

虚拟现实技术对脑性瘫痪儿童上肢运动功能效果的meta分析*

崔甜甜¹ 杨钰琳¹ 马丽虹^{1,2} 孙晓溪¹ 彭德夏¹

脑性瘫痪(cerebral palsy, CP,以下简称脑瘫)是由于发育中的大脑发生非进行性病变导致的一种终身神经系统疾病,患病率约为2‰—3‰,是儿童中最常见的发育障碍之一^[1-2]。脑瘫可引起患儿肌张力异常、关节僵硬、肌无力和肌肉疼痛并降低运动控制能力^[3],尤其表现在上肢相关功能方面,这些变化会影响身体的整体功能,降低生存质量^[4]。传统的上肢康复训练较为单一,儿童易产生心理疲劳并且效率低,难以维持高强度、针对性的训练。因此,临床中寻求高效有趣的康复治疗技术在提高脑瘫儿童受损上肢的利用率,改善其运动和日常生活能力方面显得尤为重要^[5]。

随着信息技术的发展,虚拟现实(virtual reality, VR)作为一种治疗工具在脑瘫康复中愈发受到重视^[6],VR技术能够使脑瘫儿童在多种环境中短时间内进行大量趣味性训练^[7],提高脑瘫儿童对康复训练的依从性和积极性^[8],维持和增强儿童的治疗动机^[9],并且创造一个相对安全、愉快的康复环境。此外,VR技术有利于将重要的康复原则整合到治疗干预中,如多重复、高强度、高难度以及多感官反馈的可变练习等,这些因素可以增加脑瘫儿童的运动学习和神经可塑性的潜力^[10]。

目前VR技术已广泛应用于脑瘫儿童的上肢运动康复训练^[11-12],但有关上肢运动功能的疗效仍然缺乏相关循证医学证据。因此,本研究系统评价国内外关于VR技术治疗脑瘫儿童上肢运动功能的相关研究,以期VR技术用于提高脑瘫儿童上肢运动功能提供参考依据。该研究已在PROSPERO国际系统评价注册平台(<https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO>)注册(CRD42023464028)。

1 资料与方法

1.1 检索策略

采用主题词结合自由词的方式,由2名研究人员检索PubMed、Embase、Scopus、Cochrane Library、中国知网、中国生物医学文献数据库、维普和万方数据库。各数据库从建库至2023年9月,语种限中、英文。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。干预措施

为虚拟现实技术,疾病类型为脑瘫,研究类型为随机对照试验(randomized controlled trials, RCT)。中文检索词:“脑瘫”或“脑性瘫痪”或“脑瘫患儿”或“脑瘫儿童”和“虚拟现实”或“情景互动”或“虚拟环境”和“手”或“上肢”或“上肢运动”进行交叉检索。

英文检索词:“cerebral palsy”or“CP”and“virtual environment”or“virtual reality”and“upper limb”or“upper limb movement”or“hand”行交叉检索(and前后检索词分别进行交叉组合检索)。

1.2 文献纳入与排除标准

1.2.1 纳入标准:①虚拟现实技术应用于脑瘫患儿的随机对照试验(randomized controlled trial, RCT),仅限中、英文;②脑瘫患儿,符合中国脑性瘫痪康复指南(2022)诊断标准^[13];③年龄<18岁,且意识清晰,生命体征稳定;④对照组为常规康复治疗,试验组在对照组基础上进行虚拟现实技术干预;⑤结局指标:上肢技能质量量表(quality of upper extremity skills test, QUEST)、儿童双手操作能力问卷量表(ABILHAND-kids)、布尼氏动作能力测试(Bruininks-oseretsky test of motor proficiency, BOTMP)、单侧上肢功能墨尔本评估量表-2(the Melbourne assessment of unilateral upper limb function-2, MA-2)、儿童生活功能评估量表(pediatric evaluation of disability inventory, PEDI)、儿童功能独立量表(functional independence measures for children, WeeFIM)。

1.2.2 排除标准:①非中、英文文献;②重复发表;③方法学类试验设计、动物实验、系统综述等;④无基线情况;⑤伴有其他神经性疾病等无法使用虚拟现实技术者;⑥原始数据不完整或无法提取数据,且与作者联系后无果;⑦会议论文摘要。

1.3 文献筛选与资料提取

剔除重复文献,并由2名研究者独立进行文献筛选和资料提取并交叉核对,若意见不一,则咨询第三方。阅读全文,提取纳入文献的基本信息(第一作者、年份、国家、样本量)、干预措施、干预时间、测量时间、结局指标等。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2025.08.017

*基金项目:山东省高等医学教育研究中心科研规划项目

1 山东中医药大学,山东省济南市,250355; 2 通讯作者

第一作者简介:崔甜甜,女,硕士研究生; 收稿日期:2023-10-10

1.4 文献质量评价

采用Cochrane偏倚风险评价工具对纳入文献进行质量评价,评估内容包括:随机方法的运用是否清楚描述;分配是否隐藏;研究者或患者以及所得结局是否实施了盲法;是否存在选择性报告偏倚;结局数据是否完整;其他偏倚是否存在。通过这些判断出纳入文献的研究分别属于高、低、不清楚中的何种情况。采用PEDro量表对纳入文献进行质量评价,各条目内容:①纳入条件明确;②随机分配;③分配隐藏;④基线目标相似;⑤受试者设盲;⑥治疗者设盲;⑦评定者设盲;⑧充分随访(85%以上的受试者完成实验);⑨意向性处理分析;⑩组间比较;⑪点估计和变异性。评分标准为:是=1分,否=0分,第一条不评分,9—10分为极高质量,6—8分为高质量,4—5分为中等质量,≤3分为低质量。

1.5 统计学分析

采用RevMan5.4软件对纳入研究的数据进行定量分析。采用相对风险(relative risk, RR)分析二分类结果。采用平均差(mean difference, MD)分析相同单位的连续结果,否则,采用标准化平均差(standard mean difference, SMD)。不确定性以95%置信区间(95% confidence interval, 95%CI)呈现。采用I²评估异质性,I²≤50%,P≥0.1时,异质性较小,采用固定效应模型;I²>50%,P<0.1时,采用随机效应模型;I²>75%,P<0.1时,异质性较大,采用敏感性分析或亚组分析。显著性水平α=0.05。

2 结果

2.1 文献检索结果

初步检索得到相关文献929篇,其中中国知网数据库322篇,中国生物医学数据库26篇,维普期刊数据库13篇,万方数据库25篇,PubMed166篇,Embase147篇,Scopus137篇,Cochrane Library93篇。EndNote去重后得到文献528篇;阅读题目和摘要后得到文献92篇,阅读全文复筛后得到文献39篇,通过进一步筛选,最终纳入文献14篇,其中包括2篇中文文献,12篇英文文献。文献筛选流程见图1。

2.2 纳入文献特征

纳入的14篇文献^[14-27]中,总计516例脑瘫儿童,其中试验组258例,对照组258例,纳入文献的基本特征见表1。

2.3 纳入研究的偏倚风险

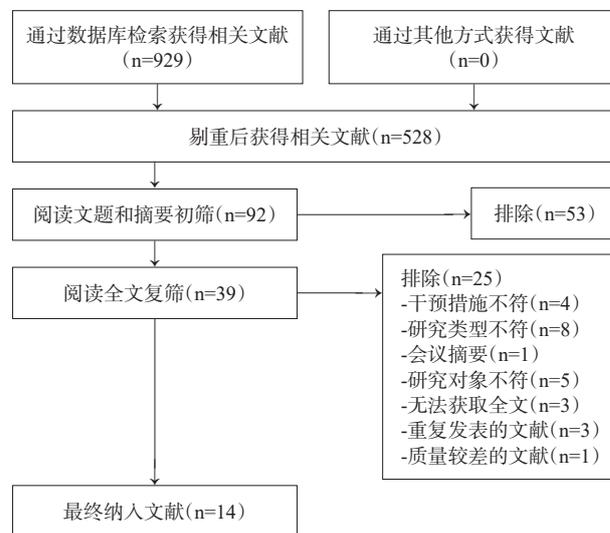
根据Cochrane偏倚风险评估工具对纳入文献进行质量评价,整体偏倚风险结果见图2。

根据PEDro量表对纳入文献进行质量评价,纳入文献评分为5—10分,均为中高质量研究,见表2。

2.4 meta分析

2.4.1 QUEST: 6篇文献^[14-17, 21, 27], 196例脑瘫患儿采用QUEST进行上肢运动功能评估,其中试验组99例,对照组

图1 文献筛选流程图



97例。由于研究间采用的QUEST量表评分标准相同,故选择MD进行效应量的合并,研究结果无明显异质性(I²=0%, P=0.41),采用固定效应模型分析。结果显示,试验组QUEST评分显著高于对照组(MD=4.96,95%CI:3.53—6.39, P<0.00001)。见图3。

各研究之间使用的VR设备均不相同,为进一步分析相关因素与结论的相关性,进行亚组分析。VR类型可分为沉浸式、半沉浸式和非沉浸式,根据纳入研究的VR类型可分为2个亚组(图4)。4篇文献^[15-17, 27]采用非沉浸式VR,2篇文献^[14, 21]采用沉浸式VR。根据固定效应模型进行分析显示,非沉浸式VR组可以观察到试验组评分显著高于对照组(MD=5.33,95%CI:3.81—6.84, P<0.00001),沉浸式VR组则未观察到上肢运动功能的改善(MD=1.99,95%CI: -2.29—6.27, P=0.36)。这说明非沉浸式VR较沉浸式VR提高上肢运动功能的效果更为显著,这可能是由于沉浸式的训练会给儿童带来不安全感,而非沉浸式VR采取的相对开放的训练环境更易于被患儿接受,但本研究受纳入文献数量不足、样本量小的影响可能会存在一定偏倚。

2.4.2 ABILHAND-Kids: 5篇文献^[20-22, 24, 27], 157例脑瘫患儿采用ABILHAND-Kids对其上肢执行任务能力进行评估,其中试验组79例,对照组78例。由于有3篇^[22, 24, 27]研究将测试得分进行转化使得评分结果单位不同,故选择SMD进行效应量合并,研究结果无明显异质性(I²=43%, P=0.14),采用固定效应模型分析。结果显示,试验组ABILHAND-Kids得分显著高于对照组(SMD=0.36,95%CI:0.04—0.68, P=0.03)。见图5。

各研究间干预疗程时长差距较大,为进一步分析相关因

表1 纳入文献基本特征

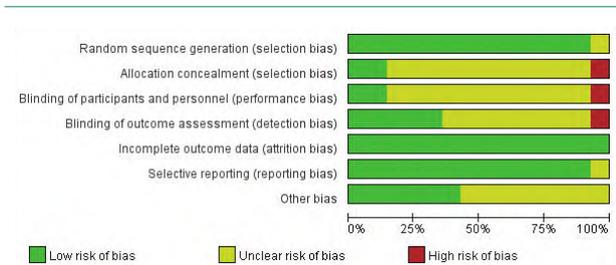
| 纳入研究 | 国家 | 样本量 (T/C) | 年龄 (T/C,岁) | 干预措施 | | 干预频率 | 测量 时间 | 结局 指标 |
|---------------------------------|-------|--------------|----------------------------------|------|------|------------------|--------------|----------|
| | | | | 试验组 | 对照组 | | | |
| 周海荣2018 ^[14] | 中国 | 20/20 | 50.09±9.35/50.76±8.77(月) | VR | OT | 25min/次,5次/周,8周 | 8周 | ① |
| 赵晓科2018 ^[15] | 中国 | 21/22 | 47.20±8.53/41.50±13.98(月) | VR | CIMT | 60min/次,5次/周,3周 | 3周 | ①⑤ |
| El-Shamy2018 ^[16] | 沙特阿拉伯 | 15/15 | 6.9±0.8/6.8±0.77 | VR | CRT | 45min/次,3次/周,12周 | 12周 | ① |
| Chang2020 ^[17] | 韩国 | 10/7 | 6.08±1.77/4.88±1.15 | VR | OT | 20min/次,2次/周,8周 | 8周 | ①⑤ |
| Choi2021 ^[18] | 韩国 | 40/38 | 55.81±35.37/67.74±27.74(月) | VR | OT | 30min/次,5次/周,4周 | 4周,随 访8周 | ④⑤ |
| Choi2023 ^[19] | 韩国 | 15/20 | 8.1±3.2/7.3±2.6 | VR | OT | 30min/次,5次/周,6周 | 6周 | ④⑤ |
| Wang2021 ^[20] | 中国 | 9/9 | 102.67±25.05/102.78±25.84 (月) | VR | CIT | 135min/次,2次/周,4周 | 8周 | ②③⑥ |
| Menekseoglu2023 ^[21] | 土耳其 | 18/18 | 8.2±1.8/8.3±1.4 | VR | CRT | 60min/次,2次/周,6周 | 6周 | ①② |
| Saussez2023 ^[22] | 比利时 | 17/16 | 9.0±3.1/9.1±2.9 | VR | CRT | 90min/次,7次/周,2周 | 2周,随 访12周 | ②⑤ |
| Şahin2019 ^[23] | 土耳其 | 30/30 | 10.5±3.62/10.06±3.24 | VR | OT | 45min/次,2次/周,8周 | 8周 | ③⑥ |
| Bedair2016 ^[24] | 土耳其 | 20/20 | 7.05±0.99/7.25±0.96 | VR | CRT | 30min/次,3次/周,16周 | 16周 | ② |
| Rostami2012 ^[25] | 伊朗 | 8/8 | 92±11.50/96±23.0(月) | VR | CRT | 90min/次,3次/周,4周 | 4周,随 访12周 | ③ |
| Alsaif2015 ^[26] | 沙特阿拉伯 | 20/20 | - | VR | CRT | 20min/次,7次/周,12周 | 12周 | ③ |
| Acar2016 ^[27] | 土耳其 | 15/15 | 9.53±3.04/9.73±2.86 | VR | CRT | 45min/次,2次/周,6周 | 6周 | ①②⑥ |

注:T:试验组,C:对照组;OT:作业治疗(occupational therapy);CIMT:限制诱导运动治疗(constraint-induced movement therapy);CRT:常规康复治疗(conventional rehabilitation therapy);CIT:限制诱导疗法(constraint-induced therapy);①QUEST;②ABILHAND-Kids;③BOTMP;④MA-2;⑤PEDI;⑥WeeFIM。

表2 纳入文献的PEDro量表评分

| 纳入文献 | 条目1 | 条目2 | 条目3 | 条目4 | 条目5 | 条目6 | 条目7 | 条目8 | 条目9 | 条目10 | 条目11 | 得分 | 质量 |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|----|----|
| 周海荣2018 | 是 | 是 | 否 | 是 | 否 | 否 | 否 | 是 | 是 | 是 | 是 | 6 | 高 |
| 赵晓科2018 | 是 | 是 | 否 | 是 | 否 | 否 | 否 | 是 | 是 | 是 | 是 | 6 | 高 |
| El-Shamy2018 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 10 | 极高 |
| Chang2020 | 是 | 是 | 否 | 是 | 否 | 否 | 否 | 是 | 是 | 是 | 是 | 5 | 中 |
| Choi2021 | 是 | 是 | 否 | 是 | 否 | 否 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 7 | 高 |
| Choi2023 | 是 | 是 | 否 | 是 | 否 | 否 | 否 | 是 | 是 | 是 | 是 | 6 | 高 |
| Wang2021 | 是 | 是 | 否 | 是 | 否 | 否 | 否 | 是 | 是 | 是 | 是 | 6 | 高 |
| Menekseoglu2023 | 是 | 是 | 否 | 是 | 否 | 否 | 否 | 是 | 是 | 是 | 是 | 6 | 高 |
| Saussez2023 | 是 | 是 | 否 | 是 | 否 | 否 | 否 | 是 | 是 | 是 | 是 | 6 | 高 |
| Şahin2020 | 是 | 是 | 否 | 是 | 是 | 否 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 8 | 高 |
| Bedair2016 | 是 | 是 | 否 | 是 | 是 | 否 | 否 | 是 | 是 | 是 | 是 | 7 | 高 |
| Rostami2012 | 是 | 是 | 否 | 是 | 是 | 是 | 否 | 是 | 是 | 是 | 是 | 8 | 高 |
| Alsaif2015 | 是 | 是 | 否 | 是 | 否 | 否 | 否 | 是 | 是 | 是 | 是 | 6 | 高 |
| Acar2016 | 是 | 是 | 否 | 是 | 否 | 否 | 否 | 是 | 是 | 是 | 是 | 6 | 高 |

图2 纳入研究的偏倚风险项目百分比



素与结论的相关性,进行亚组分析。根据患儿进行干预疗程时长的不同可分为2个亚组(图6)。2篇文献^[20,22]干预疗程≤4周,3篇文献^[21-22,27]>4周,采用固定效应模型。结果显示,干预疗程≤4周的未观察到上肢运动功能的改善(SMD=

0.01,95%CI -0.54—0.56, $P=0.97$),干预疗程>4周的则观察到试验组评分显著高于对照组(SMD=0.54,95%CI:0.15—0.94, $P=0.007$)。这说明VR干预疗程大于4周的可能会有更好的临床效果,但本研究受纳入文献数量不足、样本量小的影响可能会存在一定偏倚。

2.4.3 BOTMP:4篇文献^[20,23,25-26],134例脑瘫患儿采用BOTMP进行上肢运动功能评估,其中试验组67例,对照组67例。由于研究间采用的BOTMP量表评分标准相同,故选择MD进行效应量的合并,研究结果无明显异质性($I^2=6%$, $P=0.36$),采用固定效应模型分析。结果显示,试验组BOTMP评分显著高于对照组(SMD=0.88,95%CI:0.78—0.99, $P<0.00001$)。见图7。

2.4.4 MA-2:2篇文献^[18-19],113例脑瘫患儿采用MA-2进行

上肢运动功能评估,其中试验组 55 例,对照组 58 例。由于研究间测试工具相同,故选择 MD 进行效应量的合并,研究结果无明显异质性($I^2=0\%$, $P=0.45$),采用固定效应模型分析。结果显示,试验组 MA-2 评分显著高于对照组(MD=3.20, 95%CI: -0.04—6.43, $P=0.05$)。见图 8。

对 MA-2 量表分析的结果显示 $P=0.05$,处于显著性边缘,这可能是由于纳入文献量不足,样本量少,缺乏高质量研究,并且该量表主观性较强,故而对研究结果产生影响。

2.4.5 PEDI:5 篇文献^[15,17-19,22],206 例脑瘫患儿采用 PEDI 进行日常生活能力的评估,其中试验组 103 例,对照组 103 例。由于研究间测试工具相同,故选择 MD 进行效应量的合并。研究结果有明显异质性($I^2=63\%$, $P=0.03$),进行敏感性分析,删除 Chang^[17]的研究后再次进行 meta 分析,发现 I^2 从 63% 下降至 43%, $P=0.15$,选择固定效应模型进行 meta 分析,结果显示,试验组 PEDI 评分显著高于对照组(MD=2.13, 95%CI: 0.32—3.94, $P=0.02$)。见图 9。

进一步分析猜测,导致异质性的原因可能是该研究单次干预时间较短、频率较低,每周仅有 2 次 VR 训练且只进行 20min,而其他研究均每周至少进行 5 次,单次持续 30min 以上;还可能是受该研究样本量较少,试验组干预前 PEDI 评分较高等因素的影响,导致结果异质性增加。

2.4.6 WeeFIM:3 篇文献^[20,23,27],120 例脑瘫患儿采用 WeeFIM 对自我照顾能力进行评估,其中试验组 60 例,对照组 60 例。由于研究间测试工具相同,故选择 MD 进行效应量的合并。研究结果有明显异质性($I^2=64\%$, $P=0.06$),进行敏感性分析,删除 Şahin^[23]的研究后再次进行 meta 分析,发现 I^2 从 64% 下降至 0%, $P=1.00$,选择固定效应模型进行 meta 分析,结果显示组间评分无显著性差异(MD=-2.20, 95%CI -5.91—1.51, $P=0.24$),未观察到自我照顾能力的改善。见图 10。

进一步分析猜测,导致异质性的原因可能是干预频率和时间的差异、不同国家本土化量表得分标准不同以及样本量大小和康复治疗师的干预方法不同等因素。

2.4.7 不良反应:所有文献均未提及不良反应情况。

2.4.8 发表偏倚:以 QUEST、ABILHAND-Kids 和 PEDI 为指标进行漏斗图分析。QUEST、ABILHAND-Kids 和 PEDI 的

漏斗图均显示散点在中线两侧,分布基本对称,呈倒漏斗形,提示纳入文献偏倚可能性较小,meta 分析结果较可靠(图 11—13)。由于以 BOTMP、MA-2 和 WeeFIM 为指标纳入的文献数量较少,故不做漏斗图分析。

3 讨论

脑瘫是婴幼儿早期发生并持续一生的一系列运动和姿势发育层面的神经系统疾病^[28],上肢运动功能的缺陷会导致儿童行为、社交以及日常生活活动的受限^[29-30]。VR 技术因其具有沉浸性、交互性及趣味性已被广泛运用于脑瘫儿童上肢功能障碍的康复并有较好的临床效果,本研究从循证医学的角度,系统评价 VR 对脑瘫儿童上肢运动功能的康复疗效。

纳入的 14 篇^[14-27]研究中,上肢运动功能的评定采用 QUEST、ABILHAND-Kids、BOT-2、MA-2,日常生活能力的评定采用 PEDI,自我照顾能力采用 WeeFIM 的自我照顾量表进行评定。除 WeeFIM 自我照顾子量表外,其他评定均有显著性差异,并且通过对 QUEST 和 ABILHAND-Kids 进行亚

图 3 QUEST 评分的 meta 分析

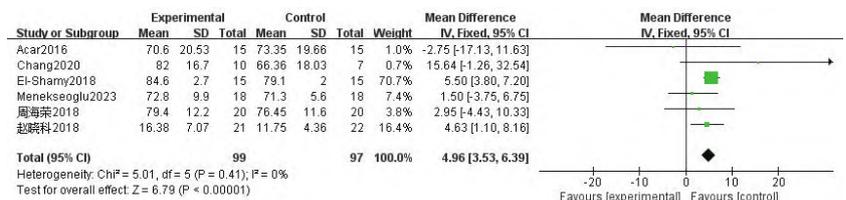


图 4 不同 VR 类型 QUEST 评分的亚组分析

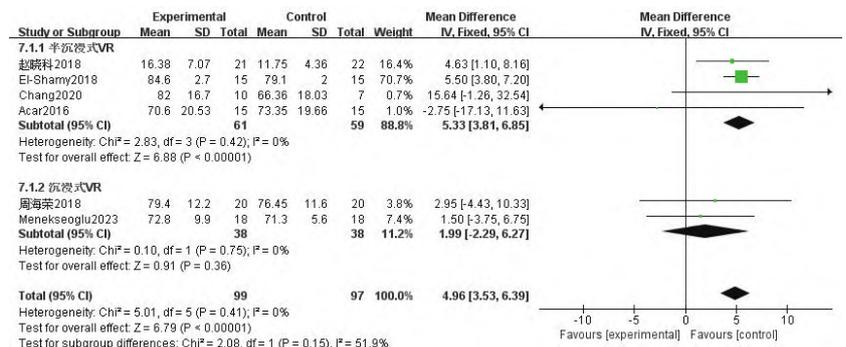


图 5 ABILHAND-Kids 评分的 meta 分析

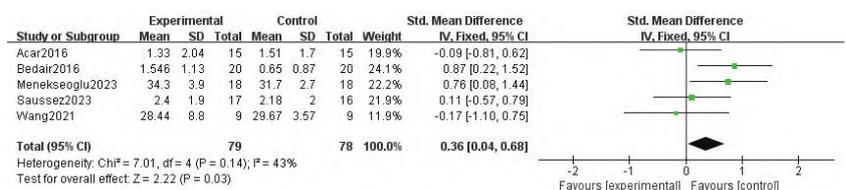


图6 不同干预疗程 ABILHAND-Kids 评分的亚组分析

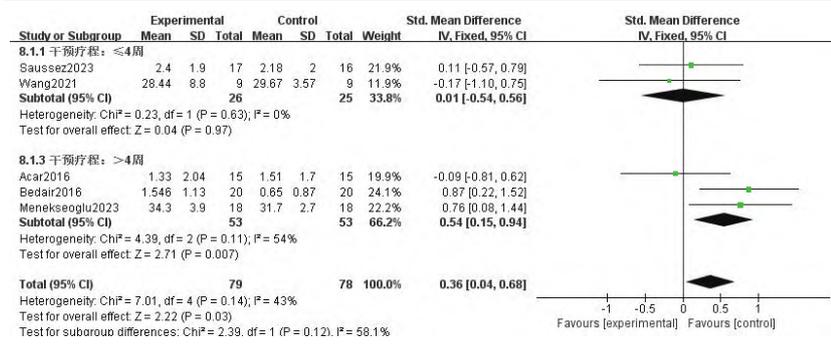


图7 BOTMP 评分的 meta 分析

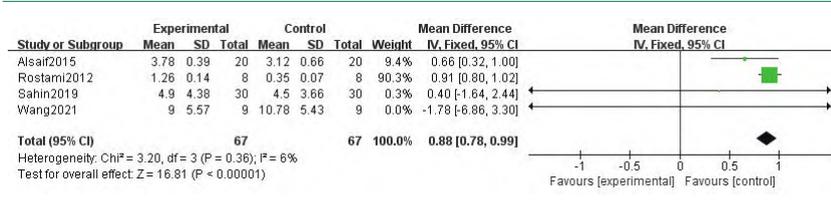


图8 MA-2 评分的 meta 分析

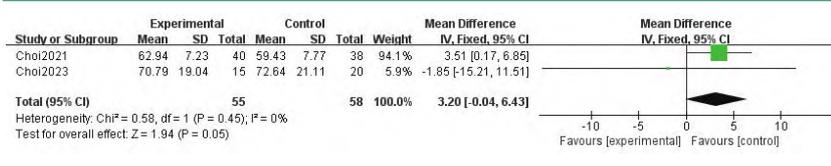


图9 敏感性分析后 VR 技术对脑瘫儿童 PEDI 评分的影响

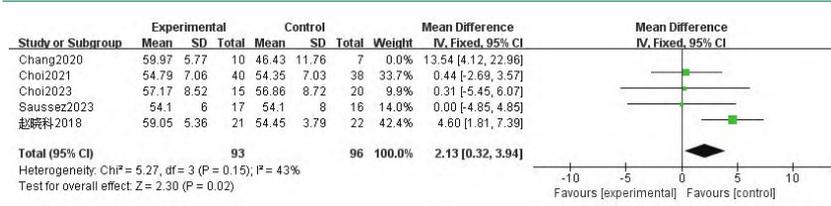
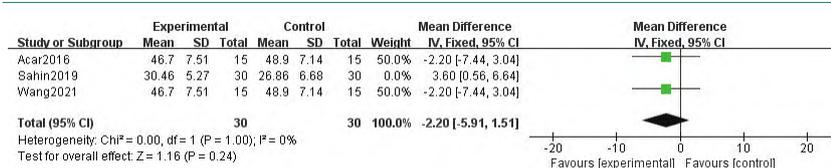


图10 敏感性分析后 VR 技术对脑瘫儿童 WeeFIM 评分的影响



组分析发现干预疗程 > 4 周与使用非沉浸式 VR 设备可能会促进改善脑瘫儿童的上肢运动功能。

本研究结果显示 VR 技术能够有效提高脑瘫儿童的上肢运动功能和日常生活能力,但对自我照顾能力的效果不显著。有 3 篇文章^[20, 23, 27]使用 WeeFIM 自我照顾的子量表对自我照顾能力进行评定后的结果显示组间无显著性差异,这可能与该功能需要更高阶的上肢运动和自我认知能力以及持

久的 VR 干预有关。Wang^[20]和 Acar^[27]的研究均显示常规治疗比 VR 训练在提高脑瘫儿童的自我照顾能力方面更有效,但 Acar^[27]的研究提出当常规治疗结合 VR 训练时可能会更加改善自我照顾能力,这说明 VR 训练可能是一种提高脑瘫儿童自我照顾能力的补充,有一定的临床使用价值,未来需更多研究来探讨 VR 训练对自我照顾能力的影响。并且本次纳入研究具有干预时间短以及样本量小的局限,使得无法准确判断 VR 技术是否能够改善脑瘫儿童自我照顾能力。日常生活能力包括运动活动、自我照顾、行动、社交、认知、责任感等方面,但日常生活能力的提高仅代表整体功能的改善,而非特定的某一种子功能,故 VR 训练虽然可以提高整体的日常生活能力,但并不代表其子功能(例如自我照顾能力)也会有改善。故未来研究可细化 VR 训练具体提高脑瘫患儿日常生活能力的何种能力。

上肢功能异常是脑瘫儿童常见的运动障碍,现阶段仍是临床治疗的难点问题^[4]。国内外许多利用 VR 技术取得良好上肢运动效果的研究发现,VR 是通过不断的运动学习和多重复、高强度的训练来激活许多涉及运动学习和计划的大脑区域以诱导神经可塑性^[31-34]从而提高脑瘫儿童的上肢运动功能。运动学习是一组基于与实践或经验相关的神经可塑性原理的过程,并会导致相对永久性的运动变化^[35],故在 VR 康复治疗后上肢运动功能的改善可能会延伸到治疗阶段之后^[32, 36],这与 Amirthalingam 等^[32]的观点一致。也有研究指出,VR 训练中的多感官知觉反馈同样能够支持大脑皮质下和皮质区域的神经网络的重组从而改善脑瘫儿童的上肢运动功能^[37]。此外,低兴趣会影响儿童参与治疗的动机,而动机和参与的影响被强调为 VR 有效治疗的关键因素^[38]。研究发现,VR 训练中的试验组一直保持高水平的积极性,这提示 VR 技术可以提高患者的参与动机,而动机更大的儿童在治疗中的配合度和参与度更高,从而能够更好地改善上肢运动表现和日常生活能力^[39-40]。

图 11 QUEST 的漏斗图

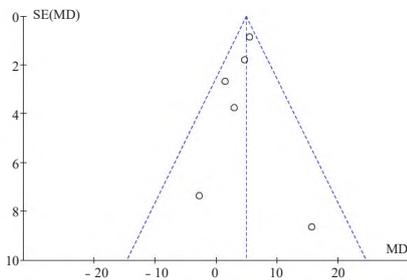


图 12 ABILHAND-Kids 的漏斗图

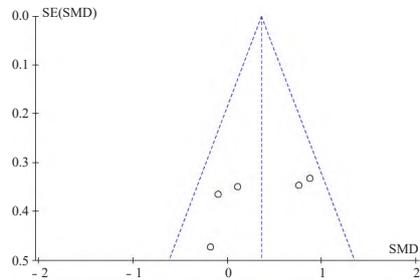
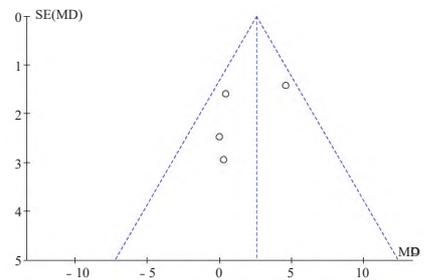


图 13 PEDI 的漏斗图



本研究存在一定潜在偏倚。仅纳入中英文文献,可能存在文献收录不全的问题;部分纳入的随机对照试验研究设计不够严谨,并且证据质量为中等,未描述具体的随机方法、分配隐藏和盲法;患者的基线水平、干预方案和结局指标主观性较强,可能影响 meta 分析结果;未将脑瘫患儿和 VR 设备进行细化分类,导致治疗效果可能存在一定偏倚;仅 3 篇^[18, 22, 25]文献报道了随访情况,尚不能确定 VR 具体训练参数、干预周期和累计干预时间与上肢运动功能改善的关系。

4 结论

VR 技术对脑瘫儿童的上肢运动功能和日常生活功能具有明显效果,但尚未能改善患儿的自我照顾能力,但在提高自我照顾能力方面具有潜在的临床应用价值。目前 VR 干预的最佳频率、疗程等尚未明确,未来可细化不同日常生活能力以及上肢受损程度和开展大样本、多中心以及科学、规范化的高质量随机对照试验进行探索及验证。

参考文献

[1] Reid LB, Rose SE, Boyd RN. Rehabilitation and neuroplasticity in children with unilateral cerebral palsy[J]. *Nat Rev Neurol*, 2015, 11(7): 390—400.
 [2] Sakzewski L, Ziviani J, Abbott DF, et al. Randomized trial of constraint-induced movement therapy and bimanual training on activity outcomes for children with congenital hemiplegia[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2011, 53(4): 313—320.
 [3] Russo RN, Skuza PP, Sandelance M, et al. Upper limb impairments, process skills, and outcome in children with unilateral cerebral palsy[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2019, 61(9): 1080—1086.
 [4] Masaki M, Uchikawa Y, Iizuka Y, et al. Association of activities of daily living and cognitive function with thickness of the upper extremity muscles in children and adults with cerebral palsy[J]. *Journal of Medical Ultrasonics*, 2023, 50(2): 245—252.
 [5] Sakzewski L, Ziviani J, Boyd RN. Efficacy of upper limb therapies for unilateral cerebral palsy: a meta-analysis[J]. *Pediatrics*, 2014, 133(1): e175—204.

[6] Avcil E, Tarakci D, Arman N, et al. Upper extremity rehabilitation using video games in cerebral palsy: a randomized clinical trial[J]. *Acta Neurologica Belgica*, 2020, 121(4): 1053—1060.
 [7] Demers M, Fung K, Subramanian SK, et al. Integration of motor learning principles into virtual reality interventions for individuals with cerebral palsy: systematic review[J]. *JMIR Serious Games*, 2021, 9(2): e23822.
 [8] Rathinam C, Mohan V, Peirson J, et al. Effectiveness of virtual reality in the treatment of hand function in children with cerebral palsy: a systematic review[J]. *J Hand Ther*, 2019, 32(4): 426—434.e421.
 [9] Bryanton C, Bossé J, Brien M, et al. Feasibility, motivation, and selective motor control: virtual reality compared to conventional home exercise in children with cerebral palsy[J]. *Cyberpsychol Behav*, 2006, 9(2): 123—128.
 [10] Burin-Chu S, Baillet H, Leconte P, et al. Effectiveness of virtual reality interventions of the upper limb in children and young adults with cerebral palsy: A systematic review with meta-analysis[J]. *Clinical Rehabilitation*, 2024, 38(1): 15—33.
 [11] Zoccolillo L, Morelli D, Cincotti F, et al. Video-game based therapy performed by children with cerebral palsy: a cross-over randomized controlled trial and a cross-sectional quantitative measure of physical activity[J]. *European Journal of Physical & Rehabilitation Medicine*, 2015, 51(6): 669—676.
 [12] Mirich R, Kyvelidou A, Greiner BS. The effects of virtual reality based rehabilitation on upper extremity function in a child with cerebral palsy: a case report[J]. *Phys Occup Ther Pediatr*, 2021, 41(6): 620—636.
 [13] 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.
 [14] 周海荣, 吴文英, 李锦嫦, 等. VR 技术在偏瘫型脑瘫患者上肢功能训练中的应用[J]. *世界最新医学信息文摘*, 2018, 18: 167—168.
 [15] 赵晓科, 张跃, 汤健, 等. 限制诱导运动疗法辅助虚拟现实游戏对偏瘫儿童运动功能的影响 [J]. *中华物理医学与康*

- 杂志, 2018, 40: 361—365.
- [16] El-Shamy SM. Efficacy of Armeo[®] robotic therapy versus conventional therapy on upper limb function in children with hemiplegic cerebral palsy[J]. American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 2018, 97(3): 164—169.
- [17] Chang HJ, Ku KH, Park YS, et al. Effects of virtual reality-based rehabilitation on upper extremity function among children with cerebral palsy[J]. Healthcare, 2020, 8(4): 391—398.
- [18] Choi JY, Yi SH, Ao L, et al. Virtual reality rehabilitation in children with brain injury: a randomized controlled trial[J]. Developmental Medicine and Child Neurology, 2021, 63(4): 480—487.
- [19] Choi JY, Yi SH, Shim D, et al. Home-based virtual reality-enhanced upper limb training system in children with brain injury: a randomized controlled trial[J]. Frontiers in Pediatrics, 2023, 11: 1—9.
- [20] Wang TN, Chen YL, Shieh JY, et al. Commercial exergaming in home-based pediatric constraint-induced therapy: a randomized trial[J]. OTJR Occupation, Participation and Health, 2021, 41(2): 90—100.
- [21] Menekseoglu AK, Capan N, Arman S, et al. Effect of a virtual reality-mediated gamified rehabilitation program on upper limb functions in children with hemiplegic cerebral palsy: a prospective, randomized controlled study[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2023, 102(3): 198—205.
- [22] Saussez G, Bailly R, Araneda R, et al. Efficacy of integrating a semi-immersive virtual device in the HABIT-ILE intervention for children with unilateral cerebral palsy: a non-inferiority randomized controlled trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2023, 20(1): 98.
- [23] Şahin S, Köse B, Aran OT, et al. The effects of virtual reality on motor functions and daily life activities in unilateral spastic cerebral palsy: a single-blind randomized controlled trial[J]. Games Health J, 2020, 9(1): 45—52.
- [24] Bedair R, Al-Talawy H, Shoukry K, et al. Impact of virtual reality games as an adjunct treatment tool on upper extremity function of spastic hemiplegic children[J]. International Journal of PharmTech Research, 2016, 9(6): 1—8.
- [25] Rostami HR, Arastoo AA, Nejad SJ, et al. Effects of modified constraint-induced movement therapy in virtual environment on upper-limb function in children with spastic hemiparetic cerebral palsy: a randomised controlled trial[J]. NeuroRehabilitation, 2012, 31(4): 357—365.
- [26] Alsaif AA, Alsenany S. Effects of interactive games on motor performance in children with spastic cerebral palsy [J]. Journal of Physical Therapy Science, 2015, 27(6): 2001—2003.
- [27] Acar G, Altun GP, Yurdalan S, et al. Efficacy of neurodevelopmental treatment combined with the Nintendo[®] Wii in patients with cerebral palsy[J]. J Phys Ther Sci, 2016, 28(3): 774—780.
- [28] Richards CL, Malouin F. Cerebral palsy: definition, assessment and rehabilitation[J]. Handb Clin Neurol, 2013, 111: 183—195.
- [29] Wagner JM, Lang CE, Sahrman SA, et al. Sensorimotor impairments and reaching performance in subjects with post-stroke hemiparesis during the first few months of recovery [J]. Phys Ther, 2007, 87(6): 751—765.
- [30] Shaughnessy M, Resnick BM, Macko RF. Testing a model of post-stroke exercise behavior[J]. Rehabil Nurs, 2006, 31(1): 15—21.
- [31] Oh YB, Kim GW, Han KS, et al. Efficacy of virtual reality combined with real instrument training for patients with stroke: a randomized controlled trial[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2019, 100(8): 1400—1408.
- [32] Amirthalingam J, Paidi G, Alshowaikh K, et al. Virtual reality intervention to help improve motor function in patients undergoing rehabilitation for cerebral palsy, Parkinson's disease, or stroke: a systematic review of randomized controlled trials[J]. Cureus, 2021, 13(7): e16763.
- [33] Kleim JA, Jones TA. Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage[J]. J Speech Lang Hear Res, 2008, 51(1): S225—239.
- [34] Jang SH, You SH, Hallett M, et al. Cortical reorganization and associated functional motor recovery after virtual reality in patients with chronic stroke: an experimenter-blind preliminary study[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2005, 86(11): 2218—2223.
- [35] Bacmeister CM, Barr HJ, McClain CR, et al. Motor learning promotes remyelination via new and surviving oligodendrocytes[J]. Nature neuroscience, 2020, 23(7): 819—831.
- [36] Roberts H, Shierk A, Clegg NJ, et al. Constraint induced movement therapy camp for children with hemiplegic cerebral palsy augmented by use of an exoskeleton to play games in virtual reality[J]. Phys Occup Ther Pediatr, 2021, 41(2): 150—165.
- [37] Ögün MN, Kurul R, Yaşar MF, et al. Effect of leap motion-based 3D immersive virtual reality usage on upper extremity function in ischemic stroke patients[J]. Arq Neuropsiquiatr, 2019, 77(10): 681—688.
- [38] Galvin J, McDonald R, Catroppa C, et al. Does intervention using virtual reality improve upper limb function in children with neurological impairment: a systematic review of the evidence[J]. Brain Inj, 2011, 25(5): 435—442.
- [39] Bergmann J, Krewer C, Bauer P, et al. Virtual reality to augment robot-assisted gait training in non-ambulatory patients with a subacute stroke: a pilot randomized controlled trial[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2018, 54(3): 397—407.
- [40] Goyal C, Vardhan V, Naqvi W. Virtual reality-based intervention for enhancing upper extremity function in children with hemiplegic cerebral palsy: a literature review[J]. Cureus, 2022, 14(1): e21693.