

虚拟现实认知训练联合重复经颅磁刺激治疗 对脑卒中后认知功能的改善作用

唐雨亭

(蚌埠医科大学第一附属医院康复医学科, 安徽蚌埠 233000)

【摘要】目的 探讨虚拟现实 (Virtual Reality, VR) 认知训练联合重复经颅磁刺激 (Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, rTMS) 治疗对脑卒中后认知功能的改善作用, 为优化脑卒中后认知障碍 (Post-Stroke Cognitive Impairment, PSCI) 康复方案提供依据。**方法** 采用随机对照试验 (Randomized Controlled Trial, RCT) 设计, 纳入 2022 年 1 月至 2024 年 12 月在蚌埠医科大学第一附属医院康复医学科住院或门诊接受治疗的 82 例脑卒中患者, 随机分为观察组 ($n=41$, 接受 VR 认知训练联合 rTMS 治疗) 与对照组 ($n=41$, 仅接受 rTMS)。采用蒙特利尔认知评估 (Montreal Cognitive Assessment, MoCA) 量表、简易精神状态检查 (Mini-Mental State Examination, MMSE) 及日常生活能力量表 (Activities of Daily Living Scale, ADLS) 评估干预前 (T_0)、干预 6 周 (T_1) 及 12 周 (T_2) 脑卒中患者的认知功能与生活能力变化。**结果** 观察组 MoCA 总分提升, 显著高于对照组 ($17.25 \pm 3.35 \rightarrow 25.30 \pm 3.80$ vs $17.15 \pm 3.25 \rightarrow 21.60 \pm 3.50$) ($P < 0.05$) ; MMSE 总分提升明显高于对照组 ($21.55 \pm 2.95 \rightarrow 27.50 \pm 2.60$ vs $21.45 \pm 3.05 \rightarrow 24.10 \pm 2.90$) ($P < 0.005$) ; ADLS 总分提升高于对照组 ($65.35 \pm 6.75 \rightarrow 79.30 \pm 5.80$ vs $64.85 \pm 6.95 \rightarrow 73.80 \pm 6.20$) ($P < 0.05$)。组间比较显示, 观察组在注意力、执行功能及工具性日常活动 (Instrumental Activities of Daily Living, IADL) 等子维度的改善幅度均显著优于对照组 (均 $P < 0.05$)。**结论** VR 认知训练联合 rTMS 治疗比单纯 rTMS 治疗能更有效地改善脑卒中患者的认知功能, 为脑卒中后认知康复提供了新的干预模式。

【关键词】 虚拟现实; 重复经颅磁刺激; 脑卒中; 认知功能; 康复治疗

【中图分类号】 R651.1

【文献标志码】 A

文章编号: 1674-1242 (2025) 03-0280-08

Effect of Virtual Reality-Based Cognitive Training Combined with Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Cognitive Function After Stroke

TANG Yuting

(Department of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital of Bengbu

Medical University, Bengbu, Anhui 233000, China)

【Abstract】Objective To explore the improvement effect of virtual reality (VR) cognitive training combined with repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) on cognitive function after stroke, and provide a basis for optimizing rehabilitation plans for post-stroke cognitive impairment (PSCI). **Methods** A randomized controlled trial (RCT) design was used to include 82 stroke patients who were treated as inpatients or outpatients in the Department of Rehabilitation Medicine of the First Affiliated Hospital of Bengbu Medical University from January 2022 to December 2024, and divide these patients into an observation group ($n=41$, receiving rTMS combined with VR training) and a control group ($n=41$, receiving rTMS only).

The Montreal Cognitive Assessment (MoCA) Scale, Mini-Mental State Examination (MMSE), and Activities of Daily Living Scale (ADLS) were used to evaluate the changes in cognitive function and life ability before intervention (T_0), at 6 weeks (T_1), and at 12 weeks (T_2). **Results** The total score of MoCA in the observation group increased significantly compared to the control group ($17.25 \pm 3.35 \rightarrow 25.30 \pm 3.80$ vs $17.15 \pm 3.25 \rightarrow 21.60 \pm 3.50$) ($P < 0.05$). The improvement of MMSE total score of the observation group was significantly higher than that of the control group ($21.55 \pm 2.95 \rightarrow 27.50 \pm 2.60$ vs $21.45 \pm 3.05 \rightarrow 24.10 \pm 2.90$) ($P < 0.05$). The total score of ADLS of the observation group improved significantly compared to that of the control group ($65.35 \pm 6.75 \rightarrow 79.30 \pm 5.80$ vs $64.85 \pm 6.95 \rightarrow 73.80 \pm 6.20$) ($P < 0.05$). Intergroup comparison showed that the observation group had significantly better improvement in subdimensions such as attention, executive function, and instrumental activities of daily living (IADL) than the control group (all $P < 0.05$). **Conclusion** VR training combined with rTMS is more effective in improving cognitive function in stroke patients than rTMS alone, providing a new intervention model for post-stroke cognitive rehabilitation.

[Key words] Virtual Reality (VR); Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS); Stroke; Cognitive Function; Rehabilitation

0 引言

脑卒中(Stroke)是全球范围内导致成人残疾的主要原因之一，其中脑卒中后认知障碍(Post-Stroke Cognitive Impairment, PSCI)常见于缺血性或出血性脑卒中患者，影响患者记忆力、执行功能、注意力及空间认知等。PSCI通常表现为记忆力减退、注意力不集中、执行功能障碍及空间感知能力受损，严重影响患者的生活质量和社交功能^[1-2]。研究表明，有30%~50%的脑卒中患者会出现不同程度的PSCI，尤其是缺血性和出血性脑卒中患者认知障碍的发生率较高，且随着时间的推移，病情往往进一步恶化^[3]。因此，针对PSCI的有效治疗和康复成为神经康复学领域的重要研究方向。

目前，重复经颅磁刺激(Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, rTMS)广泛应用于脑卒中患者的康复治疗，特别是在神经可塑性激活和认知功能恢复方面^[4]。rTMS通过非侵入性地向大脑特定区域施加电磁脉冲，调节脑区的活动，促进神经网络的重组和恢复^[5]。特别是对背外侧前额叶皮层(Dorsolateral Prefrontal Cortex, DLPFC)的高频刺激，已被证明能够改善执行功能、注意力及整体认知能力^[6]。尽管单一rTMS治疗在一定程度上取得了积极效果，但其治疗效果仍受刺激强度、频率及治疗时间等多种因素的影响，因此联合治疗模式成为提升疗效的重要方向。近年来，虚拟现实(Virtual Reality,

VR)作为一种新兴的康复技术，因具备高度沉浸式的交互环境而展现出巨大的应用潜力。VR认知训练通过提供一个虚拟环境，让患者在逼真的情境下完成各类型认知任务，从而提升大脑的认知功能^[7]。

尽管rTMS和VR的单独应用已在PSCI的治疗中取得了一定进展，但两者的联合应用尚未得到充分研究。本研究旨在探讨VR认知训练联合rTMS治疗对脑卒中后认知功能的改善作用，并评估其在提升患者认知能力和日常生活能力方面的优势，为PSCI提供一种更加有效的康复新模式。

1 材料与方法

1.1 研究对象

本研究纳入2022年1月至2024年12月在蚌埠医科大学第一附属医院康复医学科住院或门诊接受治疗的脑卒中患者共82例。

纳入标准：①经磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)或计算机断层扫描(Computed Tomography, CT)影像学检查确诊为缺血性或出血性脑卒中；②发病时间在6个月内，存在轻中度认知障碍，蒙特利尔认知评估(Montreal Cognitive Assessment, MoCA)量表评分10~26分；③年龄40~75岁；④右利手，且无严重视觉或听觉障碍，能够进行VR认知训练；⑤能够理解研究流程并签署知情同意书，愿意接受治疗并配合评估。

排除标准：①既往有阿尔茨海默病、帕金森病

或其他严重神经系统疾病者；②伴有严重精神疾病（如抑郁症、精神分裂症）或认知障碍病因不明者；③佩戴心脏起搏器、深部脑刺激器或其他金属植入物，不适合接受 rTMS 治疗者；④近期接受其他认知康复干预（如药物或电刺激疗法），可能影响研究结果者；⑤存在严重的运动障碍，无法完成 VR 交互任务者。

所有患者均由两名康复医师筛选，符合标准者被纳入研究。本研究已通过蚌埠医科大学第一附属医院医学伦理委员会审批（伦理审查编号：2022-KY-013），符合《赫尔辛基宣言》中有关人类医学研究的伦理原则。所有受试者在干预前均签署书面知情同意书，并自愿参与本研究。

1.2 研究设计与分组

本研究采用随机对照试验（Randomized Controlled Trial, RCT）设计，在研究开展前使用 G*Power 3.1 软件进行样本量估算。设定双侧检验，显著性水平 α 为 0.05，检验效能 ($1 - \beta$) 为 0.80，预期效应量 (Cohen's d) 为 0.65（参考既往类似研究），计算得出每组所需最小样本量为每组 36 例。考虑 10% 左右的失访风险，最终确定样本量为每组 41 例，共 82 例。采用随机数字表法将 82 例患者分为：①观察组 ($n=41$)，接受 VR 认知训练联合 rTMS 治疗；②对照组 ($n=41$)，仅接受 rTMS 治疗。随机分组由一名与干预和评估过程无关的研究助理使用随机数字表法生成分组序列，并采用封闭不透明信封法实施分组隐藏。分组方案在纳入患者后由负责干预的治疗师开封执行。本研究属于单盲设计：干预执行者知晓患者的分组信息，但评估人员和数据分析者均对患者分组情况保持盲法，避免出现观察偏倚和分析偏倚。

两组均接受标准化康复训练，干预周期为 12 周。

1.3 干预方法

1.3.1 rTMS 治疗

所有患者均接受 rTMS 治疗，具体参数如下。

- ①刺激靶区：左侧 DLPFC；②刺激频率：10Hz（高频刺激）；③刺激强度：90% 运动阈值；④脉冲数：每次 1200 个脉冲；⑤单次治疗时长：20 分钟；⑥治疗频率：每周 5 次，共 12 周（共 60 次）；⑦设备型号：MagstimRapid²（Magstim 公司，英国）。

rTMS 治疗由经过专业培训的神经康复医师操作，确保刺激参数的标准化，并对患者进行安全监测。具体设备与 rTMS 治疗模式分别如图 1 和图 2 所示。



图 1 MagstimRapid² 设备
Fig.1 MagstimRapid² device

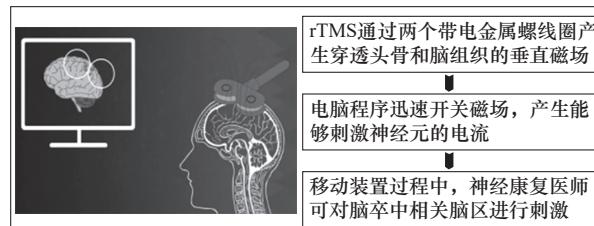


图 2 rTMS 治疗模式
Fig.2 rTMS treatment model

1.3.2 VR 认知训练（观察组）

观察组患者额外接受 VR 认知训练，每次 30 分钟，每周 5 次，共 12 周。VR 认知训练使用 HTC VIVE Pro Eye（HTC 公司，中国台湾）（头戴式显示器 + 手势识别交互系统），由专业康复治疗师指导完成，训练内容包括以下几项。

(1) 注意力训练。任务内容包括目标搜索、视觉追踪、选择性注意练习，目标是提高注意力集中和分配能力，提高信息处理速度。

(2) 执行功能训练。任务内容包括逻辑推理、任务切换、规划能力练习，目标是提高认知灵活性和问题解决能力。

(3) 记忆训练。任务内容包括虚拟超市购物、词语回忆、配对记忆游戏，目标是提升工作记忆能力和长期记忆能力。

(4) 空间认知训练。任务内容包括三维拼图、虚拟导航任务（迷宫路径规划），目标是增强空间感知能力和方向辨别能力。

为确保训练的个性化和科学性，依据患者干预前的认知评估结果 [主要为 MoCA 量表和简易精神

状态检查 (Mini-Mental State Examination, MMSE) 评分] 对 VR 任务难度进行分级管理。具体而言: ①对于 MoCA 量表评分 <18 分者, 优先安排基础级训练任务, 内容以注意力维持、图形识别和简单路径导航为主; ②对于 MoCA 量表评分为 18~23 分者, 安排中等难度任务, 包含任务切换、逻辑规划及购物模拟等功能性任务; ③对于 MoCA 量表评分 ≥ 24 分者, 可逐步引入复杂任务 (如三维空间迷宫、逻辑推理连环任务), 同时结合 MMSE 评估中定向力和语言分项指标动态调整训练频次与反馈提示策略。训练过程中若出现任务完成率持续偏低或主观疲劳明显, 治疗师将结合每周评分趋势对任务难度进行适当下调, 确保干预剂量与认知负荷相匹配。VR 系统如图 3 所示。



图 3 VR 系统
Fig.3 VR system

1.4 观察指标

研究在干预前 (T_0)、6 周 (T_1)、12 周 (T_2) 对所有患者进行认知功能和日常生活能力评估, 具体指标如下。

(1) MoCA 量表评分。评估内容包括注意力、执行功能、记忆能力、语言能力、空间认知能力等。满分 30 分, 分数越高表示认知功能越好, ≥ 26 分为认知功能正常, <26 分为认知障碍。

(2) MMSE 评分。评估内容包括定向力、计算能力、语言能力等, 满分 30 分, ≥ 24 分为正常, <24 分提示认知功能下降。

(3) 日常生活能力量表 (Activities of Daily Living Scale, ADLS) 评分。评估内容包括基本日常活动 (Basic Activity of Daily Living, BADL), 如进食、穿衣、如厕等, 以及工具性日常活动 (Instrumental Activities of Daily Living, IADL), 如购物、使用电话、理财等。满分 100 分, 分数越高表示认知功能越好。

所有评估均由两名经过培训的神经心理学专家独立完成, 取平均值作为最终评分, 确保数据的可靠性。

1.5 统计分析

数据分析使用 SPSS 26.0 统计软件, 计量资料 (如 MoCA 量表评分、MMSE 评分、ADLS 评分) 采用均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用独立样本 t 检验, 组内时间点比较采用重复测量方差分析 (Analysis of Variance, ANOVA); 计数资料 (如性别比例) 采用 χ^2 检验; 统计学显著性水平 $P < 0.05$ 视为差异具有统计学意义。所有数据均经过双重录入, 以减少录入误差, 并使用偏倚分析方法检测潜在的系统误差。

2 结果

2.1 基线资料比较

本研究共纳入 82 例脑卒中患者, 其中观察组 (VR 认知训练联合 rTMS 治疗组) 41 例, 对照组 (rTMS 治疗组) 41 例。两组患者在性别、年龄、脑卒中类型、发病至干预时间、MoCA 量表评分、MMSE 评分、ADLS 评分等基线资料方面差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 具有可比性。具体数据如表 1 所示)。

2.2 干预后认知功能改善情况对比

两组患者 MoCA 量表评分、MMSE 评分和 ADLS 评分均较基线 (T_0) 有不同程度的改善, 但观察组的改善幅度显著高于对照组 ($P < 0.001$)。具体数据如表 2 至表 5 所示。

表 1 两组患者基线资料比较 ($\bar{x} \pm s$)
Tab.1 Comparison of baseline data between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

| 变量 | 观察组 ($n=41$) | 对照组 ($n=41$) | t/χ^2 值 | P 值 |
|-------------------|------------------|------------------|--------------|-------|
| 性别 (男 / 女) | 20/21 | 21/20 | 0.049 | 0.825 |
| 年龄 / 岁 | 62.45 ± 7.85 | 61.75 ± 7.95 | 0.418 | 0.677 |
| 脑卒中类型 (缺血性 / 出血性) | 28/13 | 25/16 | 0.512 | 0.474 |
| 发病至干预时间 / 周 | 10.35 ± 2.05 | 10.65 ± 2.15 | 0.672 | 0.504 |
| MoCA 量表评分 | 17.25 ± 3.35 | 17.15 ± 3.25 | 0.143 | 0.887 |
| MMSE 评分 | 21.55 ± 2.95 | 21.45 ± 3.05 | 0.156 | 0.876 |
| ADLS 评分 | 65.35 ± 6.75 | 64.85 ± 6.95 | 0.332 | 0.741 |

表2 两组患者不同时间点认知功能评估 ($\bar{x} \pm s$)
 Tab.2 Cognitive function assessment of two groups of patients at different time points ($\bar{x} \pm s$)

| 组别 | MoCA 量表评分 | | | MMSE 评分 | | | ADLS 评分 | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₀ | T ₁ | T ₂ |
| 观察组(n=41) | 17.25±3.35 | 21.80±3.60 | 25.30±3.80 | 21.55±2.95 | 24.30±2.90 | 27.50±2.60 | 65.35±6.75 | 72.50±6.20 | 79.30±5.80 |
| 对照组(n=41) | 17.15±3.25 | 19.40±3.50 | 21.60±3.50 | 21.45±3.05 | 22.60±3.00 | 24.10±2.90 | 64.85±6.95 | 69.10±6.50 | 73.80±6.20 |
| t 值 | 0.12 | 2.98 | 4.82 | 0.15 | 2.56 | 5.02 | 0.19 | 2.52 | 4.67 |
| P 值 | 0.91 | 0.004 | <0.001 | 0.88 | 0.01 | <0.001 | 0.85 | 0.014 | <0.001 |

表3 两组患者 MoCA 量表评分改善情况对比 ($\bar{x} \pm s$, T₀ → T₂)
 Tab.3 Comparison of MoCA score improvement between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$, T₀ → T₂)

| 维度 | 观察组 (n=41) | 对照组 (n=41) | t 值 | P 值 |
|--------|-------------------------|-------------------------|------|--------|
| 注意力 | 3.85±1.02 → 5.60±0.95 | 3.80±0.98 → 4.30±0.88 | — | — |
| 执行功能 | 2.40±0.78 → 4.25±0.82 | 2.35±0.75 → 3.10±0.70 | — | — |
| 空间认知能力 | 3.10±0.65 → 4.80±0.72 | 3.05±0.62 → 3.60±0.65 | — | — |
| 记忆能力 | 4.20±1.10 → 6.15±1.05 | 4.15±1.05 → 4.90±0.95 | — | — |
| 语言能力 | 3.70±0.85 → 4.90±0.80 | 3.65±0.80 → 4.10±0.75 | — | — |
| 总分 | 17.25±3.35 → 25.30±3.80 | 17.15±3.25 → 21.60±3.50 | 4.82 | <0.001 |

表4 两组患者 MMSE 评分改善情况对比 ($\bar{x} \pm s$, T₀ → T₂)
 Tab.4 Comparison of improvement in MMSE score between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$, T₀ → T₂)

| 维度 | 观察组 (n=41) | 对照组 (n=41) | t 值 | P 值 |
|--------|-------------------------|-------------------------|------|--------|
| 定向力 | 7.20±1.35 → 9.10±1.20 | 7.15±1.30 → 7.90±1.15 | — | — |
| 计算能力 | 3.50±0.95 → 5.30±0.85 | 3.45±0.90 → 4.10±0.80 | — | — |
| 语言能力 | 6.15±1.10 → 8.25±1.05 | 6.10±1.05 → 6.90±0.95 | — | — |
| 即刻回忆能力 | 2.80±0.60 → 3.95±0.55 | 2.75±0.58 → 3.20±0.50 | — | — |
| 延迟回忆能力 | 2.90±0.65 → 4.00±0.60 | 2.85±0.62 → 3.30±0.55 | — | — |
| 总分 | 21.55±2.95 → 27.50±2.60 | 21.45±3.05 → 24.10±2.90 | 5.02 | <0.001 |

表5 两组患者 ADLS 评分改善情况对比 ($\bar{x} \pm s$, T₀ → T₂)
 Tab.5 Comparison of improvement in ADLS scores between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$, T₀ → T₂)

| 维度 | 观察组 (n=41) | 对照组 (n=41) | t 值 | P 值 |
|------|-------------------------|-------------------------|------|--------|
| BADL | 48.60±5.20 → 55.30±4.80 | 48.50±5.10 → 51.20±4.70 | — | — |
| IADL | 16.60±3.10 → 24.00±2.90 | 16.40±3.05 → 19.50±2.85 | — | — |
| 总分 | 65.35±6.75 → 79.30±5.80 | 64.85±6.95 → 73.80±6.20 | 4.67 | <0.001 |

2.3 组间比较的差异性分析

为进一步分析两组患者在不同时间点的改善

幅度，计算组间变化率 (Δ)。具体数据如表6 和

图4所示。

表6 干预后不同时间点评分变化幅度 (Δ)
 Tab.6 Changes in scores at different time points after intervention (Δ)

| 指标 | ΔT_1-T_0 (6周变化) | ΔT_2-T_0 (12周变化) |
|-----------|-------------------------|--------------------------|
| MoCA 量表评分 | 观察组: +4.55 → 对照组: +2.25 | 观察组: +8.05 → 对照组: +4.45 |
| MMSE 评分 | 观察组: +2.75 → 对照组: +1.15 | 观察组: +5.95 → 对照组: +2.65 |
| ADLS 评分 | 观察组: +7.15 → 对照组: +4.25 | 观察组: +13.95 → 对照组: +8.95 |

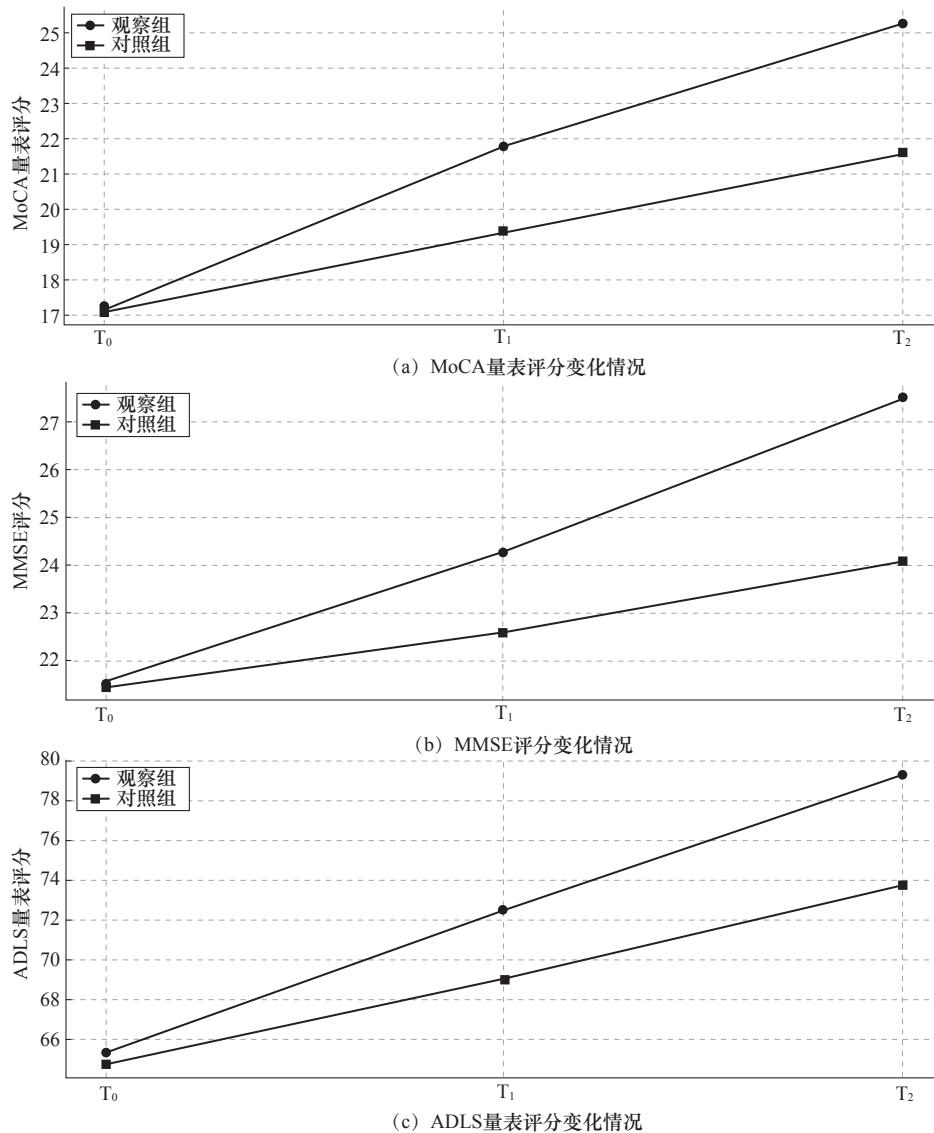


图 4 两组患者不同干预时间点认知功能改善情况对比
Fig.4 Improvement in cognitive function at different intervention time points in two groups of patients

3 讨论

作为全球成人致残的主要原因之一，脑卒中常常导致严重的认知功能障碍，尤其是 PSCI^[8]。该病症不仅影响患者的记忆力、执行功能、注意力及空间认知能力，还大幅降低了患者的生活质量^[9]。近年来，随着康复医学的发展，各类康复治疗方法不断涌现，尤其是 rTMS 治疗和 VR 认知训练的结合在神经康复领域具有独特的优势^[10]。rTMS 治疗已经被证明能够通过刺激特定脑区促进神经可塑性，VR 则利用其沉浸式环境增强认知训练的参与感和效果^[11]。尽管这两种治疗方式均已在临床中有所应

用，但其联合应用的效果尚未得到充分的研究和验证。本研究探讨了 VR 认知训练联合 rTMS 治疗对脑卒中后认知功能的改善效果，并揭示了其潜在机制。

本研究通过 RCT 试验探讨 VR 认知训练联合 rTMS 治疗对脑卒中后认知功能的改善作用。结果显示，相较于单纯的 rTMS 治疗，VR 认知训练联合 rTMS 治疗组患者的 MoCA 量表评分、MMSE 评分及 ADLS 评分在干预 12 周后提升幅度显著 ($P < 0.05$)，表明联合干预模式在改善认知功能和日常生活能力方面具有协同优势。在 ADLS 量表中，观察组 IADL 评分提升 7.40 分，显著高于对

照组 ($P<0.05$)，表明 VR 模拟的复杂任务（如理财、使用电话）可有效转化为实际生活技能。这种“训练-迁移”效应可能得益于 rTMS 对基础认知能力的改善，其为高阶功能活动提供了神经资源保障。此外，本研究发现，VR 的游戏化设计显著提高了患者的参与度。高依从性确保了干预剂量的充分落实，可能成为疗效差异的重要影响因素。本研究的结果对脑卒中后认知康复的临床实践具有重要意义。首先，与单纯的 rTMS 治疗相比，VR 认知训练联合 rTMS 治疗能够在更短的时间内实现更显著的认知改善 ($P<0.05$)，提高患者的生活质量。因此，该干预方式有望成为 PSCI 的标准化康复策略。其次，VR 技术的高度可定制性使其能够适应不同类型的认知损害。例如，针对患有记忆障碍的人，可以加强工作记忆和情景记忆训练；针对患有注意力缺陷的人，则可设计目标搜索和任务切换练习。这一特性使 VR 认知训练能够针对不同个体的需求进行优化，从而实现更加精准的认知康复。从神经生理机制来看，rTMS 治疗通过对左侧 DLPFC 进行高频刺激，提高该区域的神经兴奋性，调节其在认知网络中的枢纽功能，尤其在注意控制和执行调节中发挥关键作用。研究显示，DLPFC 与顶叶后皮层 (Posterior Parietal Cortex, PPC) 构成的前额叶-顶叶网络在多任务处理、空间定位与工作记忆等高级认知功能中具有高度协同性^[12-13]。同时，VR 认知训练通过沉浸式场景激活多个脑区（如海马、顶叶、杏仁核等），并在重复认知任务中促进神经环路重塑，诱发长期增强效应，提升突触的可塑性^[14]。因此，本研究中 rTMS 先行激活 DLPFC 通路，有助于为 VR 认知训练提供神经通路的“启动底座”，个性化 VR 任务则进一步强化了神经网络间的功能连接，从而在结构和功能层面形成协同塑形效应。随着人工智能、脑机接口及远程康复等技术的发展，未来 VR 认知训练的智能化和个性化水平将进一步提升，为 PSCI 患者提供更高效的康复途径。

然而，本研究也存在一定的局限性。首先，本研究样本量较小，仅纳入 82 例患者，而且本研究为单一中心研究，其外部效度较为有限。为保证结

论的普适性，未来将考虑在多中心、大样本的研究中进一步验证该联合干预方案的改善作用。其次，本研究干预时间仅为 12 周，虽然观察组的认知功能有显著提升，但是能否维持长期效果尚待进一步验证。未来研究可通过延长干预时间或增加随访期，进一步探讨该联合干预方案的长期疗效和可持续性。

综上所述，本研究表明，VR 认知训练联合 rTMS 治疗比单纯的 rTMS 治疗更能显著改善脑卒中患者认知功能和日常生活能力，为 PSCI 的康复提供了新的干预模式。研究结果提示，VR 认知训练不仅可以作为 rTMS 治疗的辅助治疗方式，还可能成为未来脑卒中康复的主流手段之一。未来研究应进一步优化个性化 VR 认知训练方案，探索其长期疗效，并结合神经生理学指标，更加全面地揭示 VR 认知训练联合 rTMS 治疗的协同作用机制。

参考文献

- [1] 李强, 杜雪松, 张梅. 低频重复经颅磁刺激联合虚拟现实技术训练治疗脑卒中偏瘫运动功能障碍的研究[J]. 中国康复, 2024, 39(7): 387-392.
LI Qiang, DU Xuesong, ZHANG Mei. Low-frequency rTMS combined with VR training for hemiplegic motor dysfunction in stroke: a randomized controlled trial[J]. Chinese Journal of Rehabilitation, 2024, 39(7): 387-392.
- [2] 刘叶, 陈迪, 秦晴, 等. 虚拟现实技术在脑卒中康复中应用的文献计量分析[J]. 中国康复理论与实践, 2024, 30(12): 1407-1419.
LIU Ye, CHEN Di, QIN Qing, et al. Application of virtual reality technology in rehabilitation of stroke: a bibliometric analysis[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice, 2024, 30(12): 1407-1419.
- [3] 王小飞, 张照庆, 余超超, 等. 基于颅脑磁共振弥散张量成像检测的头电针治疗脑卒中后认知障碍研究[J]. 中国康复, 2025, 40(2): 78-82.
WANG Xiaofei, ZHANG Zhaoqing, YU Chaochao, et al. Assessment of the efficacy of cephalic electroacupuncture in treating post-stroke cognitive impairment utilizing cranial DTI technique[J]. Chinese Journal of Rehabilitation, 2025, 40(2): 78-82.
- [4] 孙彩花, 冯静, 蒋新峰, 等. 重复经颅磁刺激联合认知康复训练治疗脑卒中后认知功能障碍患者的效果观察[J]. 大医生, 2024, 9(23): 55-58.
SUN Caihua, FENG Jing, JIANG Xinfeng, et al. Repetitive transcran-

- al magnetic stimulation combined with cognitive rehabilitation training for the treatment of patients with post-stroke cognitive dysfunction[J]. **Doctor**, 2024, 9(23): 55-58.
- [5] 代锋, 崔可俊. 高频重复经颅磁刺激疗法结合语言训练对脑卒中运动型失语患者功能恢复的影响 [J]. 现代医学与健康研究电子杂志, 2025, 9 (4) : 45-48.
- DAI Feng, CUI Kejun. Effect of high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation therapy combined with language training on functional recovery of stroke patients with motor aphasia[J]. **Modern Medicine and Health Research**, 2025, 9(4): 45-48.
- [6] 王国胜, 方明珠, 梁英姿, 等. 高频重复经颅磁刺激治疗脑卒中后非空间注意障碍的效果 [J]. 河南医学研究, 2025, 34 (2) : 216-220.
- WANG Guosheng, FANG Mingzhu, LIANG Yingzi, et al. Effect of high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation in the treatment of non-spatial attention disorder after stroke[J]. **Henan Medical Research**, 2025, 34(2): 216-220.
- [7] 雷毅, 喻洪流, 王露露, 等. 基于虚拟现实的交互式上肢康复训练系统研究 [J]. 生物医学工程学进展, 2015, 36 (1) : 21-24.
- LEI Yi, YU Hongliu, WANG Lulu, et al. Research on virtual reality based interactive upper limb rehabilitation training system[J]. **Progress in Biomedical Engineering**, 2015, 36(1): 21-24.
- [8] 冯露叶, 雷俊芳, 母慧, 等. 重复经颅磁刺激联合认知训练对脑卒中后认知障碍病人影响的 Meta 分析 [J]. 循证护理, 2025, 11 (4) : 571-579.
- FENG Luye, LEI Junfang, MU Hui, et al. Effect of repetitive transcranial magnetic stimulation combined with cognitive training on patients with cognitive impairment after stroke: a Meta-analysis[J]. **Chinese Evidence-Based Nursing**, 2025, 11(4): 571-579.
- [9] 任琼迪, 张铭. 脑卒中后认知障碍的中枢机制: 基于脑电图和磁共振成像的研究进展 [J]. 中山大学学报(医学科学版), 2025, 46 (1) : 61-69.
- REN Qiongdi, ZHANG Ming. Central mechanisms of post-stroke cognitive impairment: advances based on electroencephalogram and magnetic resonance imaging[J]. **Journal of Sun Yat-Sen University (Medical Sciences)**, 2025, 46(1): 61-69.
- [10] 龚丽俐. 经颅磁刺激联合虚拟现实技术干预对老年痴呆患者认知功能及日常生活能力的影响 [J]. 反射疗法与康复医学, 2024, 5 (14) : 33-36.
- GONG Lili. Influence of transcranial magnetic stimulation combined with virtual reality technology intervention on the cognitive function and activities of daily living of patients with Alzheimer's disease[J]. **Reflexology and Rehabilitation Medicine**, 2024, 5(14): 33-36.
- [11] 赵旭, 蒋燕, 黄虹. 重复经颅磁刺激联合虚拟现实训练对脑卒中后上肢偏瘫患者上肢功能及日常生活能力的影响 [J]. 反射疗法与康复医学, 2024, 5 (12) : 39-42.
- ZHAO Xu, JIANG Yan, HUANG Hong. Effect of repetitive transcranial magnetic stimulation combined with virtual reality training on upper limb function and daily living ability in patients with upper limb hemiplegia after stroke[J]. **Reflexology and Rehabilitation Medicine**, 2024, 5(12): 39-42.
- [12] DE RISIO L, BORGHI M, PETTORRUSO M, et al. Recovering from depression with repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): a systematic review and meta-analysis of preclinical studies[J]. **Translational Psychiatry**, 2020, 10(1): 393.
- [13] WANG M, YANG P, WAN C, et al. Evaluating the role of the dorsolateral prefrontal cortex and posterior parietal cortex in memory-guided attention with repetitive transcranial magnetic stimulation[J]. **Frontiers in Human Neuroscience**, 2018, 12: 236.
- [14] SASAKI T, PIATTI VC, HWAUN E, et al. Dentate network activity is unnecessary for spatial working memory by supporting CA3 sharp-wave ripples generation and prospective firing of CA3 neurons[J]. **Nature Neuroscience**, 2018, 21(2): 258-269.