

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2026.04.025

融合游戏形式的数字作业治疗训练系统对肩关节活动障碍的康复效果建模与分析

梁叔勇^{1,2}, 马彩虹², 赵佳艳², 李建华^{1*}

(1. 浙江中医药大学第二临床医学院, 浙江杭州 310000;

2. 东阳市人民医院 康复科, 浙江东阳 322100)

【摘要】目的 探讨融合游戏形式的数字作业治疗(occupational therapy, OT)训练系统对肩关节活动障碍患者的康复效果并进行建模。**方法** 回顾性分析2024年1月至2026年1月东阳市人民医院康复科收治的80例肩关节活动障碍患者资料,根据康复方案不同分为对照组(38例)与试验组(42例),分别接受常规OT训练与融合游戏形式的数字OT训练系统。比较两组训练前后肩关节活动度(range of motion, ROM)、Fugl-Meyer运动功能评定量表上肢部分(Fugl-Meyer motor assessment-upper extremity, FMA-UE)、视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)及训练依从性。**结果** 训练后试验组肩关节前屈、外展、外旋活动度均优于对照组(均 $P<0.05$);试验组FMA-UE评分显著高于对照组($P<0.05$),VAS评分显著低于对照组($P<0.05$);试验组依从率显著高于对照组($P<0.05$)。**结论** 融合游戏形式的数字OT训练系统可有效改善肩关节活动障碍患者的ROM与运动功能,缓解疼痛并提升依从性。

【关键词】 数字作业治疗; 游戏化康复; 肩关节活动障碍; 关节活动度; 康复训练

【中图分类号】 R644

【文献标志码】 A

文章编号: 1674-1242 (2026) 04-0120-04

Modeling and analysis of rehabilitation effect of digital occupational therapy training system incorporating game-based elements for patients with shoulder mobility impairment

LIANG Shuyong^{1,2}, MA Caihong², ZHAO Jiayan², LI Jianhua^{1*}

(1. Second Clinical Medical College of Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310000, Zhejiang, China;

2. Department of Rehabilitation, Dongyang People's Hospital, Dongyang 322100, Zhejiang, China)

【Abstract】Objective To investigate and model the rehabilitation effects of a digital occupational therapy (OT) training system incorporating game-based elements for patients with shoulder mobility impairment. **Methods** A retrospective analysis of data from 80 patients with shoulder mobility impairment admitted to the Department of Rehabilitation at Dongyang City People's Hospital from January 2024 to January 2026. Based on different rehabilitation treatment plans, the participants were divided into a control group (38 cases) and an experimental group (42 cases), which received conventional OT training and a digital OT training system incorporating game-based elements, respectively. The range of motion (ROM), Fugl-Meyer motor assessment-upper extremity (FMA-UE), visual analogue scale (VAS) and training compliance were compared between the two groups before and after training. **Results** After training, the range of forward flexion, abduction and external rotation mobility of the experimental group were all superior to those of the control group (all $P<0.05$). Moreover, the FMA-UE score of the experimental group was higher than that of the control group ($P<0.05$), and the VAS score was lower than that of the control group ($P<0.05$). In addition, the compliance rate of the experimental group was higher than that of the control group ($P<0.05$). **Conclusion** The digital OT training system incorporating game-based elements can effectively improve the ROM and motor function, relieve pain and improve compliance of patients with shoulder mobility impairment, and has clinical promotion value.

【Key words】 Digital occupational therapy; Gamified rehabilitation; Shoulder mobility impairment; Range of motion; Rehabilitation training

收稿日期: 2026-03-11。

作者简介: 梁叔勇, 本科, 主管技师, 研究方向: 神经康复/肌骨疼痛康复。E-mail: 19270784887@163.com

通信作者: 李建华, 硕士, 主任医师, 研究方向: 骨与关节损伤康复/神经系统疾病康复。E-mail: zjdxsyfktk@126.com。

肩关节活动障碍是脑卒中、肩袖损伤等患者常见功能障碍,严重影响上肢运动能力与日常生活活动能力^[1]。数字作业治疗(occupational therapy, OT)为肩关节康复提供了新型手段^[2];悬吊下数字作业疗法联合肩胛骨运动控制训练在脑卒中偏瘫患者中亦显示出应用价值^[3]。游戏化康复借助游戏化任务激励与结果反馈机制,在提升患者训练积极性方面具独特优势,Marley等^[4]通过多中心随机对照试验验证了游戏化联合远程监测康复的优越性。已有研究证实数字化治疗在肩关节康复中的有效性及依从性^[5]。基于以上背景,本研究基于80例临床资料,对该数字化OT系统的康复效果进行建模与分析,旨在为肩关节活动障碍的数字化康复提供实践依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性纳入2024年1月至2026年1月东阳市人民医院康复科收治的肩关节活动障碍患者。研究期间共收治符合初步筛查条件的患者127例,根据排除标准排除47例(其中合并严重心、肺、肝、肾功能不全12例,合并严重认知障碍或精神疾病8例,肩关节严重骨性畸形或近期接受肩关节手术15例,合并其他影响上肢功能的神经系统疾病7例,病历资料不完整5例),最终纳入80例,按康复方案分为对照组(38例)与试验组(42例)。纳入标准:①符合肩关节活动障碍诊断且存在明显前屈、外展或外旋活动受限;②年龄40~75岁;③病程1~12个月;④可配合完成训练及评估。排除标准:①合并严重心、肺、肝、肾功能不全;②肩关节严重骨性畸形或近期接受肩关节手术;③合并其他影响上肢功能的神经系统疾病。基于预试验两组Fugl-Meyer运动功能评定量表上肢部分(Fugl-Meyer motor assessment-upper extremity, FMA-UE)差值约8分、合并标准差约12分,取 $\alpha=0.05$ (双侧)、检验效能 $1-\beta=0.80$,经PASS 15.0计算每组需33例,考虑10%失访,实际纳入80例,满足统计功效要求。本研究经东阳市人民医院伦理委员会批准(批件号:东人医2026-YX-220),鉴于本研究为回顾性分析,伦理委员会豁免了患者知情同意。

1.2 方法

对照组行常规数字OT训练:由康复治疗师制定个性化方案,包括肩关节被动/主动助力关节活动度

训练、肩带肌群肌力训练、日常作业活动训练等,每次40 min,每周5次,连续8周。

试验组采用融合游戏形式的数字OT训练系统(DOTET V7.2, COGNI, 广州三康科技有限公司):系统配置多款适用于肩关节前屈、外展、外旋训练的屏幕式游戏化互动训练任务。治疗师可根据患者上肢功能情况,切换游戏类型并调整游戏难度等级,以此适配不同阶段的康复训练需求。每次含5 min热身、30 min游戏化任务训练(包含前屈抓取、外展避障、外旋瞄准三类核心模块)及5 min放松,每周5次,连续训练8周。

1.3 观察指标

①肩关节活动度(range of motion, ROM):采用标准量角器测量患侧肩关节前屈、外展、外旋活动度($^{\circ}$);②FMA-UE:采用FMA-UE评估患者上肢运动功能,量表总分0~66分,得分越高提示上肢运动功能恢复越好;③视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS):采用VAS评估患者肩部疼痛程度,评分区间0~10分,0分代表无痛,10分为最剧烈疼痛,得分越高提示疼痛程度越重;④训练依从性:完成规定训练次数比例 $\geq 90\%$ 定义为完全依从。上述指标均于训练前及训练8周后各评估1次。

1.4 康复训练建模过程

系统基于Unity 3D引擎与C#开发,运行于Windows平台。系统配置多款适用于肩关节前屈、外展、外旋训练的屏幕式游戏化互动训练任务,治疗师可根据患者上肢功能情况,通过触控屏或鼠标切换游戏类型并调整游戏难度等级,以适配不同阶段的康复需求。

游戏任务将前屈、外展、外旋映射为“前屈抓取”“外展避障”“外旋瞄准”三类互动游戏。系统后台自动记录训练次数、关节角度达标情况及任务完成数据,导出为CSV格式供后续分析。

康复效果建模:以 Δ FMA-UE为因变量,以训练方式(对照组=0,试验组=1)、基线ROM(前屈/外展/外旋均值)、基线VAS、训练依从性(不完全依从=0,完全依从=1)、任务成功率为自变量,采用Enter法构建多元线性回归模型。

1.5 统计学方法

采用SPSS 26.0软件进行数据统计分析。经正态性检验,符合正态分布的计量资料以均数 $\pm$ 标准差

($\bar{x} \pm s$)表示,组内比较采用配对样本 t 检验,组间比较采用独立样本 t 检验;计数资料以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组基线资料比较

两组最终分别有 38 例、42 例患者按康复方案完成训练。两组性别、年龄、病程基线资料比较,差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$),具有可比性(表 1)。

表 1 两组基线资料比较

指标	对照组 ($n=38$)	试验组 ($n=42$)	t/χ^2	P
性别(男/女,例)	22/16	24/18	0.021	0.885
年龄($\bar{x} \pm s$,岁)	61.3 $\pm$ 8.4	60.7 $\pm$ 8.1	0.332	0.741
病程($\bar{x} \pm s$,月)	5.2 $\pm$ 2.1	5.4 $\pm$ 2.3	0.408	0.685

2.2 两组训练前后肩 ROM 比较

训练前两组各方向活动度比较,差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$);训练后两组各方向活动度均较训练前提高(均 $P < 0.05$),且试验组前屈、外展、外旋活动度均优于对照组(均 $P < 0.05$)(表 2)。

表 2 两组训练后肩 ROM 比较($\bar{x} \pm s$,°)

项目	时间点	对照组 ($n=38$)	试验组 ($n=42$)	t	P
前屈	训练前	86.4 $\pm$ 9.3	87.1 $\pm$ 9.5	0.338	0.736
	训练后	128.6 $\pm$ 11.2	146.2 $\pm$ 10.5*	7.324	<0.001
外展	训练前	78.2 $\pm$ 8.7	79.0 $\pm$ 8.9	0.413	0.683
	训练后	119.3 $\pm$ 10.8	138.7 $\pm$ 9.8*	8.516	<0.001
外旋	训练前	42.1 $\pm$ 6.4	42.8 $\pm$ 6.6	0.485	0.629
	训练后	62.5 $\pm$ 7.6	74.8 $\pm$ 7.2*	7.489	<0.001

注:ROM:关节活动度;与对照组比较,* $P < 0.05$ 。

2.3 两组 FMA-UE 与 VAS 评分比较

训练后试验组 FMA-UE 显著高于对照组($t=9.642$, $P < 0.001$),VAS 评分显著低于对照组($t=8.917$, $P < 0.001$)(表 3)。

表 3 两组训练后 FMA-UE 与 VAS 评分比较($\bar{x} \pm s$,分)

指标	对照组 ($n=38$)	试验组 ($n=42$)	t	P
FMA-UE	47.5 $\pm$ 5.8	60.3 $\pm$ 6.1*	9.642	<0.001
VAS	3.2 $\pm$ 0.7	1.9 $\pm$ 0.6*	8.917	<0.001

注:与对照组比较,* $P < 0.05$;FMA-UE:Fugl-Meyer 运动功能评定量表上肢部分;VAS:视觉模拟评分法。

2.4 两组训练依从性比较

试验组完全依从 40 例,依从率 95.2%(40/42);对照组完全依从 30 例,依从率 78.9%(30/38);试验组依从率高于对照组($\chi^2=4.872$, $P=0.027$)(表 4)。

表 4 两组训练依从性比较[例(%)]

组别	完全依从 (例)	不完全依从 (例)	依从率 (%)	χ^2	P
对照组($n=38$)	30	8	78.9	4.872	0.027
试验组($n=42$)	40	2	95.2	—	—

2.5 康复效果建模分析

以 FMA-UE 改善为因变量,以训练方式、基线 ROM、基线 VAS、训练依从性及任务成功率为自变量,纳入回归模型。结果显示,训练方式($\beta=0.487$, $P < 0.001$)、基线 ROM($\beta=0.265$, $P=0.004$)、训练依从性($\beta=0.198$, $P=0.022$)、任务成功率($\beta=0.176$, $P=0.031$)是 FMA-UE 改善的独立影响因素;基线 VAS($\beta=-0.071$, $P=0.423$)未进入模型。调整 $R^2=0.651$,较未纳入任务成功率时的 0.624 提升 2.7 个百分点。

2.6 系统性能验证

系统后台记录试验组训练依从度 95.2%,任务成功率(76.3 $\pm$ 9.1)%。任务成功率与 FMA-UE 改善值呈中等正相关($r=0.583$, $P < 0.001$)。运动质量分析:试验组训练后任务完成时间由(6.8 $\pm$ 1.9)s 缩至(4.2 $\pm$ 1.1)s($P < 0.001$),即随着训练推进,患者完成任务效率逐步提升;对照组改善幅度则较小。

4 讨论

本研究显示,融合游戏形式的数字 OT 训练系统可显著改善肩关节活动障碍患者的 ROM、上肢运动功能,缓解疼痛并提升依从性,与既往研究结论一致^[1,6]。试验组训练后前屈、外展、外旋活动度较对照组分别提高约 17.6°、19.4°、12.3°,可能与系统将各方向运动转化为游戏任务有关^[7]。

从运动学习理论分析,本系统游戏机制体现任务导向性训练原则:每类游戏均有明确运动目标,符合 Schmidt 图式理论中可变性练习促进技能迁移的观点。试验组依从率显著高于对照组,表明游戏化康复模式可提升训练参与度,与 Steiner 等^[8]综述结论相符。试验组 FMA-UE 高于对照,VAS 评分低于对照组,说明该系统兼具镇痛效益,可能机制在于游戏趣味性分散疼痛注意力,且规律关节活动改善局部循环、减轻粘连与痉挛^[9]。

本研究创新在于将融合游戏形式的数字 OT 训练系统应用于肩关节活动障碍康复,并基于临床数据构建多元线性回归模型,量化了训练方式、基线 ROM、依从性及任务成功率对 FMA-UE 改善的贡献,

为数字化肩关节康复效果评估提供了可量化依据。该系统可在治疗师指导下用于门诊及居家康复场景,具操作便捷、反馈直观、依从性高等优势。

综上,融合游戏形式的数字 OT 训练系统能有效改善肩关节活动障碍患者的 ROM 与上肢运动功能、缓解疼痛并提升依从性,康复效果模型提示训练方式是运动功能改善的独立影响因素,具备一定的临床推广价值。本研究局限性:①单中心回顾性研究,样本量有限,研究结论的外推性受限;②未对不同游戏类型开展亚组分析,无法区分各类游戏模块的干预效果;③随访周期仅为 8 周,缺乏对干预后长期康复结局的观察。后续拟开展多中心、大样本研究,延长随访时间,深入探讨不同游戏模块的康复疗效。

参考文献

- [1] 童心, 卢燕, 张永卿, 等. 悬吊下数字作业疗法系统训练对脑卒中偏瘫患者上肢运动功能的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2022, 28 (11): 1259-1264.
- [2] 麦韵怡, 范颖洁, 梁高哲, 等. 撒针联合站立数字作业治疗对卒中后肩痛的临床研究[J]. 中国康复, 2024, 39 (1): 8-11.
- [3] 周群芳, 林大祥. 悬吊下数字作业疗法联合肩胛骨运动控制训练在老年女性脑卒中偏瘫患者中的应用效果[J]. 中国妇幼保健, 2025, 40 (18): 3299-3303.
- [4] MARLEY W D, BARRATT A, PIGOTT T, *et al.* A multicenter randomized controlled trial comparing gamification with remote monitoring against standard rehabilitation for patients after arthroscopic shoulder surgery[J]. J Shoulder Elbow Surg, 2022, 31(1):8-16.
- [5] RIZZATO A, PIZZICHEMI M, GOBBI E, *et al.* Effectiveness and therapeutic compliance of digital therapy in shoulder rehabilitation: a randomized controlled trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2023, 20(1):87.
- [6] VIGLIALORO R M, TURINI G, CARBONE M, *et al.* A projected AR serious game for shoulder rehabilitation using hand-finger tracking and performance metrics: A preliminary study on healthy subjects[J]. Electronics, 2023, 12(11):2516.
- [7] 汪静静, 祁芳, 张致亮, 等. 数字作业治疗训练系统联合电刺激仪在脑卒中偏瘫患者中的应用效果[J]. 转化医学杂志, 2026, 15 (2): 300-304.
- [8] STEINER B, ELGERT L, SAALFELD B, *et al.* Gamification in rehabilitation of patients with musculoskeletal diseases of the shoulder: scoping review[J]. JMIR Serious Games, 2020, 8(3): e19914.
- [9] MOREIRA M, VILHENA E, CARVALHO V, *et al.* A virtual reality game-based approach for shoulder rehabilitation[J]. Multimodal Technol Interact, 2024, 8(10):86.