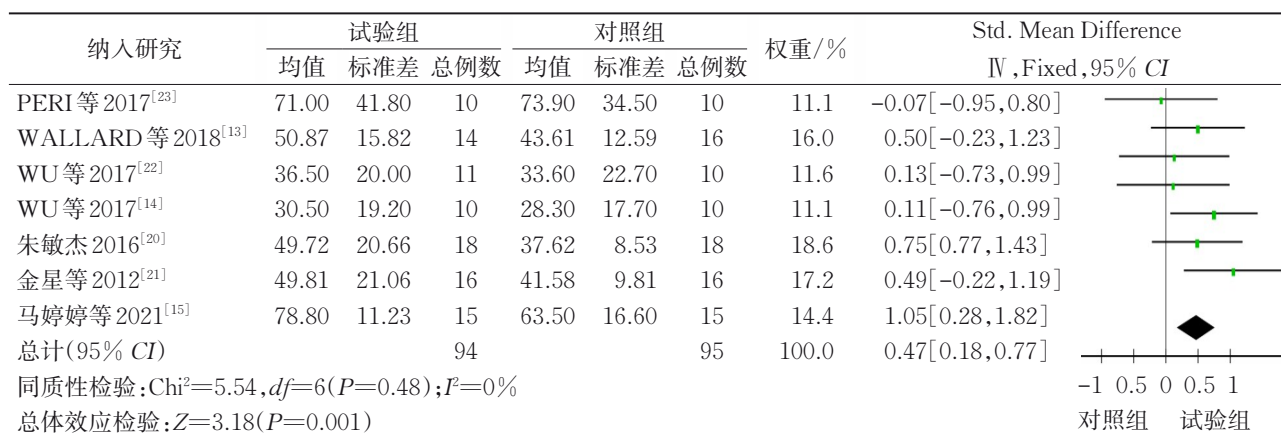


图4 2组GMFM-E评分比较

Figure 4 Comparison of GMFM-E score between two groups

2.4.3 BBS 评分 2项RCTs^[18-19]报道了CP儿童BBS评分。经异质性检验,各研究间无异质性($P=0.21, I^2=36\%$),故采用固定效应模型进行分析。结果显示,试验组BBS评分明显高于对照组,差异具有统计学意义[$MD=5.85, 95\% CI(4.00, 7.70), P<0.0001$]。见图5。

2.4.4 FAC 评分 2项RCTs^[15,19]报道了CP儿童FAC评分。经异质性检验,各研究间无异质性($P=0.53, I^2=0\%$),故采用固定效应模型进行分析。结果显示,试验组FAC评分明显高于对照组,差异具有统计学意义[$MD=0.57, 95\% CI(0.24, 0.91), P=0.0008$]。见图6。

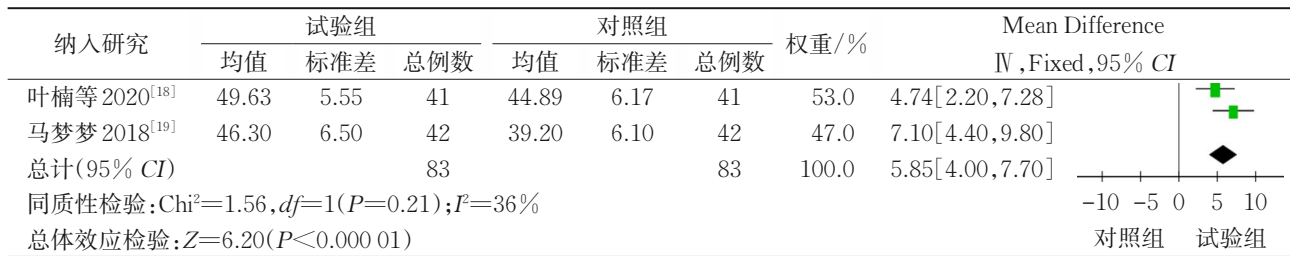


图5 2组BBS评分比较

Figure 5 Comparison of BBS score between two groups

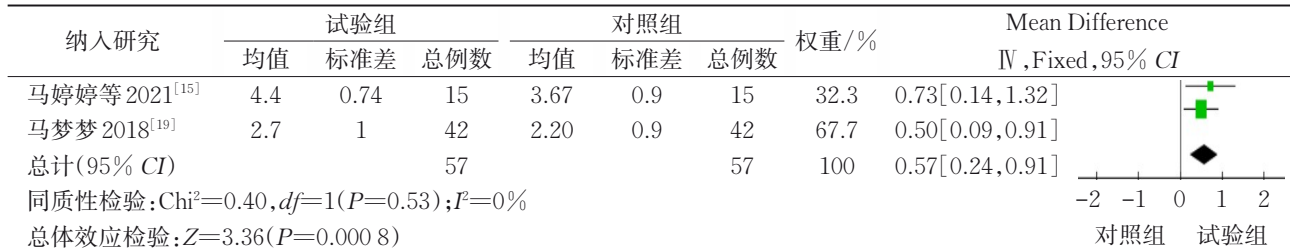


图6 2组FAC评分比较

Figure 6 Comparison of FAC score between two groups

2.4.5 步速 4项RCTs^[13-14,19,24]报道了CP儿童步速。试验组步速评分明显高于对照组,差异具有统计学意义[$MD=0.06, 95\% CI(0.02, 0.10), P=0.009$]。经异质性检验,各研究间无异质性($P=0.25, I^2=28\%$),故采用固定效应模型进行分析。结果显示,见图7。

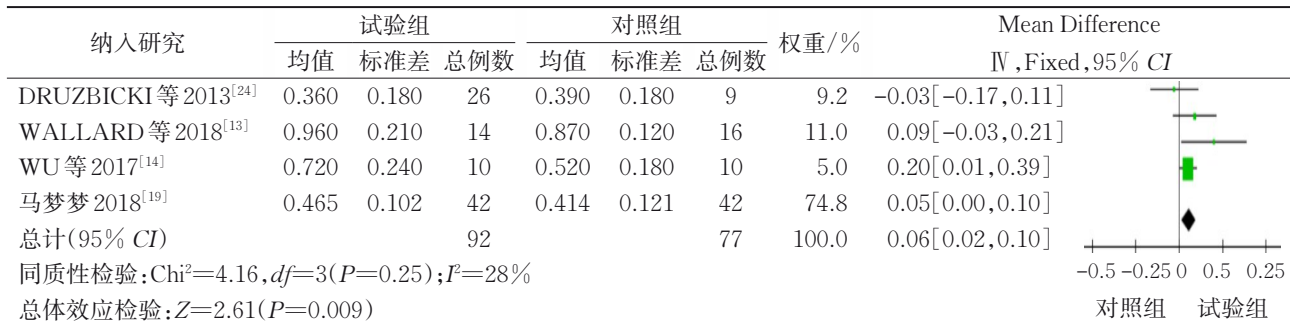


图7 2组步速比较

Figure 7 Comparison of step speed between two groups

2.4.6 6MWT评分 3项RCTs^[14-15,23]报道了CP儿童6MWT评分。经异质性检验 $P=0.14, I^2=48\%$,并进行敏感性分析发现,1项RCT^[23]组间差异较大,剔除后,2组间无异质性($P=0.52, I^2=0\%$),故采用固定效应模型进行分析。结果显示,试验组6MWT评分明显高于对照组,差异具有统计学意义[$MD=80.18, 95\% CI(23.00, 137.36), P=0.006$]。见图8。

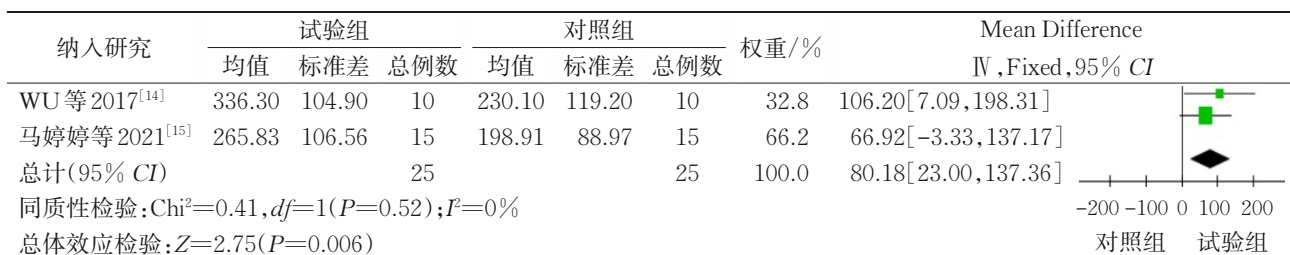


图8 2组6MWT评分比较

Figure 8 Comparison of 6MWT score between two groups

2.4.7 MAS评分

3项RCTs^[14,18,22]报道了CP儿童MAS评分。经异质性检验,各研究间无异质性($P=0.39, I^2=0\%$),

故采用固定效应模型进行分析。结果显示,试验组BBS评分与对照组差异无统计学意义[$MD=-0.10, 95\%CI(-0.32, 0.12), P=0.39$]。见图9。

纳入研究	试验组			对照组			权重/%	Mean Difference IV, Fixed, 95% CI
	均值	标准差	总例数	均值	标准差	总例数		
WU等2017 ^[22]	0.67	0.6	11	0.65	0.36	10	27.6	0.02[-0.40, 0.44]
WU等2017 ^[14]	0.83	0.66	10	0.68	0.56	10	16.8	0.15[-0.39, 0.69]
叶楠等2020 ^[18]	1.32	0.72	41	1.55	0.64	41	55.6	-0.23[-0.52, 0.06]
总计(95% CI)			62			61	100	-0.10[-0.32, 0.12]
同质性检验: $Chi^2=1.90, df=2(P=0.39); I^2=0\%$								
总体效应检验: $Z=0.87(P=0.39)$								

图9 2组MAS评分比较

Figure 9 Comparison of MAS score between two groups

2.4.8 发表偏倚分析 以GMFM-D和GMFM-E为指标绘制发表偏倚漏斗图,图形分布基本对称,各研究散点均在倒漏斗图范围内,提示本研究存在发表偏倚的可能性较小。见图10、图11。

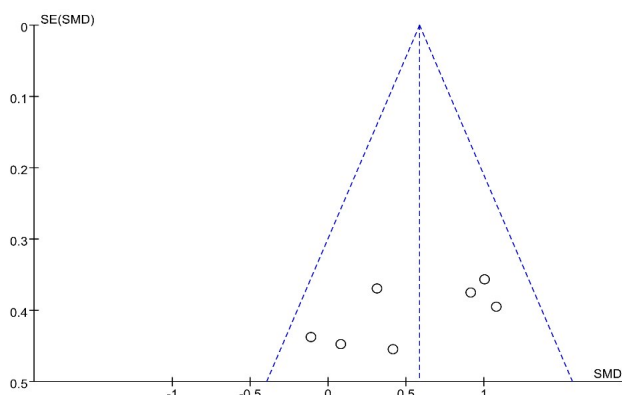


图10 纳入研究GMFM-D漏斗图

Figure 10 Funnel plot analysis of GMFM-D of included studies

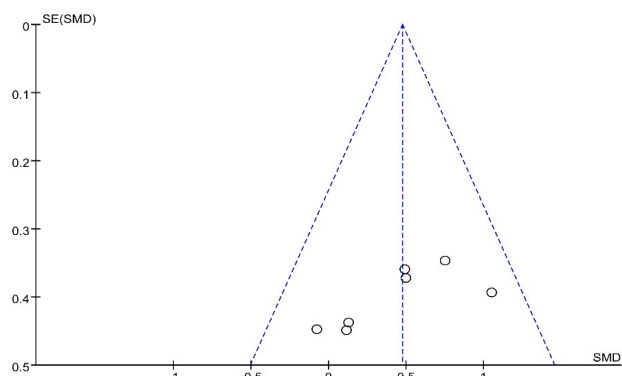


图11 纳入研究GMFM-E漏斗图

Figure 11 Funnel plot analysis of GMFM-E of included studies

3 讨论

3.1 RAGT可以有效改善CP儿童粗大运动功能

本研究结果显示,试验组粗大运动功能D区(站立)和E区(行走和跑跳)评分明显高于对照组,提示RAGT可改善CP儿童的粗大运动功能。与KLOBUCKÁ等^[25]研究结果一致。其可能与以下原因有关:① CP儿童往往伴有中枢神经运动损伤,RAGT可以根据CP儿童的行走意图协助站立和行走,在引导动作重复较高的情况下进行积极的训练,促进CP儿童运动学习和皮质重组,可以有效激活肌肉,改善其粗大运动功能。② 依据神经可塑性原理,CP儿童神经可塑性强,通过RAGT训练输入正确的运动和感觉,诱导运动皮层的改善,有利于脑部神经功能重组,改善CP儿童粗大运动功能中站立、行走与跑跳运动,提高其下肢运动功能。这与PERPETUINI等^[26]采用神经影像学技术发现RAGT可以改善运动和额叶皮层的大脑活动,提高CP儿童下肢运动功能的研究结果一致。

3.2 RAGT可以有效改善CP儿童平衡功能

本研究结果显示,试验组BBS评分明显高于对照组,表明RAGT可以改善CP儿童的平衡功能。其作用机制可能是RAGT重复高强度的训练在一定程度上加强CP儿童外周的感觉刺激,不断地对错误动作进行改正,产生有效的本体感觉反馈,改善CP儿童运动控制的能力,提高平衡和姿势控制能力,促进其平衡功能的改善。在RAGT辅助下,CP儿童可以更早进行动态平衡训练,提高注意力与运动控制,改善平衡功能,促进下肢运动功能恢复。与WU等^[22]认为RAGT训练应用骨盆外辅助可增强髂外展肌和内收肌的肌肉激活及运动控制,改善CP儿童平衡功能的结果一致。此外,本研究纳入文献均未有

RAGT不良事件报道,具有较好的安全性。

3.3 RAGT可以有效改善CP儿童步行功能

本研究结果显示,试验组FAC、6MWT评分和步速明显高于对照组,提示RAGT可以有效改善CP儿童步行功能。与VAN HEDEL等^[27]研究结果一致。可能与以下因素有关:① RAGT符合运动再学习理论中的强化、重复、针对特定任务训练等,通过在减重状态下模拟正常的步行周期,及早进行以目标为导向、可长期重复、运动一致、对称、符合正常人生理的步态模式训练,增强运动学习和神经可塑性,促进CP儿童步行功能改善^[25]。② RAGT基于感觉运动学习理论,提供一个安全、简化和支持性的环境、支持视觉反馈和触觉学习,通过对步态和感官刺激不同阶段的密集和重复模拟帮助CP儿童重新获得功能性步态,改善步行和下肢运动功能^[13]。

3.4 本研究局限性

① 部分纳入文献随机试验方法设计不够严谨、规范,未对盲法、分配隐藏等进行描述;② 纳入研究多为小样本RCTs,且多停留在短期临床疗效观察上,只有少数文献对远期疗效进行评价;③ 纳入研究的机器人辅助设备类型不同以及运动处方(如强度、持续时间、频率等)均不完全相同;④ 结局评价的时间点不尽相同,且多数研究疗效观察指标存在一定的主观性,缺乏统一的疗效评定标准。以上均可能造成系统评价的偏倚,对结果的可靠性造成一定影响,甚至可能会夸大临床疗效。

4 小结

RAGT可以有效改善CP儿童粗大运动功能、平衡功能、步行功能等下肢运动功能,临床疗效较好,值得推广。但未来我们仍需要开展更多高质量、多中心、大样本的RCTs研究,进一步探讨CP儿童的最佳RAGT运动处方及辅助设备等,以期RAGT治疗CP儿童提供更为可靠的证据。

参考文献

[1] WIMALASUNDERA N, STEVENSON V L. Cerebral palsy [J]. *Pract Neurol*, 2016, 16(3): 184-194.

[2] VITRIKAS K, DALTON H, BREISH D. Cerebral palsy: an overview [J]. *Am Fam Physician*, 2020, 101(4): 213-220.

[3] PETERSON M D, HURVITZ E A. Cerebral palsy grows up [J]. *Mayo Clin Proc*, 2021, 96(6): 1404-1406.

[4] NOVAK I, MORGAN C, ADDE L, et al. Early, accurate diagnosis and early intervention in cerebral palsy: advances in diagnosis and treatment [J]. *JAMA Pediatr*, 2017, 171(9): 897-907.

[5] SADOWSKA M, SARECKA-HUJAR B, KOPYTA I. Cerebral palsy: current opinions on definition, epidemiology, risk factors, classification and treatment options [J]. *Neuropsychiatr Dis Treat*,

2020, 16: 1505-1518.

[6] MCCOY S W, PALISANO R, AVERY L, et al. Physical, occupational, and speech therapy for children with cerebral palsy [J]. *Dev Med Child Neurol*, 2020, 62(1): 140-146.

[7] REYES F, NIEDZWECKI C, GAEBLER-SPIRA D. Technological advancements in cerebral palsy rehabilitation [J]. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 2020, 31(1): 117-129.

[8] KIM S K, PARK D, YOO B, et al. Overground robot-assisted gait training for pediatric cerebral palsy [J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21(6): 2087.

[9] UENO T, WATANABE H, KAWAMOTO H, et al. Feasibility and safety of Robot Suit HAL treatment for adolescents and adults with cerebral palsy [J]. *J Clin Neurosci*, 2019, 68: 101-104.

[10] KAWASAKI S, OHATA K, YOSHIDA T, et al. Gait improvements by assisting hip movements with the robot in children with cerebral palsy: a pilot randomized controlled trial [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2020, 17(1): 87.

[11] HEMAYATTALAB R, ARABAMERI E, POURAZAR M, et al. Effects of self-controlled feedback on learning of a throwing task in children with spastic hemiplegic cerebral palsy [J]. *Res Dev Disabil*, 2013, 34(9): 2884-2889.

[12] 马婷婷,张皓. 机器人辅助步态训练对痉挛型脑性瘫痪患儿运动和步行功能的效果[J]. *中国康复理论与实践*, 2021, 27(11): 1260-1265.

MA T T, ZHANG H. Effect of robotic-assisted gait training on motor and walking for children with spastic cerebral palsy [J]. *Chin J Rehabil Theory Pract*, 2021, 27(11): 1260-1265.

[13] WALLARD L, DIETRICH G, KERLIRZIN Y, et al. Effect of robotic-assisted gait rehabilitation on dynamic equilibrium control in the gait of children with cerebral palsy [J]. *Gait Posture*, 2018, 60: 55-60.

[14] WU M, KIM J, GAEBLER-SPIRA D J, et al. Robotic resistance treadmill training improves locomotor function in children with cerebral palsy: a randomized controlled pilot study [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2017, 98(11): 2126-2133.

[15] 马婷婷,张皓. 下肢康复机器人改善痉挛型脑性瘫痪儿童步行移动功能的物理治疗研究进展[J]. *中国康复理论与实践*, 2021, 27(2): 171-176.

MA T T, ZHANG H. Advance in physiotherapy of robot-assisted lower limb rehabilitation for walking function in children with spastic cerebral palsy (review) [J]. *Chin J Rehabil Theory Pract*, 2021, 27(2): 171-176.

[16] 中国康复医学会儿童康复专业委员会,中国残疾人康复协会小儿脑性瘫痪康复专业委员会,《中国脑性瘫痪康复指南》编委会. 中国脑性瘫痪康复指南(2015):第一部分[J]. *中国康复医学杂志*, 2015, 30(7): 747-754.

Pediatric Rehabilitation Committee of Chinese Association of Rehabilitation Medicine, Children's Cerebral Palsy Rehabilitation Professional Committee of China Association of Rehabilitation of Disabled Persons, Editorial Board of Guidelines for Rehabilitation of Cerebral Palsy in China. Guidelines for rehabilitation of cerebral palsy in China (2015): part I [J]. *Chin J Rehabil Med*, 2015, 30(7): 747-754.

[17] CUMPSTON M, LI T J, PAGE M J, et al. Updated guidance for trusted systematic reviews: a new edition of the Cochrane Hand-

- book for Systematic Reviews of Interventions [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2019, 10: ED000142.
- [18] 叶楠, 樊启红, 陈治江, 等. 下肢机器人辅助步态训练对脑性瘫痪患儿康复效果及生活质量的影响研究[J]. *中国医学装备*, 2020, 17(11): 94-97.
- YE N, FAN Q H, CHEN Z J, et al. Influence study of lower limb robot-assisted gait training on rehabilitation effects and quality of life of children patients with cerebral palsy [J]. *China Med Equip*, 2020, 17(11): 94-97.
- [19] 马梦梦. 下肢机器人配合悬吊训练对脑瘫患儿步行能力的影响分析[J]. *中国疗养医学*, 2018, 27(7): 728-730.
- MA M M. Effect of lower limb robot combined with suspension training on walking ability of children with cerebral palsy [J]. *Chin J Conval Med*, 2018, 27(7): 728-730.
- [20] 朱敏杰. 康复机器人在脑性瘫痪患儿康复治疗中的疗效观察[J]. *中国实用医药*, 2016, 11(29): 283-284.
- ZHU M J. Observation of curative effect by rehabilitation robot in rehabilitation therapy for cerebral palsy children [J]. *China Pract Med*, 2016, 11(29): 283-284.
- [21] 金星, 孟兆祥, 尹正录, 等. 康复机器人辅助步行训练对脑瘫患儿步行能力的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2012, 27(9): 822-824.
- JIN X, MENG Z X, YIN Z L, et al. The effects of robot-aided walking training on the walking ability in children with cerebral palsy [J]. *Chin J Rehabil Med*, 2012, 27(9): 822-824.
- [22] WU M, KIM J, ARORA P, et al. Effects of the integration of dynamic weight shifting training into treadmill training on walking function of children with cerebral palsy: a randomized controlled study [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2017, 96(11): 765-772.
- [23] PERI E, TURCONI A C, BIFFI E, et al. Effects of dose and duration of robot-assisted gait training on walking ability of children affected by cerebral palsy [J]. *Technol Health Care*, 2017, 25(4): 671-681.
- [24] DRUŽBICKI M, RUSEK W, SNELA S, et al. Functional effects of robotic-assisted locomotor treadmill therapy in children with cerebral palsy [J]. *J Rehabil Med*, 2013, 45(4): 358-363.
- [25] KLOBUCKÁ S, KLOBUCKÝ R, KOLLÁR B. The effect of patient-specific factors on responsiveness to robot-assisted gait training in patients with bilateral spastic cerebral palsy [J]. *NeuroRehabilitation*, 2021, 49(3): 375-389.
- [26] PERPETUINI D, RUSSO E F, CARDONE D, et al. Identification of functional cortical plasticity in children with cerebral palsy associated to robotic-assisted gait training: an fNIRS study [J]. *J Clin Med*, 2022, 11(22): 6790.
- [27] VAN HEDEL H J A, ROSSELLI I, BAUMGARTNER-RICKLIN S. Clinical utility of the over-ground bodyweight-supporting walking system Andago in children and youths with gait impairments [J]. *J NeuroEngineering Rehabil*, 2021, 18(1): 29.

Effect of Robot-Assisted Gait Training on Lower Limb Motor Function of Children with Cerebral Palsy: A Meta-Analysis

JIANG Xiaoyu¹, BI Hongyan^{2*}, SUN Wenyu², LIU Huifen¹, SU Hang¹, JIANG Jiahui¹

¹ School of Rehabilitation Medicine, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan, Shandong 250355, China;

² The Affiliated Hospital of Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan, Shandong 250014, China

*Correspondence: BI Hongyan, E-mail: hongyan_bi@163.com

ABSTRACT Objective: To evaluate the effect of robot-assisted gait training (RAGT) on lower limb motor function of children with cerebral palsy (CP) by meta-analysis. **Methods:** Data were searched from the Cochrane Library, PubMed, Web of Science, Embase, CNKI, Wanfang Data, VIP and CBMdisc databases. The randomized controlled trials (RCTs) of RAGT on children with CP were included, and the retrieval time was from inception to December 2021. The main outcome measures were GMFM-D and GMFM-E scores of the gross motor function measure (GMFM), Berg balance scale (BBS), functional ambulation category (FAC) scale, walking speed, 6-minute walk test (6MWT), modified Ashworth scale (MAS). Two researchers conducted literature screening, data extraction, quality evaluation and risk assessment independently according to the inclusion and exclusion criteria. RevMan 5.3 software was used for meta-analysis according to the systematic evaluation manual provided by the Cochrane Collaboration Network. The statistical heterogeneity was assessed by probability value (P value) and heterogeneity value (I^2 value). If $P \geq 0.1$ and $I^2 \leq 50\%$, a fixed effects model would be used. If $P < 0.1$ or $I^2 > 50\%$, a random effects model would be used. **Results:** A total of 10 RCTs with 390 cases were included, 187 cases in the control group, 203 cases in the experimental group. Meta-analysis showed that, compared with the control group, the GMFM-D score of the experimental group was higher [$SMD=0.58$, 95% CI (0.29, 0.88), $P=0.0001$], the GMFM-E score was higher [$SMD=0.47$, 95% CI (0.18, 0.77), $P=0.001$], the BBS score was higher [$MD=5.85$, 95% CI (4.00, 7.70), $P<0.00001$], the FAC score was higher [$MD=0.57$, 95% CI (0.24, 0.91), $P=0.0008$], the speed of walking was faster [$MD=0.06$, 95% CI (0.02, 0.10), $P=0.009$], and 6MWT score was higher [$MD=80.18$, 95% CI (23.00, 137.36), $P=0.006$]; there was no significant difference in MAS score between the two groups [$MD=-0.10$, 95% CI (-0.32, 0.12), $P=0.39$]. **Conclusion:** RAGT can effectively improve lower limb motor functions such as gross motor function, balance function and walking function of children with CP. Due to the limitations of the included studies, high-quality, multicenter and large sample size clinical RCTs are still needed in the further research to provide more reliable evidence.

KEY WORDS cerebral palsy; children; robot-assisted gait training; balance function; lower limb motor function; meta-analysis

DOI:10.3724/SP.J.1329.2023.02013