

• 荟萃分析 •

# Lokomat 机器人辅助步态训练对改善脑瘫患儿下肢功能效果的 Meta 分析

武英华<sup>1,2,3</sup>, 周宇<sup>4</sup>, 闫富丽<sup>1,2,3</sup>, 高晶<sup>4</sup>

1. 佳木斯大学康复医学院, 黑龙江 佳木斯 154007; 2. 佳木斯大学附属第三医院;  
3. 黑龙江省儿童神经康复重点实验室; 4. 淮安市妇幼保健院儿童康复科

**摘要:** **目的** 系统评价 Lokomat 机器人辅助训练改善脑瘫患儿下肢功能的效果, 为指导临床康复实践提供科学依据。**方法** 检索 PubMed、Web of Science、Embase、Cochrane Library、中国知网、万方、维普和中国生物医学文献数据库中关于 Lokomat 机器人辅助训练对脑瘫患儿下肢功能影响的文献, 检索时限为建库至 2024 年 7 月。两名研究者独立对数据库文献进行筛选、提取数据和偏倚风险评估, 使用 RevMan 5.4 软件进行 Meta 分析。**结果** 最终纳入 11 项随机对照试验, 涉及脑瘫样本量为 502 例。Meta 分析显示: 试验组粗大运动功能评估量表(GMFM-88) D 区评分( $SMD=0.40, 95\%CI: 0.06 \sim 0.74, P=0.02$ )、GMFM-88 E 区评分( $SMD=0.43, 95\%CI: 0.07 \sim 0.79, P=0.02$ )、自由步行速度( $MD=0.11, 95\%CI: 0.06 \sim 0.16, P<0.001$ )和 BBS 评分( $MD=3.50, 95\%CI: 1.27 \sim 5.74, P=0.002$ )明显优于对照组, 两组间 6min 步行距离差异无统计学意义( $P>0.05$ )。**结论** Lokomat 机器人辅助步态训练可在一定程度上改善脑瘫患儿的下肢运动、步行和平衡能力, 可作为一种安全有效的康复手段在临床应用。

**关键词:** 脑性瘫痪; Lokomat; 机器人辅助训练; 康复; Meta 分析

中图分类号: R179 文献标识码: A 文章编号: 1008-6579(2025)06-0653-07 doi:10.11852/zgetbjzz2024-0833

## Meta-analysis on the effect of Lokomat robot-assisted gait training on lower limb function in patients with cerebral palsy

WU Yinghua<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Yu<sup>4</sup>, YAN Fuli<sup>1,2,3</sup>, GAO Jing<sup>4</sup>

1. Department of Rehabilitation Medicine, Jiamusi University, Jiamusi, Heilongjiang 154007, China; 2. The Third Affiliated Hospital of Jiamusi University; 3. Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Pediatric Neurological Rehabilitation; 4. Department of Child Rehabilitation, Huai'an Maternal and Child Health Care Hospital

Corresponding author: GAO Jing, E-mail: gaojing392@163.com

**Abstract:** **Objective** To systematically evaluate the effectiveness of Lokomat robotic-assisted gait training in improving lower limb function in children with cerebral palsy, in order to provide a scientific basis for guiding clinical rehabilitation practice. **Methods** PubMed, Web of Science, Embase, Cochrane Library, CNKI, Wanfang Data, VIP, and China Biology Medicine(CBM) were searched for literature on the effect of Lokomat robotic-assisted gait training on lower limb function in children with cerebral palsy, with a retrieval period from the inception of the databases to July 2024. Two researchers independently screened the literature, extracted data, and assessed risk of bias. Meta-analysis was conducted using RevMan 5.4 software. **Results** A total of 11 randomized controlled trials were included, involving 502 patients with cerebral palsy. Meta-analysis showed that GMFM-88 D score( $SMD=0.40, 95\%CI: 0.06 - 0.74, P=0.02$ ), GMFM-88 E score( $SMD=0.43, 95\%CI: 0.07 - 0.79, P=0.02$ ), free walking speed( $MD=0.11, 95\%CI: 0.06 - 0.16, P<0.001$ ), and BBS score( $MD=3.50, 95\%CI: 1.27 - 5.74, P=0.002$ ) were better in the experimental group than those in the control group. There was no significant difference in 6-minute walk distance between the two groups( $P>0.05$ ).

**Conclusion** Lokomat robotic-assisted gait training can improve lower limb motor function, walking ability, and balance in children with cerebral palsy to a certain extent, and may serve as a safe and effective rehabilitation method for clinical application.

**Keywords:** cerebral palsy; Lokomat; robot-assisted training; rehabilitation; Meta-analysis

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK20230292); 江苏省卫生健康委医学科科研项目(M2022022); 淮安市科技局自然科学研究项目(HAB202333); 淮安市科技计划项目(HAB202126)

作者简介: 武英华(2000—), 女, 硕士研究生, 主要从事小儿脑瘫康复方面的研究。

通信作者: 高晶, E-mail: gaojing392@163.com

脑瘫是由于中枢神经系统损伤导致的,以持续性运动障碍和姿势异常为核心表现的疾病<sup>[1-2]</sup>。大多数脑瘫患儿伴有下肢功能障碍,存在异常步态、行走困难和平衡能力下降等挑战,严重影响其生活质量和社会参与度<sup>[2]</sup>。目前临床多采用以物理治疗为主的综合康复措施解决脑瘫患儿的下肢功能问题<sup>[3]</sup>,但由于传统的康复方法对康复师人力和经验要求高,且因缺乏趣味性和患儿的主动参与性,训练效果常难以达到理想状态<sup>[4]</sup>。

机器人辅助步态训练(robotic-assisted gait training, RAGT)是一种创新的康复干预技术,可利用机器装置提供患儿标准化和精确化的步行运动训练,改善患儿下肢行走能力和运动功能<sup>[5]</sup>。近年来随着技术发展,下肢机器人类型逐渐呈现出多样化,目前应用最为广泛的型号是 Lokomat 机器人<sup>[6-7]</sup>。此前一些研究探讨过 Lokomat 机器人辅助步态训练对脑瘫患儿下肢功能改善的效果,但研究结果存在一定的差异和局限性,一些研究<sup>[8-9]</sup>显示该训练可显著改善脑瘫患儿的下肢功能,而另一些研究<sup>[10-11]</sup>则未观察到显著效果。为此,本研究对 Lokomat 机器人辅助步态训练对脑瘫患儿下肢功能的疗效进行综合性分析,以期提供更可靠的证据支持,为优化康复方案和提高康复效果提供科学依据。

## 1 资料和方法

1.1 文献检索策略 计算机检索国内外主要数据库,包括中文数据库(中国知网、万方、维普、中国生物医学文献数据库)和英文数据库(PubMed、Web of Science、Embase、Cochrane Library)。中文检索策略(以中国生物医学文献数据库为例):#1 脑性瘫痪 OR 脑瘫;#2 机器人 OR 机器人辅助训练;#3 下肢;#4 #1 AND #2 AND #3。英文检索策略(以 PubMed 为例):#1 cerebral palsy [MeSH Terms] OR spastic diplegia OR little's disease;#2 robotics [MeSH Terms] OR robot \*;#3 lower extremity [MeSH Terms] OR lower limb \*;#4 #1 AND #2 AND #3。收集有关 Lokomat 机器人辅助脑瘫患儿进行步态训练的随机对照试验,检索时限为建库至 2024 年 7 月。本研究已在 PROSPERO 平台(<https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO>)注册,注册号:CRD42024504946。

1.2 文献纳入与排除标准 纳入标准:1)研究类型:随机对照试验(randomized controlled trial, RCT),以中文或英文发表;2)研究对象:临床确诊为脑瘫的患儿,不分种族、性别;3)干预措施:试验组采

用 Lokomat 机器人辅助步态训练,对照组采用常规康复治疗;4)主要结局指标包括:粗大运动功能评估量表 88 项(Gross Motor Function Measure-88, GMFM-88)D 和 E 区评分、6min 步行距离、自由步速、Berg 平衡量表(Berg Balance Scale, BBS)评分。排除标准:1)排除会议论文、病例报告、综述类等文献类型;2)重复发表;3)无法获取全文;4)文章数据不全,缺乏所需结局指标。

1.3 文献筛选与资料提取 两名研究者先独立根据纳入与排除标准对数据库文献进行收集、阅读、筛选和提取,再进行交叉核对,确保数据的准确性和一致性,若存在分歧,则由第三位研究者裁决。提取内容包括纳入文献的作者,年份,研究对象的年龄、类型及严重程度,样本量,干预措施,结局指标及结局指标的具体数据,出现的不良事件等。

1.4 文献质量评价 采用物理治疗证据数据库量表(Physiotherapy Evidence Database Scale, PEDro)<sup>[12-13]</sup>对纳入研究的方法学质量进行评估。PEDro 由 11 个项目组成(10 个项目用于评分),总分 0~10 分,总分 $\geq 7$  分为高质量研究,总分 5~6 分为中等质量研究,总分 $\leq 4$  分为低质量研究。评估先由两名研究者独立进行,再进行交叉核对,若存在分歧,则由第三位研究者裁决。

1.5 统计学方法 采用 RevMan 5.4 软件对纳入文献的数据进行统计分析。通过  $\chi^2$  检验评估异质性:若  $P \leq 0.1$ ,  $I^2 > 50\%$ , 则纳入研究存在异质性,采用随机效应模型分析;若  $P > 0.1$ ,  $I^2 \leq 50\%$ , 则纳入研究无异质性,采用固定效应模型分析。本研究的结果变量为连续性变量,若结果变量的测量单位一致,采用均数差(mean difference, MD)分析;若结果变量单位不一致或使用不同的量表或工具测量,采用标准化均数差(standardized mean difference, SMD)分析,并计算 95%CI。此外,通过逐一剔除法进行敏感性分析,即在每项指标依次剔除每篇文献数据后,观察剩余文献数据合并效应量,以评估原 Meta 分析结果是否受某些研究的影响而发生显著变化。

## 2 结果

2.1 文献筛选结果及纳入研究的基本特征 共检索出 319 篇文献,经逐层筛选最终纳入 11 篇文献(英文文献 7 篇,中文文献 4 篇)<sup>[8-11,14-20]</sup>,涉及脑瘫样本量为 502 例(试验组 256 例,对照组 246 例),纳入文献的基本特征见表 1。

2.2 文献质量评价 PEDro 量表的评价结果显示纳入文献中高质量 5 篇,中等质量 6 篇。见表 2。

表 1 纳入文献的基本信息  
Tab. 1 Basic information of the included literature

| 纳入研究                                    | 国家   | 脑瘫类型 | GMFCS | 年龄(岁) | 样本量(例) |     | 干预措施                                    |     | 结局指标 |
|-----------------------------------------|------|------|-------|-------|--------|-----|-----------------------------------------|-----|------|
|                                         |      |      |       |       | 试验组    | 对照组 | 试验组                                     | 对照组 |      |
| Ammann-Reiffer, 2020 <sup>[14]</sup>    | 瑞士   | SD   | Ⅱ~Ⅳ   | 6~18  | 8      | 8   | 45min Lokomat-RAGT+ CRT, 3 次/周, 连续 5 周  | CRT | ①②③④ |
| Mahgoub, 2020 <sup>[15]</sup>           | 埃及   | SH   |       | 7~14  | 15     | 15  | 30min Lokomat-RAGT+ CRT, 3 次/周, 连续 12 周 | CRT | ④    |
| Wallard, 2018 <sup>[16]</sup>           | 法国   | SD   | Ⅱ     | 8~10  | 14     | 16  | 40min Lokomat-RAGT, 5 次/周, 连续 4 周       | CRT | ①②④  |
| Peri, 2017 <sup>[17]</sup>              | 意大利  | SD   | Ⅰ~Ⅲ   | 4~17  | 12     | 10  | 30min Lokomat-RAGT, 4 次/周, 连续 10 周      | CRT | ①②③  |
| Druzicki, 2013 <sup>[10]</sup>          | 波兰   | SD   | Ⅱ~Ⅲ   | 6~13  | 26     | 9   | 45min Lokomat-RAGT+ CRT, 接受 20 次        | CRT | ④    |
| Klobucká, 2020 <sup>[8]</sup>           | 斯洛伐克 | SD   | Ⅰ~Ⅳ   | 5~15  | 21     | 26  | 30min Lokomat-RAGT, 3~5 次/周, 接受 20 次    | CRT | ①②   |
| Arellano-Martínez, 2013 <sup>[11]</sup> | 墨西哥  | SH   | Ⅱ     | 4~14  | 8      | 6   | 30min Lokomat-RAGT, 接受 10 次             | CRT | ④    |
| 马婷婷, 2021 <sup>[9]</sup>                | 中国   | SCP  | Ⅰ~Ⅱ   | 6~14  | 15     | 15  | 30min Lokomat-RAGT+ CRT, 5 次/周, 连续 8 周  | CRT | ①②③④ |
| 熊华春, 2020 <sup>[18]</sup>               | 中国   | SCP  | Ⅰ~Ⅲ   | 4~9   | 46     | 48  | 30min Lokomat-RAGT+ CRT, 6 次/周, 连续 12 周 | CRT | ①②⑤  |
| 陈精慧, 2021 <sup>[19]</sup>               | 中国   | SCP  | Ⅰ~Ⅲ   | 4~9   | 56     | 58  | 30min Lokomat-RAGT+ CRT, 6 次/周, 连续 12 周 | CRT | ①②⑤  |
| 郑宏超, 2021 <sup>[20]</sup>               | 中国   | CP   |       | 4~7   | 35     | 35  | 30min Lokomat-RAGT+ CRT, 1 次/d, 连续 3 个月 | CRT | ①②⑤  |

注:脑瘫(cerebral palsy, CP),痉挛型脑瘫(spastic cerebral palsy, SCP),痉挛型偏瘫(spastic hemiplegia, SH),痉挛型双瘫(spastic diplegia, SD);干预措施:Lokomat-RAGT 为 Lokomat 机器人辅助步态训练,CRT 为常规康复训练;结局指标:①GMFM-88 D 区评分,②GMFM-88 E 区评分,③6min 步行距离(6MWT),④自由步行速度,⑤Berg 平衡量表(BBS)。

表 2 纳入研究的 PEDro 量表评分  
Tab. 2 PEDro Scale scores for the included studies

| 纳入研究                                    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 总分 | 质量 |
|-----------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Ammann-Reiffer, 2020 <sup>[14]</sup>    | √ | √ | √ | √ | — | — | — | √ | √ | √  | √  | 7  | 高  |
| Mahgoub, 2020 <sup>[15]</sup>           | √ | √ | √ | √ | — | — | √ | √ | √ | √  | √  | 8  | 高  |
| Wallard, 2018 <sup>[16]</sup>           | √ | √ | — | √ | — | — | — | √ | √ | √  | √  | 6  | 中等 |
| Peri, 2017 <sup>[17]</sup>              | √ | — | — | √ | — | — | — | √ | √ | √  | √  | 5  | 中等 |
| Druzicki, 2013 <sup>[10]</sup>          | √ | √ | — | √ | — | — | √ | — | √ | √  | √  | 6  | 中等 |
| Klobucká, 2020 <sup>[8]</sup>           | √ | √ | — | √ | — | — | — | √ | √ | √  | √  | 6  | 中等 |
| Arellano-Martínez, 2013 <sup>[11]</sup> | √ | √ | — | √ | — | — | — | √ | √ | √  | √  | 6  | 中等 |
| 马婷婷, 2021 <sup>[9]</sup>                | √ | √ | — | √ | — | — | √ | √ | √ | √  | √  | 7  | 高  |
| 熊华春, 2020 <sup>[18]</sup>               | √ | √ | — | √ | — | — | √ | √ | √ | √  | √  | 7  | 高  |
| 陈精慧, 2021 <sup>[19]</sup>               | √ | √ | — | √ | — | — | √ | √ | √ | √  | √  | 7  | 高  |
| 郑宏超, 2021 <sup>[20]</sup>               | √ | √ | — | √ | — | — | — | √ | √ | √  | √  | 6  | 中等 |

注:1. 符合标准(纳入条件明确);2. 随机分配;3. 分配隐藏;4. 基线相似性;5. 受试者设盲;6. 治疗师设盲;7. 评定者设盲;8. 充分随访(85%以上的受试者完成试验);9. 意向治疗分析;10. 组间比较;11. 点估计和可变性。

2.3 Meta 分析结果

2.3.1 GMFM-88 D 区评分 纳入文献中有 8 篇<sup>[8-9,14,16-20]</sup>报告了 GMFM-88 D 区评分,共 423 例脑瘫患儿。异质性检验显示,各研究间存在较大异质性( $P=0.01$ ,  $I^2=61\%$ ),故采用随机效应模型分析;评估结果的表示方法上,6 项研究<sup>[8-9,14,16-18]</sup>采用 D 区百分比,2 项研究<sup>[19-20]</sup>采用 D 区原始分,故采用 SMD 分析。结果显示  $SMD=0.40$ ,95%CI:0.06~

0.74,  $P=0.02$ ,即说明试验组 GMFM-88 D 区评分显著高于对照组。见图 1。

通过敏感性分析中逐一剔除法探索异质性来源,发现剔除郑洪超等<sup>[20]</sup>的文献后,研究间异质性较小( $P=0.27$ ,  $I^2=21\%$ ),说明该文章对 Meta 分析稳定性影响较大,考虑与该研究纳入标准中未对患儿 GMFCS 进行限制有关,与同组其他研究相比,该研究纳入对象严重程度差距较大。见图 2。

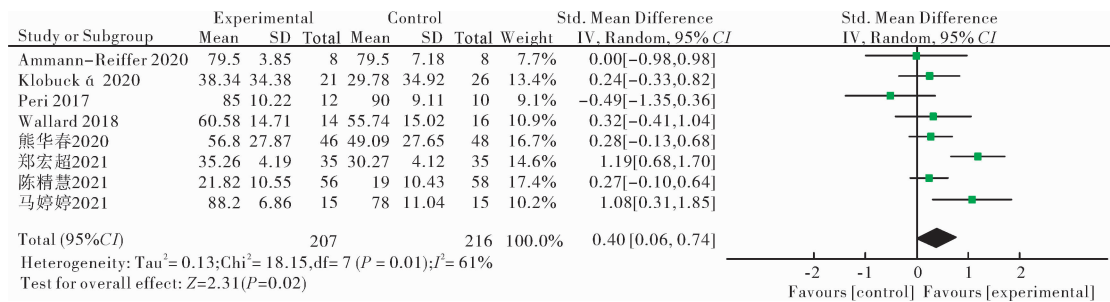


图 1 Lokomat-RAGT 对脑瘫患儿 GMFM-88 D 区评分的影响

Fig. 1 Effect of Lokomat-RAGT on cerebral palsy children with GMFM-88 D score

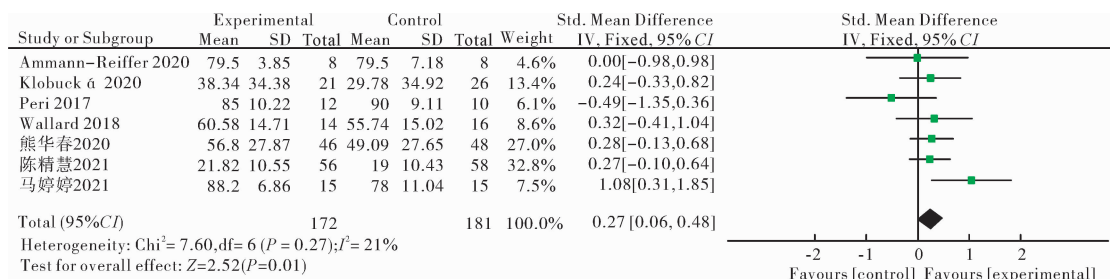


图 2 Lokomat-RAGT 对脑瘫患儿 GMFM-88 D 区评分影响的敏感性分析

Fig. 2 Sensitivity analysis of the effect of Lokomat-RAGT on GMFM-88 D score in children with cerebral palsy

2.3.2 GMFM-88 E 区评分 纳入文献中有 8 篇<sup>[8-9,14,16-20]</sup>报告了 GMFM-88 E 区评分,共 423 例脑瘫患儿。异质性检验显示,各研究间存在较大异质性( $P = 0.005$ ,  $I^2 = 66\%$ ),故采用随机效应模型分析;评估结果表示方法上,6 项研究<sup>[8-9,14,16-18]</sup>采用

E 区百分比,2 项研究<sup>[19-20]</sup>采用 E 区原始分,故采用 SMD 分析。结果显示  $SMD = 0.43$ ,  $95\%CI: 0.07 \sim 0.79$ ,  $P = 0.02$ ,即说明试验组 GMFM-88 E 区评分显著高于对照组。见图 3。

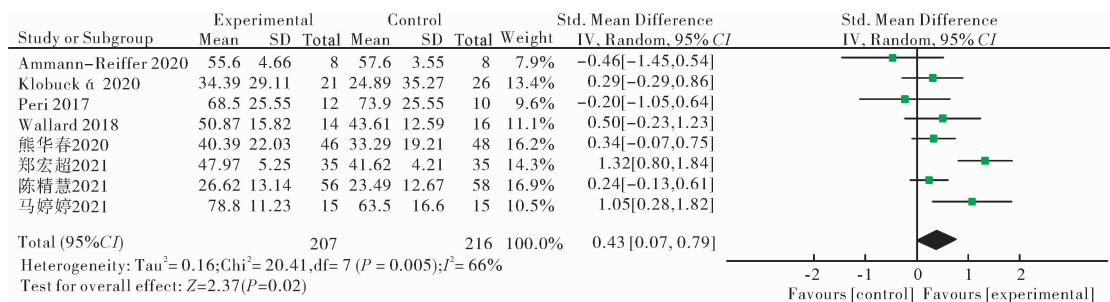


图 3 Lokomat-RAGT 对脑瘫患儿 GMFM-88 E 区评分的影响

Fig. 3 Lokomat-RAGT effects on cerebral palsy children with GMFM-88 E score

通过敏感性分析中逐一剔除法探索异质性来源,发现剔除郑洪超等<sup>[20]</sup>的文献后,研究间异质性较小( $P = 0.26$ ,  $I^2 = 22\%$ ),说明该文章对 Meta 分析稳定性影响较大,考虑与该研究纳入标准中未对患儿 GMFCS 进行限制有关,与同组其他研究相比,该研究纳入对象严重程度差距较大。见图 4。

2.3.3 自由步行速度 纳入文献中有 6 篇<sup>[9-11,14-16]</sup>报告了自由步行速度,共 155 例脑瘫患儿。异质性检验显示,各研究间异质性较小( $P = 0.12$ ,  $I^2 = 43\%$ ),选用固定效应模型,采用 MD 分析。结果显

示  $MD = 0.11$ ,  $95\%CI: 0.06 \sim 0.16$ ,  $P < 0.001$ ,即说明试验组自由步行速度显著高于对照组。见图 5。

2.3.4 6min 步行距离 纳入文献中有 3 篇<sup>[9,14,17]</sup>报告了 6min 步行距离,共 68 例脑瘫患儿。异质性检验显示,各研究间异质性较小( $P = 0.35$ ,  $I^2 = 5\%$ ),选用固定效应模型,采用 MD 分析。结果显示  $MD = 38.83$ ,  $95\%CI: -19.55 \sim 97.21$ ,  $P = 0.19$ ,即说明试验组与对照组 6min 步行距离差异无统计学意义。见图 6。

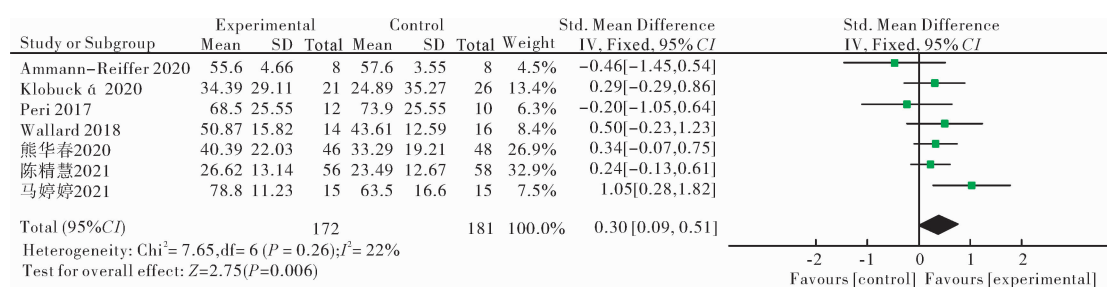


图4 Lokomat-RAGT 对脑瘫患儿 GMFM-88 E 区评分影响的敏感性分析

Fig. 4 Sensitivity analysis of the effect of Lokomat-RAGT on GMFM-88 E score in children with cerebral palsy

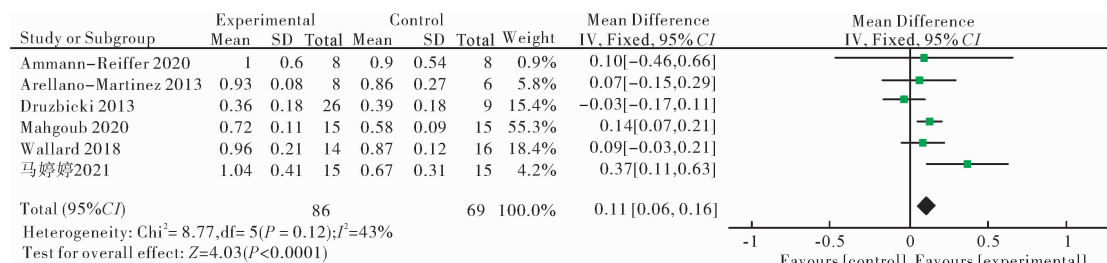


图5 Lokomat-RAGT 对脑瘫患儿自由步行速度的影响

Fig. 5 Lokomat-RAGT effects on cerebral palsy children with free walking speed

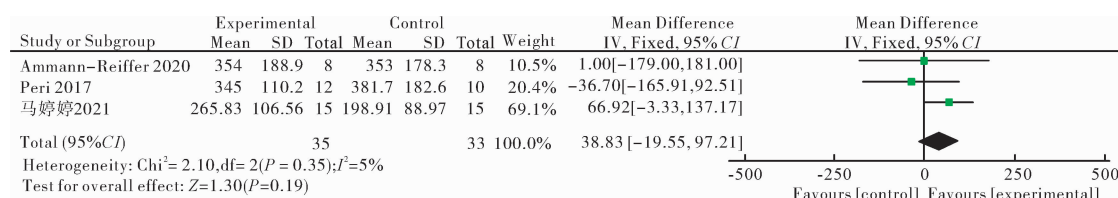


图6 Lokomat-RAGT 对脑瘫患儿 6min 步行距离的影响

Fig. 6 Effect of Lokomat-RAGT on cerebral palsy children with 6min walking distance

2.3.5 BBS 评分 纳入文献中有 3 篇<sup>[18-20]</sup> 报告了 BBS 评分,共 278 例脑瘫患儿。异质性检验显示,各研究间异质性较小( $P=0.95$ ,  $I^2=0\%$ ),选用固定

效应模型,采用 MD 分析。结果显示  $MD=3.50$ ,  $95\%CI:1.27\sim5.74$ ,  $P=0.002$ ,即说明试验组 BBS 评分显著高于对照组。见图 7。

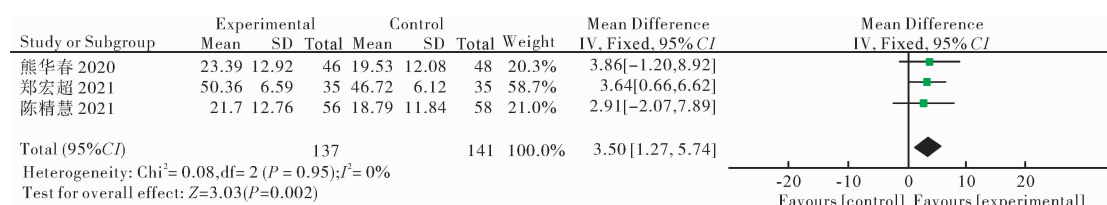
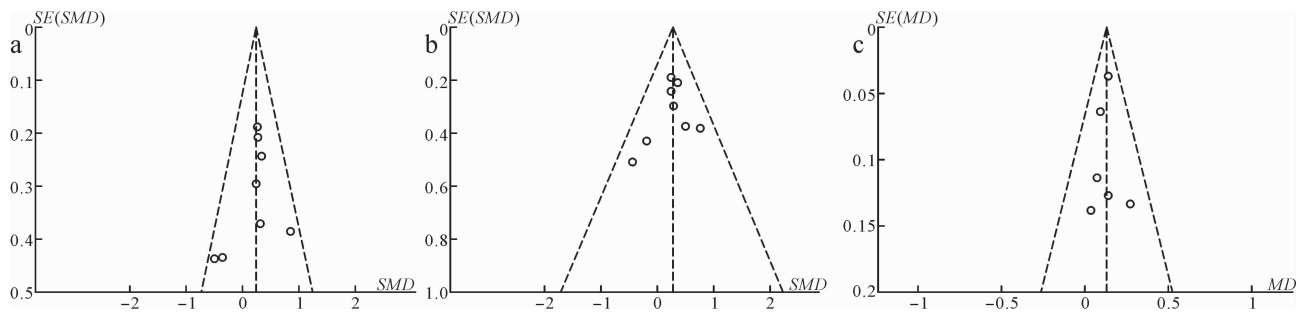


图7 Lokomat-RAGT 对脑瘫患儿 BBS 评分的影响

Fig. 7 Effect of Lokomat-RAGT on cerebral palsy children with BBS score

2.4 不良反应 11 篇纳入文献<sup>[8-11,14-20]</sup> 训练方案中均表示会根据脑瘫患儿具体情况,逐渐调整 Lokomat 机器人的减重系统质量、引导力和步速等设置,循序渐进地对患儿进行训练,均未报告训练时有相关不良反应出现。

2.5 发表偏倚 由于以 6min 步行距离和 BBS 评分为结局指标的文献数量较少,本文仅对以 GMFM-88 D 区、E 区评分,以及自由步行速度为结局指标的文献进行发表偏倚分析。结果表明:发表偏倚漏斗图基本对称,存在发表偏倚的可能性较小。见图 8。



注: a 为 GMFM-88 D 区评分, b 为 GMFM-88 E 区评分, c 为自由步行速度。

图 8 GMFM-88 D 区评分、GMFM-88 E 区评分、自由步行速度纳入研究的漏斗图

Fig. 8 Funnel plot of GMFM-88 D score, GMFM-88 E score, and free walking speed included in the study

### 3 讨论

脑瘫患儿因为下肢功能障碍在日常活动中受到很多限制,进行积极有效的康复治疗是其改善运动功能、提高生活质量的重要措施<sup>[1-3]</sup>。Lokomat 机器人辅助步态训练可将人工智能和机械动力装置相结合,自主地提供高度重复和特定任务的引导运动,改善脑瘫患儿下肢功能,同时减轻治疗师的负担<sup>[23]</sup>。

#### 3.1 Lokomat 机器人辅助步态训练的疗效分析

本研究结果显示,Lokomat 机器人辅助步态训练与常规康复治疗相比,可显著提高脑瘫患儿 GMFM-88 D 区和 E 区评分、自由步速和 BBS 评分,这与 Wang 等<sup>[24-25]</sup>研究结果一致。分析机制可能与大脑神经可塑性和运动再学习理论有关<sup>[26-27]</sup>: Lokomat 机器人训练通过提供重复性、有针对性的康复训练,使脑部神经元突触连接强化或重新组织,从而促进受损区域的功能再建立,促进运动功能的恢复<sup>[26]</sup>;另一方面,训练过程中不仅提供了运动再学习理论强调的重复性活动,还结合了实时生物反馈,有助于患儿调整和改善步态模式,促进正确运动模式的学习和巩固<sup>[27]</sup>。本研究发现 Lokomat 机器人辅助步态训练对脑瘫患儿 6min 步行距离的改善效果不明显,考虑原因在于报道该指标的相关研究有限,以及 6min 步行距离是一个反映耐力和整体步行能力的指标,一些研究在干预时间较短的情况下评估该指标,可能不足以显示显著的效果。

#### 3.2 Lokomat 机器人辅助步态训练的安全性分析

安全性是保障患儿进行康复训练的前提,尤其是对一些认知能力较低,无法充分评估危险性,不能完全表达自己的感觉与意图的患儿来说,训练过程的安全尤为重要<sup>[28-29]</sup>。本研究纳入的文献均未报告与 Lokomat 机器人辅助步态训练相关的不良事件,说明该训练方式对脑瘫患儿进行步态训练较为安全可靠。这与 Lokomat 机器人系统配备安全保护机制,

有效减少训练过程中的意外伤害风险密切相关<sup>[30]</sup>。

3.3 研究的优势与局限性 目前应用的康复机器人设备种类复杂,训练效果不一<sup>[6]</sup>,本研究将机器人设备限定在应用广泛的 Lokomat 上,更专注地评估该设备的效果,而不受其他设备引入差异的影响;同时,使用相同型号的机器人设备可实现更一致的训练效果,使 Meta 分析更具可比性,为未来研究提供更具针对性的方向和建议。但本研究也存在一定的局限性:1)纳入文献的数量相对较少,且多为小样本量的研究,可能导致统计效能不足;2)由于机器人辅助训练的方式,很难对受试者和治疗者实施盲法,部分纳入文献未对分配隐藏情况进行描述,存在潜在的偏倚风险;3)纳入文献的研究对象年龄和病情严重程度存在差异,且关于干预措施的持续时间、频率和周期等在各纳入文献中不完全相同,研究范围较广,未对此进行亚组分析;4)虽然发表偏倚漏斗图显示基本对称,但由于部分文献可能未出版或无法获取等,不排除纳入文献存在遗漏的可能,会对结果产生潜在影响。

综上,本研究基于对 11 篇纳入文献 Meta 分析的结果表明,Lokomat 机器人辅助步态训练在改善脑瘫患儿下肢运动、步行和平衡能力方面表现出显著优势,对下肢功能恢复具有积极影响,可作为一种安全有效的康复手段在临床应用。但仍需注意本研究的局限性,未来还需进行更大样本量和更严谨的研究设计,以及可以进一步探讨 Lokomat 机器人辅助步态训练结合其他康复方法的疗效等,更全面、深入地指导临床实践,提高脑瘫患儿的康复效果。

### 参考文献

- [1] 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,中国医师协会康复医师分会儿童康复专业委员会,等. 中国脑性瘫痪康复指南(2022)第一章:概论[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2022, 37(12): 887-892.  
Chinese Association of Rehabilitation Medicine Pediatric Re-

- habilitation Committee, Chinese Association of Rehabilitation of Disabled Persons Rehabilitation Committee for Cerebral Palsy, Chinese Medical Doctor Association Pediatric Rehabilitation Committee, et al. Chinese rehabilitation guidelines for cerebral palsy(2022); Editorial board[J]. Chin J Appl Clin Pediatr, 2022, 37(12): 887-892. (in Chinese)
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 陶璟, 霍宇飞, 于随然. 面向儿童的下肢康复外骨骼机器人研发进展[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(11): 1445-1449. Tao J, Huo YF, Yu SR. Research and development progress of lower limb rehabilitation exoskeleton robots for children [J]. Chin J Rehabil Med, 2021, 36(11): 1445-1449. (in Chinese)
- [5] 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.
- [6] 唐心意, 喻洪流, 李慧, 等. 脑性瘫痪儿童下肢康复机器人研究现状与展望[J]. 中国康复医学杂志, 2022, 37(7): 971-976. Tang XY, Yu HL, Li H, et al. Research status and prospects of lower limb rehabilitation robots for children with cerebral palsy[J]. Chin J Rehabil Med, 2022, 37(7): 971-976. (in Chinese)
- [7] Jezernik S, Colombo G, Keller T, et al. Robotic orthosis lokomat: A rehabilitation and research tool[J]. Neuromodulation, 2003, 6(2): 108-115.
- [8] Klobucká S, Klobucky R, Kollár B. Effect of robot-assisted gait training on motor functions in adolescent and young adult patients with bilateral spastic cerebral palsy: A randomized controlled trial[J]. Neuro Rehabilitation, 2020, 47(4): 495-508.
- [9] 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 TT, Zhang H. Effect of robot-assisted gait training on motor and walking function in children with spastic cerebral palsy[J]. Chin Rehabil Theory Pract, 2021, 27(11): 1260-1265. (in Chinese)
- [10] 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.
- [11] Arellano-Martínez IT, Rodríguez-Reyes G, Quiñones-Uriosteigui I, et al. Spatial-temporal analysis and clinical findings of gait: Comparison of two modalities of treatment in children with cerebral palsy-spastic hemiplegia. Preliminary report[J]. Cir Cir, 2013, 81(1): 14-20.
- [12] Cumpston M, Li T, Page MJ, et al. Updated guidance for trusted systematic reviews: A new edition of the cochrane handbook for systematic reviews of interventions [J]. Cochrane Database Syst Rev, 2019, 10(10): ED000142.
- [13] Albanese E, Bütikofer L, Armijo-Olivo S, et al. Construct validity of the physiotherapy evidence database (PEDro) quality scale for randomized trials: Item response theory and factor analyses[J]. Res Synth Methods, 2020, 11(2): 227-236.
- [14] Ammann-Reiffer C, Bastiaenen C, Meyer-Heim AD, et al. Lessons learned from conducting a pragmatic, randomized, crossover trial on robot-assisted gait training in children with cerebral palsy (PeLoGAIT) [J]. J Pediatr Rehabil Med, 2020, 13(2): 137-148.
- [15] Mahgoub MSE, Younan WWA, Zahran SS. Effect of locomotor training with a robotic-gait orthosis (lokomat) in spasticity modulation of spastic hemiplegic children (a randomized controlled trial)[J]. Fizjoterapia Polska, 2020, 20(4): 94-101.
- [16] 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.
- [17] Peri E, Turconi AC, 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.
- [18] 熊华春, 陈精慧, 王军, 等. 下肢康复机器人训练对痉挛型脑瘫患儿粗大运动功能及平衡功能的影响[J]. 郑州大学学报(医学版), 2021, 56(3): 370-375. Xiong HC, Chen JH, Wang J, et al. Effect of lower limb rehabilitation robot training on gross motor function and balance function in children with spastic cerebral palsy[J]. J Zhengzhou Univ (Med Sci), 2021, 56(3): 370-375. (in Chinese)
- [19] 陈精慧. 下肢康复机器人训练对痉挛型脑性瘫痪患儿运动功能的疗效研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2021. Chen JH. Study on the efficacy of lower limb rehabilitation robot training on motor function in children with spastic cerebral palsy [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2021. (in Chinese)
- [20] 郑宏超, 王琼, 杨丽. 下肢机器人配合运动疗法训练对脑瘫患儿步行能力的影响[J]. 临床医学研究与实践, 2021, 6(33): 166-168, 179. Zhen HC, Wang Q, Yang I. Effect of lower limb robot-assisted exercise therapy on walking ability in children with cerebral palsy[J]. Clin Res Pract, 2021, 6(33): 166-168, 179. (in Chinese)
- [21] Young AJ, Ferris DP. State of the art and future directions for lower limb robotic exoskeletons[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2017, 25(2): 171-182.
- [22] 华裕, 朱敏, 张跃. 儿童康复机器人应用现状及发展趋势[J]. 中国康复理论与实践, 2018, 24(6): 667-670. Hua Y, Zhu M, Zhang Y. Current status and development trends of pediatric rehabilitation robots[J]. Chin Rehabil Theory Pract, 2018, 24(6): 667-670. (in Chinese)
- [23] Kim SK, Park D, Yoo B, et al. Overground robot-assisted gait training for pediatric cerebral palsy[J]. Sensors, 2021, 21(6): 2087.

综上所述,早产儿与足月儿间血清 FSH、LH、T 水平差异无统计学意义,后续应增加极早早产儿样本进行分析。血清 FSH、LH 对阴茎的生长发育有促进作用,血清 LH 对睾丸容积的增加具有促进作用,发现在足月儿中 FSH 对睾丸容积的增长具有促进作用。在新生儿期测定血清 FSH、LH、T 水平,有助于早期发现和诊断性腺发育疾病,争取治疗机会,获得更好的预后。

#### 参考文献

- [1] Lanciotti L, Cofini M, Leonardi A, et al. Up-to-date review about minipuberty and overview on hypothalamic-pituitary-gonadal axis activation in fetal and neonatal life[J]. *Frontiers in Endocrinology*, 2018, 9: 410.
- [2] Nordenström A. Potential impact of mini-puberty on fertility[J]. *Annales D'endocrinologie*, 2022, 83(4): 250-253.
- [3] 寸跃爽,朱岷,郭淑娟,等. 6 月龄内健康男婴睾酮黄体生成素与促卵泡生成素血清浓度变化分析[J]. *中国实用儿科杂志*, 2012, 27(9): 703-704, 707.  
Cun YS, Zhu M, Guo SJ, et al. Analysis of changes in serum concentrations of testosterone luteinizing hormone and follicle stimulating hormone in healthy male infants within 6 months of age[J]. *Chin J Pract Pediatr*, 2012, 27(9): 703-704, 707. (in Chinese)
- [4] Lasienė K, Gasiliūnas D, Juodžiukynienė N, et al. Age-related morphological peculiarities of human testes[J]. *Folia Morphologica*, 2021, 80(1): 122-126.
- [5] Renault CH, Aksglaede L, Wøjdemann D, et al. Minipuberty of human infancy - A window of opportunity to evaluate hypogonadism and differences of sex development? [J]. *Ann Pediatr Endocrinol Metab*, 2020, 25(2): 84-91.
- [6] 王瑞芳,董治亚,王伟,等. 小青春期的抑制对雄性大鼠性发育的影响[J]. *上海交通大学学报(医学版)*, 2013, 33(11): 1470-1474.  
Wang RF, Dong ZY, Wang W, et al. Influence of hormone inhibition during minipuberty on sex development of male rats[J]. *J Shanghai Jiaotong Univ (Med Sci)*, 2013, 33(11): 1470-1474. (in Chinese)
- [7] Kuiri-Hänninen T, Seuri R, Tyrväinen E, et al. Increased activity of the hypothalamic-pituitary-testicular axis in infancy results in increased androgen action in premature boys [J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2011, 96(1): 98-105.
- [8] Lattuada M, Molinari S, Nicolosi ML, et al. Exaggerated mini-puberty in a preterm girl: A case report and review of literature[J]. *JPEM*, 2022, 35(10): 1309-1315.
- [9] Kareem AJ, Elusiyan JBE, Kareem AO. Stretched penile length and total serum testosterone in term male newborns [J]. *Pan Afr Med J*, 2020, 37: 61.
- [10] Mohamed MH, Abdou RM, Hamza MT, et al. Penile length and cord total and free testosterone in full term male Egyptian newborns[J]. *Egyptian Pediatric Association Gazette*, 2015, 63(2): 58-62.
- [11] Boehm U, Bouloux PM, Dattani MT, et al. Expert consensus document: European Consensus Statement on congenital hypogonadotropic hypogonadism—pathogenesis, diagnosis and treatment[J]. *Nat Rev Endocrinol*, 2015, 11(9): 547-564.
- [12] Becker M, Hesse V. Minipuberty: Why does it happen? [J]. *Horm Res Paediatr*, 2020, 93(2): 76-84.
- [13] Tang Fui MN, Hoermann R, Wittert G, et al. Testicular volume and clinical correlates of hypothalamic-pituitary-testicular function: A cross-sectional study in obese men[J]. *Asian J Androl*, 2020, 22(4): 354.
- [14] 赵彤,张伟俐,石鸿娇,等. 超重、肥胖男童阴茎睾丸发育的相关性研究[J]. *医学研究杂志*, 2023, 52(3): 44-48.  
Zhao T, Zhang YL, Shi HJ, et al. Correlation study of penile testis development in overweight and obese boys[J]. *Journal of Medical Research*, 2023, 52(3): 44-48. (in Chinese)
- [15] Nguyen Hoai B, Hoang L, Tran D, et al. Ultrasonic testicular size of 24 440 adult Vietnamese men and the correlation with age and hormonal profiles[J]. *Andrologia*, 2022, 54(2): e14333.
- 收稿日期: 2024-02-20 修回日期: 2024-05-31 本文编辑: 李少闻
- 
- (上接第 659 页)
- [24] Wang Y, Zhang P, Li C. Systematic review and network meta-analysis of robot-assisted gait training on lower limb function in patients with cerebral palsy[J]. *Neurol Sci*, 2023, 44(11): 3863-3875.
- [25] Carvalho I, Pinto SM, Chagas D, et al. Robotic gait training for individuals with cerebral palsy: A systematic review and meta-analysis[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2017, 98(11): 2332-2344.
- [26] Damiano DL. Activity, activity, activity: Rethinking our physical therapy approach to cerebral palsy[J]. *Phys Ther*, 2006, 86(11): 1534-1540.
- [27] Shishov N, Melzer I, Bar-Haim S. Parameters and measures in assessment of motor learning in neurorehabilitation: A systematic review of the literature[J]. *Front Hum Neurosci*, 2017, 11: 82.
- [28] Pan L, Song A, Xu G, et al. Hierarchical safety supervisory control strategy for robot-assisted rehabilitation exercise [J]. *Robotica*, 2013, 31(5): 757-766.
- [29] Michmizos KP, Krebs HL. Pediatric robotic rehabilitation: Current knowledge and future trends in treating children with sensorimotor impairments[J]. *NeuroRehabilitation*, 2017, 41(1): 69-76.
- [30] Aurich-Schuler T, Warken B, Graser JV, et al. Practical recommendations for robot-assisted treadmill therapy (Lokomat) in children with cerebral palsy: Indications, goal setting, and clinical implementation within the WHO-ICF framework [J]. *Neuropediatrics*, 2015, 46(4): 248-260.
- 收稿日期: 2024-07-16 修回日期: 2024-11-01 本文编辑: 李少闻