

视觉反馈训练对全膝关节置换术后患者康复效果的Meta分析

帅毓立, 梅 婷, 刘顺媛, 叶 柳, 吴丹冬*

重庆医科大学附属第一医院康复医学科, 重庆市卫生健康委员会物理医学与精准康复重点实验室, 重庆

收稿日期: 2025年10月18日; 录用日期: 2025年11月11日; 发布日期: 2025年11月20日

摘 要

目的: 分析随机对照试验中报告的结果, 这些试验对全膝关节置换术后患者采用了基于视觉反馈的康复训练。方法: 检索了四个数据库从建库至2025年期间涉及全膝关节置换术后视觉反馈康复的随机对照试验。通过分析疼痛评分、动态和静态平衡评分和功能结局来探讨视觉反馈康复的效果。结果: 共纳入7项随机对照试验, 涉及241名患者, 术后观察时间从3周到12周不等。动态平衡评分采用步伐长度进行评估。静态平衡评分采用压力中心平均速度和椭圆面积进行评估。接受视觉反馈康复的全膝关节置换术患者与接受传统康复的患者在疼痛评分上无差异。但接受基于视觉反馈康复的患者表现出显著的平衡和功能改善。结论: 虽然全膝关节置换术后基于视觉反馈的康复训练在疼痛改善方面与传统康复效果相似, 但在增强平衡和功能方面表现出更优的结果。

关键词

全膝关节置换术, 视觉反馈, 功能, 疼痛, 康复

The Effect of Visual Feedback Training in Subjects Undergoing Total Knee Arthroplasty: A Meta-Analysis

Yuli Shuai, Ting Mei, Shunyuan Liu, Liu Ye, Dandong Wu*

Key Laboratory of Physical Medicine and Precision Rehabilitation of Chongqing Municipal Health Commission, Department of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: October 18, 2025; accepted: November 11, 2025; published: November 20, 2025

*通讯作者。

文章引用: 帅毓立, 梅婷, 刘顺媛, 叶柳, 吴丹冬. 视觉反馈训练对全膝关节置换术后患者康复效果的 Meta 分析[J]. 临床医学进展, 2025, 15(11): 1946-1956. DOI: 10.12677/acm.2025.15113304

Abstract

Objective: To analyze the patient-reported outcomes from randomized controlled trials, which utilized visual feedback-based rehabilitation in patients following. **Methods:** Four databases were searched for randomized controlled trials involving visual feedback rehabilitation following total knee arthroplasty from inception to 2025. Pain scores, dynamic and static balance scores and functional outcomes were analyzed to explore the effect of visual feedback rehabilitation. **Results:** A total of 7 randomized controlled trials with 241 patients was included, with a post-operation period ranging from 3 weeks to 12 weeks. The dynamic balance scores were utilized from the path length. The static balance scores were utilized from the Center of Pressure average velocity and ellipse area. There were no differences in pain scores between the total knee arthroplasty patients who received visual feedback rehabilitation and those who received traditional rehabilitation. The patients who received visual feedback-based rehabilitation demonstrated significant balance and functional improvement. **Conclusion:** Although visual feedback-based rehabilitation training post-total knee arthroplasty demonstrates similar effects on pain improvements compared to conventional rehabilitation, it exhibits superior outcomes in enhancing balance and function.

Keywords

Total Knee Arthroplasty, Visual Feedback, Function, Pain, Rehabilitation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)是一种常见的手术,用于缓解晚期骨关节炎患者的疼痛并恢复膝关节功能[1]。TKA术后,患者定期接受康复治疗以优化术后结局,包括缓解疼痛、增强肌力和改善身体功能,以及快速提高正常日常生活能力[2]。然而,由于生物力学损伤,TKA术后患者可能在维持平衡和行走方面遇到显著问题。有研究表明,即使经过总共12周的康复治疗,TKA患者的步态障碍仍部分存在[3]。随着新型康复方法的出现,需要改变术后康复方案以实现最佳治疗结局。

视觉反馈训练可以通过实时生物反馈环路整合前庭传入和体感输入[4]从而纠正姿势、改善患者的身体功能[5]。在康复过程中,患者通过玩电脑游戏或通过屏幕调整自身至更标准的姿势来进行平衡和步态训练。因此,这种方法实现了家庭康复,显著提高了便利性和依从性。

本系统综述和荟萃分析的目的是分析在TKA术后患者中使用基于视觉反馈康复的随机对照试验中的疼痛评分、平衡能力和下肢功能。我们假设基于视觉反馈的康复将比传统康复产生更好的结果。

2. 方法

我们采用Cochrane系统综述手册[6]中描述的系统综述方法,并依据荟萃分析必要筛选条目(Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses, PRISMA)声明[7]报告随机对照试验的系统综述和荟萃分析。

2.1. 研究类型

我们仅纳入随机对照试验(randomized controlled trials, RCTs)。

2.2. 参与者

接受初次全膝关节置换术的成年人。

2.3. 干预措施类型

本综述中对照组包括物理治疗、针灸和其他常规康复干预。实验组在常规康复基础上增加基于视觉反馈的治疗。

2.4. 研究识别检索方法

检索了 MEDLINE、Embase、Web of Science 和 Cochrane 对照试验中心注册库(CENTRAL)数据库从建库至 2025 年的文献。检索词涉及膝关节置换；膝关节成形术；全膝关节置换术；随机对照试验；运动和康复。检查了是否既往有相同的系统综述和荟萃分析。由两名独立评审员进行研究筛选、纳入和数据提取。两位评审员之间的任何分歧通过咨询第三位评审员解决(PROSPERO ID: CRD42024502593)。

2.5. 数据提取

结果记录在 Excel 表格中。提取的数据包括研究名称和日期；参与者(年龄、性别)；纳入和排除标准；实验组和对组的治疗内容的设置、持续时间和强度；以及结局指标。提取了连续变量、结局的均数和标准差。如果结局报告为均数和置信区间，或中位数和四分位数范围，则进行适当转换。若无法转换，则不纳入。数据提取由两名评审员独立进行。

2.6. 纳入研究的偏倚风险评估

根据 Cochrane 偏倚风险表评估潜在的偏倚来源。从随机序列生成、分配隐藏、结果评估盲法、结果数据完整性、选择性报告和其他偏倚方面评估偏倚。

2.7. 数据处理

如果有足够的研究报告了共同的结局指标，则使用随机效应荟萃分析[8]将数据合并为标准化均数差(SMD)。如果结局使用相同的测量尺度，则将数据合并为均数差(MD)。研究间的异质性使用 I^2 统计量进行评估。所有结局的 p 值 <0.05 被认为具有统计学意义。研究质量的不同可能导致异质性，通过偏倚风险评估进行考察。不存在潜在的利益冲突来源。

3. 结果

3.1. 研究筛选

详细的文献筛选过程如图 1 所示。共检索到 174 篇文章，去除 64 篇重复文献后剩余 110 篇。经过标题和摘要筛选，排除了 98 项研究。在此过程中，12 项研究被认为可能符合条件。5 篇文章因以下原因被排除：一项研究非随机，4 项研究不符合纳入标准，且 4 项 RCTs 的数据无法分析。最终，经过审查，7 项 RCTs 被纳入。

3.2. 纳入研究特征

经过大量标题、摘要和全文审查的筛选后，确定了 7 项 RCTs，涉及 241 名 TKA 术后患者被随机分配至基于视觉反馈康复或常规康复的患者，并纳入最终综述。纳入研究的特征如表 1 所述。所有患者均接受了初次 TKA。中位样本量为 40 人(范围 10~60 人)。随访时间从术后 4 周到术后 8 周不等(表 1)。

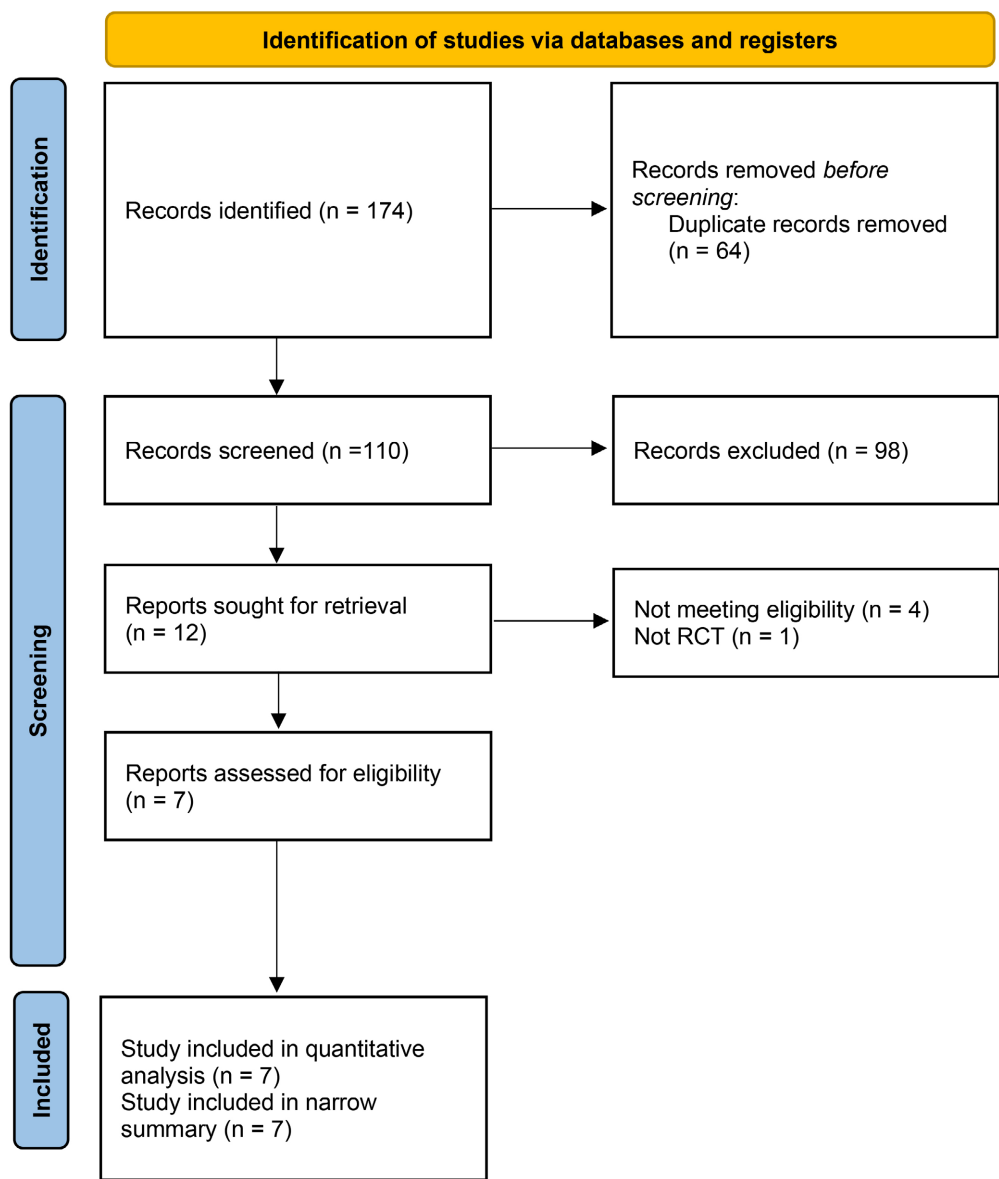


Figure 1. PRISMA diagram
图 1. 荟萃分析必要筛选条目流程图

Table 1. Characteristics of included RCTs
表 1. 纳入 RCTs 的特征

作者, 年份	受试者	年龄(岁)	样本量	实验组措施	对照组措施	治疗时长	主要发现
Anna Hadamus, 2021	全膝关节置换术后 7~14 天的患者	实验组: 69 ± 4.76 对照组: 68 ± 7.73	42	在传统康复基础上, 额外接受虚拟现实游戏训练	仅接受传统康复治疗	4 周, 每周 5 次康复训练, 每次约 4 小时, 实验组额外接受 12 次视觉反馈训练(每周 3 次)	步伐长度等指标两组之间无显著差异

续表

Vera Fung, 2012	全膝关节置换术后门诊患者	68	50	实验组措施在传统康复基础上, 额外接受虚拟现实游戏训练在传统康复基础上, 进行任天堂游戏机平衡板活动, 要求受试者进行姿势控制和平衡训练	常规康复治疗	治疗至出院, 每次 15 分钟	两组之间无显著差异
Ju-Yeon Lee, 2020	全膝关节置换术后超过 1 周的女性患者	实验组: 70.13 ± 4.70 对照组: 69.00 ± 6.44	30	在传统康复基础上, 接受基于视觉反馈的动态平衡练习	进行常规物理治疗	4 周, 每周 5 次康复训练, 每次约 4 小时, 实验组额外接受 12 次视觉反馈训练(每周 3 次)	1. 关节活动度: 两组无显著差异, 训练后均增加。右足疼痛阈值组间有差异, 但左足无组间差异。对照组左足训练前后无显著差异。
Hyung-Taek OH, 2018	初次全膝关节置换术患者	实验组: 69.5 ± 2.9 对照组: 70.3 ± 2.5	24	在传统康复基础上, 在使用 My Fitness Trainer 平衡板时接受视觉反馈训练	常规康复措施与使用相同的 MFT 进行训练, 但不接收任何视觉反馈	两组均训练 20 分钟, 每周 3 次, 共 8 周	2. WOMAC 评分和平衡能力: 实验组改善更显著。
Simone Carozzo, 2022	初次单侧全膝关节置换术患者, 术后最长 40 天	55~80	40	在传统康复基础上, 接受视觉反馈训练	对照组仅接受常规治疗	每周 5 天, 每天 2 小时, 连续 6 周, 实验组额外 20 分钟训练	1. 疼痛: 视觉模拟评分两组间无差异。
S. Carozzo F, 2022	初次全膝关节置换术患者, 术后治疗期(37 ± 7 天)	70 ± 5	60	在传统康复基础上, 使用 Walker View 和 ProKin 设备进行视觉反馈训练	常规康复治疗	每次治疗开始时和治疗结束时进行检测	2. 平衡能力评分实验组有显著改善。
S. Pournajaf, 2017	单侧全膝关节置换术后 10 天	实验组: 66 ± 10 对照组: 64 ± 10	10	在传统康复基础上, 站在平衡板上进行视频游戏训练	传统姿势控制和本体感觉练习	15 次, 每次 45 分钟(每周 5 次)	对称性指数: 单腿支撑; 对称性倾斜指数: 实验组相比对照组有显著改变

3.3. 研究质量

偏倚风险总结如图 2 所示,说明了每项纳入研究的每个方面的偏倚风险。绿色区域表示低偏倚风险,黄色区域表示偏倚风险不明确,红色区域表示高偏倚风险。总体而言,一项研究(Simone Carozzo)被判定为低偏倚风险,三项研究(Hyung-Taek OH, Ju-Yeon Lee, S. Carozzo F)被评为偏倚风险不明确,其余论文被判定为具有高风险,因为这些研究受试者样本量对大多数结局指标而言未提供足够的检验效能(Anna Hadamus, S. Pournajaf, Vera Fung)。所有纳入的研究均为随机对照试验,并提供了随机化方法的详细描述。在 5 项研究中,由于患者和研究者未实施盲法,偏离预定干预措施的风险增加。总之,纳入研究的方法学质量普遍为低至中等。

	Random sequence generation (selection bias)	Allocation concealment (selection bias)	Blinding of participants and personnel (performance bias)	Blinding of outcome assessment (detection bias)	Incomplete outcome data (attrition bias)	Selective reporting (reporting bias)	Other bias
Anna Hadamus 2021	+	+	?	+	+	+	-
H yung -T aek O H 2018	+	?	?	+	+	+	?
Jesse C. Christensen 2017	?	?	+	+	+	+	?
Ju-Yeon Lee 1 2020	+	+	?	+	+	+	?
LUCA 2021	+	+	-	+	+	+	+
Raaben M.2018	+	+	+	+	+	+	?
S. Carozzo, F 2022	+	?	?	?	+	+	?
S. Pournajaf 2017	+	?	?	?	+	+	-
Simone Carozzo 2022	+	+	+	+	+	+	+
Vera Fung 2012	+	+	+	+	+	+	-

Figure 2. Study quality
图 2. 研究质量

3.4. 疼痛

术后疼痛使用视觉模拟量表(visual analogue scale, VAS)评分进行评估。对 4 项研究($n = 144$)的 meta 分析结果(图 3(a))所示, 基于视觉反馈的康复组与对照组在疼痛评分上无统计学显著差异[均数差(mean difference, MD) = -0.05 , 95%置信区间(confidence interval, CI)为 -0.40 至 0.30 ; $P = 0.79$]。该分析结果具有较低的异质性($I^2 = 7\%$, $P = 0.36$), 表明研究间一致性高, 增强了“疗效无差异”这一结论的可靠性。

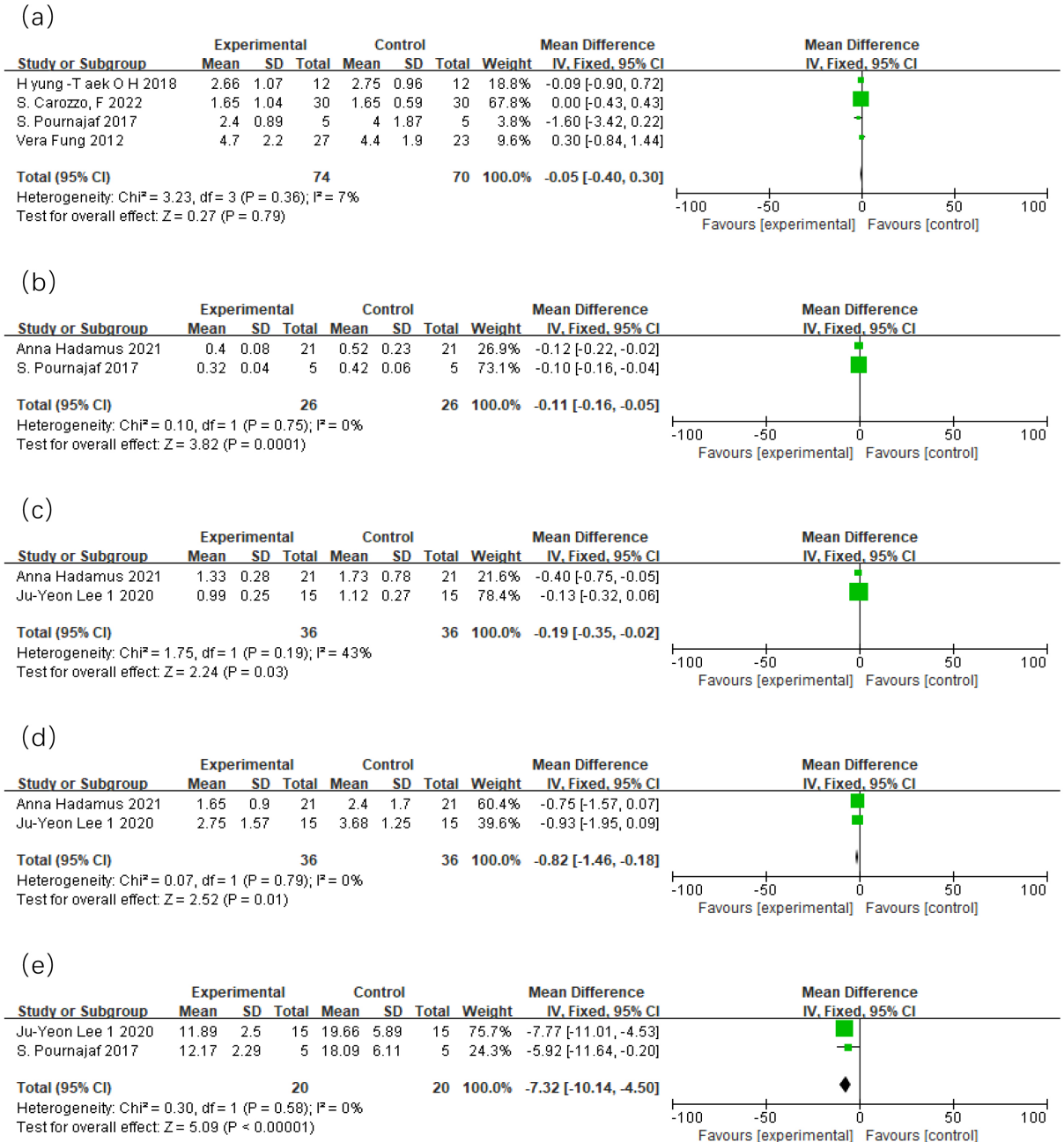


Figure 3. Meta-analysis of outcomes: (a) VAS data after visual feedback practice, (b) Path length data, (c) CoP average velocity, (d) CoP ellipse area data, (e) TUG data

图 3. 结局指标的荟萃分析: (a) 视觉反馈练习后的 VAS 数据, (b) 步伐长度数据, (c) CoP 平均速度数据, (d) CoP 椭圆面积数据, (e) TUG 数据

3.5. 动态平衡

动态平衡功能通过步伐长度(path length)进行评估。两项研究($n = 52$)的合并分析表明(图 3(b)), 基于视觉反馈的康复能显著改善动态平衡, 步伐长度显著缩短[MD = -0.11, 95% CI 为-0.16 至-0.05; $P = 0.0001$]。该结果无异质性($I^2 = 0\%$, $P = 0.75$), 表明研究间的结果高度一致, 为结论提供了强有力的支持。

3.6. 静态平衡

静态平衡功能通过压力中心(Center of Pressure, CoP)平均速度与椭圆面积进行评估。在 CoP 平均速度方面(图 3(c)), 两项研究($n = 72$)的汇总结果显示实验组显著优于对照组[MD = -0.19, 95% CI 为-0.35 至-0.02; $P = 0.03$], 但存在中度异质性($I^2 = 43\%$), 这可能与 Anna Hadamus 的研究为每次约 4 小时, 而 Ju-Yeon Lee 的研究为每次干预 30 分钟有关, 干预时间更长者改善更明显。在 CoP 椭圆面积方面(图 3(d)), 实验组也显著更优[MD = -0.82, 95% CI 为-1.46 至-0.18; $P = 0.01$], 且该结果无异质性($I^2 = 0\%$), 增强了结论的稳健性。

3.7. 下肢功能

下肢功能通过计时起立-行走测试(to up go, TUG)进行评估。两项研究($n = 40$)的合并分析表明(图 3(e)), 实验组的 TUG 用时显著更短[MD = -7.32, 95% CI 为-10.14 至-4.50; $P < 0.00001$]。该结果无异质性($I^2 = 0\%$), 表明尽管样本量有限, 但效应量巨大且研究间高度一致, 结论非常可靠。Ju-Yeon Lee 的研究中使用了 The Western Ontario and McMaster Universities Arthritis Index (WOMAC)评分评估受试者功能情况, WOMAC 评分是一种自我评估问卷, 用于评估疼痛、日常生活活动能力、功能性移动能力、生活质量、步态及身体功能。该量表分别包含 5 个疼痛条目、2 个僵硬条目和 17 个身体功能条目。总分最高为 96 分, 得分越低表明症状或躯体功能障碍越轻微。该研究结果提示实验组分数显著降低, 代表视觉反馈训练能显著提高下肢功能。

4. 讨论

结果表明, 基于视觉反馈的康复增强了 TKA 患者的功能恢复, 在静态平衡和动态平衡方面均显示出优于常规康复的改善。然而, 基于视觉反馈的康复与常规康复在疼痛方面无显著差异。

TKA 被认为是骨科手术中最痛苦的手术之一[9], 因为即使使用非甾体抗炎药, 大多数患者仍会经历中度至重度疼痛。由于 TKA 术后有效的疼痛管理对于促进早期主动活动和实现功能训练至关重要。除药物外, 还采用了一些其他方法, 如冷疗和连续股神经阻滞来减轻疼痛[10][11]。一些研究结果表明, 在常规康复基础上增加视觉反馈训练可以缓解疼痛。已发现膝关节本体感觉与疼痛呈负相关[12][13], 这意味着本体感觉越差, 疼痛可能越剧烈[14]。视觉反馈训练的优势在于其能够提供其他感觉系统无法比拟的确定性信息, 特别是在运动控制中, 这有助于提高运动表现和准确性[15]。在一项针对有膝内移现象的女性研究中, 实时视觉生物反馈通过增强本体感觉改善了单腿落地力学并减少了膝内移[16]。视觉反馈似乎可以通过改善运动过程中的本体感觉来减轻 TKA 术后疼痛。然而, 我们的数据显示组间疼痛无差异。据推测, 观察到的疼痛缓解可能归因于常规康复的综合效应, 这可能掩盖了视觉反馈疗法的独立贡献。

本研究中提到的视觉反馈包含多种形式, Anna Hadamus 的文章中视觉反馈训练是使用的虚拟现实游戏实现的, 虚拟现实游戏通过模拟逼真的交互式计算机环境, 用于改善日常活动能力或功能性运动能力。患者能够借助特定设备或身体动作与虚拟环境进行互动。此类游戏可生成代表患者肢体动作的虚拟图像。实验组和对对照组对比了 Center of Pressure (CoP)平均速度与椭圆面积, COP 活动范围多个指标, 但均无明

显差异,这可能与实验组的干预时间太短有关。Vera Fung 的文章中视觉反馈的方式是通过任天堂游戏机,该游戏机配备有平衡板,该平衡板可测量并解读用户在参与体感游戏是在其上施加的体重压力分布情况,随后针对用户在配套软件上进行的练习或游戏提供反馈。实验结果为在疼痛评分、膝关节屈伸、两分钟步行测试、活动平衡能力评估中,两种干预方式无明显差异,研究认为可能与实验样本太小有关。Hyung-Taek OH 的研究中同样使用了平衡板,其视觉反馈方式为参与者通过屏幕指示完成动作,同时该屏幕可显示身体各关节位置,研究结果提示参与视觉反馈的实验组平衡能力较对照组有明显提高。S. Carozzo 的研究使用了 Walker View 和 ProKin 两种设备, Walker View 可在受试者行走时显示行走姿态, ProKin 可通过“模拟滑雪”等视觉游戏训练受试者本体感觉等能力。结果显示在支撑相时间、对称性指数、偏斜、旋转等平衡指标中实验组较对照组有明显提高。

平衡是行走的基础,在膝关节置换术后患者的日常生活中起着非常重要的作用。静态平衡是人在受到干扰时能维持原有静态姿势的最基本的平衡。动态平衡是在身体核心在支撑范围之外时避免跌倒的能力[16]。我们的结果发现,与传统方法相比,基于视觉反馈的康复在提高静态平衡能力方面更具优势,该能力通过身体核心压力的移动平均速度和可能的跌倒范围进行评估。我们的数据还发现视觉反馈也能改善动态平衡,在本荟萃分析中用步伐长度的改变评估。我们的结果与既往研究一致,这些研究发现强化的视觉训练有助于患者在平衡功能受损后更快地恢复平衡功能[17]。平衡的改善主要归因于神经系统适应性、神经肌肉协调性的发展以及神经肌肉控制的增强,这是由于在闭链动力性练习中 H 反射和肌牵张反射的兴奋性增加所致[18]。视觉反馈对中枢神经系统的影响是多方面的,涉及复杂的神经网络和回路,包括初级视觉皮层的神经元反应特性以及来自后顶叶运动网络的信息流。通过这些特定的神经回路,视觉反馈训练有效改善了平衡功能[19]。

TUG 是测量从椅子上站起来、行走 3 米、转身然后坐回椅子所需的时间[20] [21],是衡量运动功能的测试。结果显示,与常规康复方法相比,视觉反馈训练能显著缩短 TUG。神经肌肉训练(neuromuscular training, NMT)是通过改善神经肌肉控制和动态稳定性来增强整体运动功能表现最常用的手段[22]。在最新的研究中,视觉反馈训练也被发现能在某些疾病状态下(包括中风和膝骨关节炎)增强运动功能[23]。例如,镜像视觉反馈(mirror visual feedback, MVF)已被证明能增强中风后偏瘫患者的运动功能,这主要是通过增强初级运动皮层(primary motor cortex, M1)的兴奋性[24]。此外,视觉反馈训练能显著改善中风患者的肌肉活动、平衡和行走能力[25]。功能改善与主动皮层和下肢肌肉之间协调性增强有关。增强的本体感觉也有助于下肢功能的恢复[26]。我们的结果表明,视觉反馈不仅能改善特定肌肉群的激活,还能提升整体运动协调和平衡能力。总之,作为一种新兴方法,膝关节置换术后基于视觉反馈的康复能显著改善平衡和功能。它在疼痛改善方面表现出与传统康复相似的效果。然而,本荟萃分析受证据质量和纳入研究数量少的限制。需要更多的原始研究来支持这一结论。

虽然这是首个证明膝关节置换术后视觉反馈康复效果的系统综述和荟萃分析,但应承认几个局限性。由于研究视觉反馈康复效果的研究相对较少,总体结果较为粗略。此外,大多数结局指标依赖于测量设备,并且平衡的测量方法差异很大,以致大量研究无法纳入荟萃分析。最后,各研究使用的视觉反馈具体方法也是差异巨大的,这可能导致数据整合的偏倚。这些问题应在进一步的研究中得到解决。

基金项目

本研究由重庆市科卫联合医学科研项目[批准号 2024GDRC001]资助。

利益冲突

所有作者无利益冲突。

参考文献

- [1] Carr, A.J., Robertsson, O., Graves, S., Price, A.J., Arden, N.K., Judge, A., *et al.* (2012) Knee Replacement. *The Lancet*, **379**, 1331-1340. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(11\)60752-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(11)60752-6)
- [2] Konnyu, K.J., Thoma, L.M., Cao, W., Aaron, R.K., Panagiotou, O.A., Bhuma, M.R., *et al.* (2022) Rehabilitation for Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, **102**, 19-33. <https://doi.org/10.1097/phm.0000000000002008>
- [3] Bączkiewicz, D., Skiba, G., Czerner, M. and Majorczyk, E. (2018) Gait and Functional Status Analysis before and after Total Knee Arthroplasty. *The Knee*, **25**, 888-896. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2018.06.004>
- [4] Codol, O., Kashefi, M., Forgaard, C.J., Galea, J.M., Pruszyński, J.A. and Gribble, P.L. (2023) Sensorimotor Feedback Loops Are Selectively Sensitive to Reward. *eLife*, **12**, e81325. <https://doi.org/10.7554/elife.81325>
- [5] Huang, H., Wolf, S.L. and He, J. (2006) Recent Developments in Biofeedback for Neuromotor Rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, **3**, Article No. 11. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-3-11>
- [6] Higgins, J.P.T. and Green, S. (2011) Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. Version 5.1.0. The Cochrane Collaboration.
- [7] Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. and Altman, D.G. (2009) Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLOS Medicine*, **6**, e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- [8] Wiering, B., de Boer, D. and Delnoij, D. (2017) Meeting Patient Expectations: Patient Expectations and Recovery after Hip or Knee Surgery. *Musculoskeletal Surgery*, **102**, 231-240. <https://doi.org/10.1007/s12306-017-0523-7>
- [9] Lavand'homme, P.M., Kehlet, H., Rawal, N. and Joshi, G.P. (2022) Pain Management after Total Knee Arthroplasty. *European Journal of Anaesthesiology*, **39**, 743-757. <https://doi.org/10.1097/eja.0000000000001691>
- [10] Stevens, J.A. and Ellen Phillips Stoykov, M. (2004) Simulation of Bilateral Movement Training through Mirror Reflection: A Case Report Demonstrating an Occupational Therapy Technique for Hemiparesis. *Topics in Stroke Rehabilitation*, **11**, 59-66. <https://doi.org/10.1310/gcfe-qa7a-2d24-khru>
- [11] Funase, K., Tabira, T., Higashi, T., Liang, N. and Kasai, T. (2007) Increased Corticospinal Excitability during Direct Observation of Self-Movement and Indirect Observation with a Mirror Box. *Neuroscience Letters*, **419**, 108-112. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.04.025>
- [12] 王晓玲, 王芎斌, 刘巧灵, 等. 老年膝骨关节炎患者膝关节本体感觉与疼痛和功能的相关性[J]. 中国老年学杂志, 2017, 37(11): 2761-2763.
- [13] 陈瑶, 俞泳, 何成奇. 膝骨关节炎患者本体感觉、肌力及关节功能的相关性研究[J]. 四川大学学报(医学版), 2015, 46(6): 880-884.
- [14] 郑广昊, 李海晴, 王颖鹏, 等. 本体感觉训练治疗膝骨性关节炎的疗效观察[J]. 中国康复, 2023, 38(1): 26-29.
- [15] Earley, E.J., Kaveny, K.J., Johnson, R.E., Hargrove, L.J. and Sensinger, J.W. (2017) Joint-Based Velocity Feedback to Virtual Limb Dynamic Perturbations. 2017 *International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, London, 17-20 July 2017, 1313-1318. <https://doi.org/10.1109/icorr.2017.8009430>
- [16] Marshall, A.N., Hertel, J., Hart, J.M., Russell, S. and Saliba, S.A. (2020) Visual Biofeedback and Changes in Lower Extremity Kinematics in Individuals with Medial Knee Displacement. *Journal of Athletic Training*, **55**, 255-264. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-383-18>
- [17] Massion, J. (1992) Movement, Posture and Equilibrium: Interaction and Coordination. *Progress in Neurobiology*, **38**, 35-56. [https://doi.org/10.1016/0301-0082\(92\)90034-c](https://doi.org/10.1016/0301-0082(92)90034-c)
- [18] Mitrousis, I., Bourdas, D.I., Kounalakis, S., Bekris, E., Mitrotasios, M., Kostopoulos, N., *et al.* (2023) The Effect of a Balance Training Program on the Balance and Technical Skills of Adolescent Soccer Players. *Journal of Sports Science and Medicine*, **22**, 645-657. <https://doi.org/10.52082/jssm.2023.645>
- [19] 李宇辉, 李兵. 纹外皮层 PMLS 区反馈投射对初级视皮层神经元反应特性的影响[J]. 生物化学与生物物理进展, 2011, 38(9): 821-829.
- [20] Podsiadlo, D. and Richardson, S. (1991) The Timed "Up & Go": A Test of Basic Functional Mobility for Frail Elderly Persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, **39**, 142-148. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x>
- [21] Lee, J., Kim, J. and Lee, B. (2020) Effect of Dynamic Balance Exercises Based on Visual Feedback on Physical Function, Balance Ability, and Depression in Women after Bilateral Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **17**, Article 3203. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093203>
- [22] Paterno, M.V., Myer, G.D., Ford, K.R. and Hewett, T.E. (2004) Neuromuscular Training Improves Single-Limb Stability in Young Female Athletes. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, **34**, 305-316.

- <https://doi.org/10.2519/jospt.2004.34.6.305>
- [23] López-Liria, R., Padilla-Góngora, D., Catalan-Matamoros, D., Rocamora-Pérez, P., Pérez-de la Cruz, S. and Fernández-Sánchez, M. (2015) Home-Based versus Hospital-Based Rehabilitation Program after Total Knee Replacement. *BioMed Research International*, **2015**, Article ID: 450421. <https://doi.org/10.1155/2015/450421>
 - [24] Nojima, I., Mima, T., Koganemaru, S., Thabit, M.N., Fukuyama, H. and Kawamata, T. (2012) Human Motor Plasticity Induced by Mirror Visual Feedback. *The Journal of Neuroscience*, **32**, 1293-1300. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.5364-11.2012>
 - [25] Pak, N. and Lee, J. (2020) Effects of Visual Feedback Training and Visual Targets on Muscle Activation, Balancing, and Walking Ability in Adults after Hemiplegic Stroke: A Preliminary, Randomized, Controlled Study. *International Journal of Rehabilitation Research*, **43**, 76-81. <https://doi.org/10.1097/mrr.0000000000000376>
 - [26] Kim, S., Glaviano, N.R. and Park, J. (2023) Exercise-induced Fatigue Affects Knee Proprioceptive Acuity and Quadriceps Neuromuscular Function More in Patients with ACL Reconstruction or Meniscus Surgery than in Healthy Individuals. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **31**, 5428-5437. <https://doi.org/10.1007/s00167-023-07596-5>