

从分离到融合：骨科与康复医学结合的研究进展与实践路径

陈 杨

大理大学临床医学院, 云南 大理

收稿日期: 2026年8月7日; 录用日期: 2026年9月1日; 发布日期: 2026年9月9日

摘 要

骨科治疗的传统优势在于纠正畸形、固定骨折和重建关节结构, 康复医学则强调活动、参与和生活质量。随着加速康复外科、老年骨折协同管理、数字健康及智能设备的发展, 单纯以手术完成为终点的模式正转向以功能结局为核心的全周期管理。本文围绕骨科-康复一体化的理论基础、围手术期路径、关节置换康复、数字技术、物理因子及中西医结合进行综述。现有证据支持多学科、标准化且可个体化的路径, 并提示预康复、早期活动、疼痛与营养管理、出院后延续服务是关键环节。远程康复、可穿戴设备、人工智能、虚拟现实和康复机器人可提高服务可及性与评估客观性, 但其效果受患者筛选、数字素养、算法透明度和成本影响。未来应建立共同功能结局驱动的跨学科团队, 形成医院-社区-居家闭环, 实现从结构修复向功能重建和社会参与恢复的转变。在组织实施层面, 本文进一步从跨学科沟通与决策、信息系统支撑以及与医保政策相适应的支付机制三个维度提出实施建议, 并强调对证据边界和真实世界可实施性的批判性评价。

关键词

骨科康复, 康复医学, 加速康复外科, 多学科协作, 远程康复, 人工智能, 实施科学

From Separation to Integration: Research Progress and Practical Pathways for the Integration of Orthopedics and Rehabilitation Medicine

Yang Chen

School of Clinical Medicine, Dali University, Dali Yunnan

Received: August 7, 2026; accepted: September 1, 2026; published: September 9, 2026

文章引用: 陈杨. 从分离到融合: 骨科与康复医学结合的研究进展与实践路径[J]. 临床医学进展, 2026, 16(9): 1087-1098. DOI: 10.12677/acm.2026.1693141

Abstract

The traditional strengths of orthopedic treatment lie in deformity correction, fracture fixation, and reconstruction of joint structures, whereas rehabilitation medicine emphasizes activity, participation, and quality of life. With the development of enhanced recovery after surgery (ERAS), co-management of geriatric fractures, digital health, and intelligent devices, the conventional model that regards completion of surgery as the endpoint is shifting toward full-cycle management centered on functional outcomes. This review summarizes the theoretical foundations of orthopedic-rehabilitation integration, perioperative pathways, rehabilitation after joint arthroplasty, digital technologies, physical modalities, and integrative Chinese and Western medicine. Current evidence supports multidisciplinary, standardized, yet individualized care pathways and highlights prehabilitation, early mobilization, pain and nutritional management, and continuity of post-discharge services as key components. Telerehabilitation, wearable devices, artificial intelligence, virtual reality, and rehabilitation robotics may improve service accessibility and the objectivity of functional assessment; however, their effectiveness is influenced by patient selection, digital literacy, algorithmic transparency, and cost. Future efforts should focus on establishing interdisciplinary teams driven by shared functional outcomes and creating a closed-loop continuum of care linking hospitals, communities, and patients' homes, thereby facilitating a transition from structural repair to functional reconstruction and restoration of social participation. At the organizational and implementation level, this review further proposes practical strategies from three perspectives: interdisciplinary communication and decision-making, information-system support, and payment mechanisms compatible with health insurance policies. It also emphasizes the critical appraisal of evidence boundaries and real-world implementability.

Keywords

Orthopedic Rehabilitation, Rehabilitation Medicine, Enhanced Recovery after Surgery, Multidisciplinary Collaboration, Telerehabilitation, Artificial Intelligence, Implementation Science

Copyright © 2026 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

骨科疾病的治疗终点不应停留在影像学复位、内固定稳定或假体位置满意。手术可以重建结构，却不能自动恢复肌力、关节活动度、本体感觉、步态与日常生活能力。膝关节损伤或手术后常出现关节源性肌肉抑制，即使疼痛减轻，股四头肌仍可能难以充分激活，这一机制可解释部分患者“结构成功但功能恢复缓慢”的现象[1]。

传统诊疗流程往往表现为骨科完成诊断和手术，患者出院后再被动转入康复，容易出现康复介入偏晚、医嘱表述不一致和随访中断。骨科-康复一体化强调把功能评估与康复处方前置，并将其贯穿术前、住院期、恢复期和居家阶段。ERAS学会关于髋、膝关节置换的共识，已将患者教育、营养优化、多模式镇痛、早期进食与早期活动整合到同一围手术期路径中[2]。

因此，一体化并不是把康复科简单加入会诊名单，而是由骨科医师、康复医师、治疗师、护士、营养师及患者围绕共同的功能目标持续决策。评价疗效时既要观察伤口、固定、假体与并发症，也要观察疼痛、活动度、肌力、步行速度、日常生活能力、社会参与和生活质量。

2. 骨科 - 康复融合的理论基础

2.1. 从疾病诊断走向功能诊断

骨科诊断主要回答“哪里发生了结构损伤”，康复诊断进一步回答“结构损伤造成了哪些活动受限，患者当前还能够完成什么”。同一种骨折或同一种关节置换术，在不同年龄、认知状态、肌少症程度和家庭支持条件下，康复目标并不相同。老年髋部骨折术后康复指南建议同步评估移动、平衡、负重、日常生活活动、疼痛、并发症及出院环境，并依据恢复阶段持续调整训练内容[3]。

共同评估可形成共享问题清单：骨科医师界定组织愈合与负重边界，康复医师识别功能障碍和合并症，治疗师量化活动度、肌力、平衡及步行能力，护士负责疼痛、伤口、睡眠和活动执行，营养师评估营养风险。这样可以减少“手术允许活动但患者不敢动”以及“训练强度超过组织耐受”等矛盾。

2.2. 康复时间轴应前移并贯穿全程

预康复是融合模式的重要前移环节，包括患者教育、力量与有氧训练、辅助器具练习、营养优化和心理准备。全膝关节置换相关系统综述显示，预康复能够改善术前膝关节功能，并可能对术后早期功能和住院时间产生有益影响，但训练剂量和长期效果仍存在异质性[4]。

术后则应在结构安全和生命体征稳定的前提下，尽早恢复坐起、站立、转移与步行。早期活动能够对抗卧床导致的肌力下降、肺部并发症、血栓风险和活动信心丧失，是 ERAS 路径中连接镇痛、营养与功能训练的关键节点[5]。

2.3. 标准化路径与个体化处方并重

一体化不等于所有患者执行同一套动作。高龄、认知障碍、严重疼痛、营养不良或术前活动能力低下者，需要更密集的监督和更缓慢的进阶；年轻运动人群则更关注力量、敏捷、工作能力和回归运动。Cochrane 综述提示，由适当专科医师监督的多学科住院康复，可减少髋部骨折老年患者死亡或居住状态恶化这一复合不良结局[6]。

关节置换康复的大型系统综述同时指出，不同运动项目在疼痛、活动度和日常生活能力方面常获得相近改善，且研究中的干预描述和结局指标并不统一[7]。因此，临床路径应标准化关键节点以保证“不遗漏”，并根据风险、功能与目标调整剂量以保证“不冒进”。

2.4. 批判性小结：证据边界与可迁移性

现有证据能够较一致地回答两个问题：其一，康复时间轴应前移并贯穿围手术期；其二，多学科评估、早期活动与风险分层对高风险患者具有临床价值[3]-[6]。但目前仍不能据此确定所有骨科病种的最佳预康复剂量、首次活动的统一时间阈值，也不能证明某一标准化运动方案在所有患者中普遍优于其他方案。研究间患者年龄、手术类型、训练内容和结局指标差异较大[4][7]，因此，一体化路径中真正具有可迁移性的核心应是共同评估、关键节点和动态分层，而不是固定的动作清单。

3. 围手术期一体化的关键环节

3.1. ERAS：从单项措施到协同组合

ERAS 并非单一的“早下床”，而是由术前教育、贫血和营养风险处理、麻醉优化、减少不必要导管、预防恶心呕吐、多模式镇痛、早期进食和早期活动组成的组合策略。系统综述与荟萃分析显示，ERAS 路径总体可缩短关节置换患者住院时间，并降低输血率和部分并发症，但对关节活动度和再入院率的影响并非所有研究均一致[8]。见图 1。

骨科-康复一体化全周期管理流程

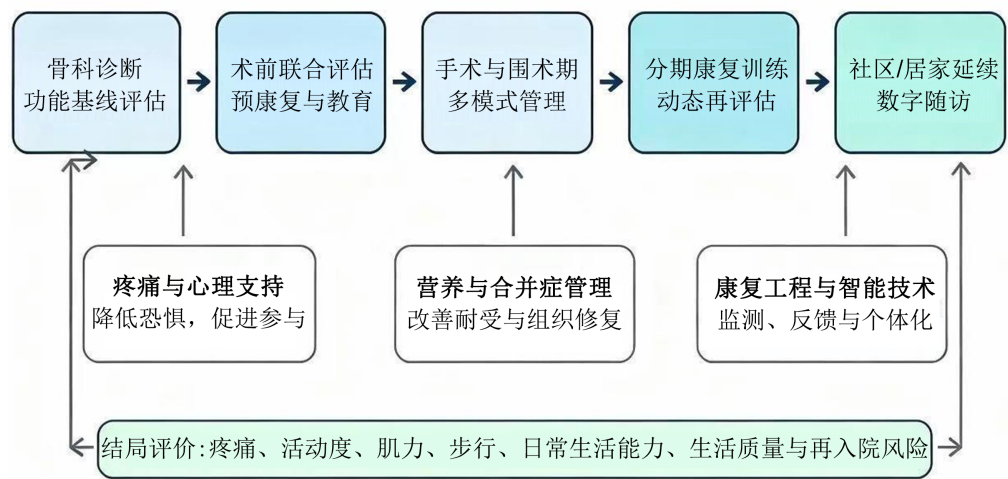


Figure 1. Whole-cycle management process of orthopedics-rehabilitation integration
图 1. 骨科 - 康复一体化全周期管理流程

一体化管理不能只追求“更早出院”。若出院标准仅依据生命体征稳定和伤口无异常，可能把功能恢复压力转移给家庭。更合理的标准应包括疼痛可控、能够安全转移和步行、掌握家庭训练方法，并明确危险信号、复诊节点及转介渠道。

3.2. 疼痛、心理和活动的耦合管理

疼痛控制的目的不仅是降低数字评分，更重要的是使患者能够睡眠、屈伸关节、负重和完成训练。镇痛不足会增加恐惧和保护性不动，过度镇静又会妨碍清醒活动。围手术期心理社会干预的系统综述显示，教育、放松、催眠和认知行为等辅助措施可在一定程度上降低术后疼痛并改善照护体验，但干预类型和研究质量差异较大[9]。

临床上应把药物镇痛、冷疗、体位、呼吸放松与运动处方进行时间配合，并识别灾难化思维、跌倒恐惧和对假体损坏的过度担忧。通过解释组织愈合边界、设置可实现的小目标和即时反馈，可将“避免疼痛”转化为“在可接受疼痛范围内逐步活动”。

3.3. 营养、肌少症与组织修复

老年骨折患者常同时存在食欲下降、蛋白质摄入不足、肌少症和多病共存。营养不良与髋部骨折后的并发症、功能恢复不佳及死亡风险相关，因此营养筛查和干预应与运动训练同步，而不能等到体重明显下降后才启动[10]。

实际路径可在入院时完成营养风险筛查，对高风险患者给予蛋白质和能量支持，并结合渐进阻力训练、维生素 D 评估和骨质疏松管理。营养补充不能替代训练，但能为肌肉合成、伤口愈合和训练耐受提供基础。

3.4. 老年髋部骨折的协同管理

髋部骨折是检验骨科 - 老年医学 - 康复融合能力的典型场景。患者常同时面临谵妄、贫血、感染、营养不良、跌倒风险和照护不足。骨科与老年医学协作模式的系统综述显示，协同照护与住院死亡率下降相关，并可能改善部分长期结局[11]。

一项前瞻性随机对照试验进一步表明，与常规骨科照护相比，综合老年医学照护能够改善髌部骨折患者术后活动能力，说明围手术期内科管理、早期活动和康复目标需要在同一团队中协调[12]。

出院后仍需延续训练。家庭运动的系统综述与荟萃分析显示，居家训练可改善髌部骨折术后的步行速度、身体功能和日常生活能力[13]。因此，医院康复必须与社区、家庭及远程随访衔接。

3.5. 批判性小结：组合干预的优势与不确定性

ERAS、心理社会干预、营养支持和老年协同管理的证据分别来自不同患者群体、不同干预窗口和不同结局指标[8]-[13]。这些研究能够支持“镇痛-营养-早期活动-连续康复”应作为相互衔接的组合，而不能只强调某一个环节；但多数研究仍主要评价单项措施或特定临床场景，尚不能直接回答各要素的最佳权重、最优组合及跨机构复制条件。尤其需要警惕把住院时间缩短等同于康复质量提高，功能达标、安全性、出院后连续性和患者负担应同时进入评价框架。

4. 关节置换后的康复路径与服务场景

4.1. 运动治疗仍是核心

关节置换后的康复工具不断增加，但运动治疗仍是改善力量、活动度和任务能力的基础。系统综述显示，出院后的系统化物理治疗运动在短期内可改善全膝关节置换患者的疼痛与身体功能[14]。训练内容应从关节活动、肌肉激活和基本转移，逐步进阶至步态、平衡、耐力以及工作或运动相关任务。

4.2. 住院、门诊和居家康复应分层选择

并非所有患者都需要住院康复。HIHO 随机临床试验显示，对于经过筛选的全膝关节置换患者，住院康复在活动能力方面并未优于受监测的居家项目[15]。较早的研究也显示，门诊或居家方案均可获得功能改善，服务地点应依据医学复杂度、家庭支持、交通条件和患者偏好决定[16]。

因此，低风险且具备照护支持的患者可优先采用标准化居家训练和按需门诊复评；存在跌倒高风险、认知障碍、严重合并症或训练执行困难者，应增加面对面治疗和多学科监督。分层的目标不是减少服务，而是把有限资源配置给最需要的患者。

4.3. 批判性小结：服务场景选择的证据边界

现有研究较有把握地支持两点：运动治疗仍是关节置换后康复的基础；对于经过筛选、医学风险较低且家庭支持充分的患者，受监测的居家方案可获得不劣于住院康复的活动能力结局[14]-[16]。但这些证据不能直接外推到严重合并症、认知障碍、高跌倒风险或社会支持不足的人群，也尚未明确何种风险阈值应触发门诊强化或住院康复。因而，当前证据能够回答“是否可以分层”，但仍不能精确回答“如何设定分层界值和服务强度”，这应成为后续前瞻性研究的重点。

5. 数字技术驱动的融合创新

5.1. 远程康复：提高连续性而非简单视频化

远程康复可通过视频指导、应用程序、动作反馈和异步数据上传，将治疗从固定场所延伸到家庭。全膝关节置换随机对照研究的荟萃分析显示，远程康复在疼痛和功能改善方面总体可达到与面对面康复相近的效果[17]。

另一项系统综述也发现，远程康复与面对面方案在主要功能结局上具有可比性，但研究数量、设备和训练方案存在差异[18]。面向不同骨科手术的荟萃分析进一步支持远程物理治疗对功能恢复的可行性，

同时提示应重视患者筛选和不良事件监测[19]。

随机对照试验表明，居家远程康复在经过规范化设计后可达到面对面家庭访视的非劣效结果[20]；基于互联网的门诊远程康复也可改善全膝关节置换后的功能[21]。然而，认知障碍、严重平衡问题、缺乏照护者或数字设备使用困难者仍需要现场评估。

5.2. 可穿戴传感器与人工智能

惯性传感器、压力鞋垫和表面肌电设备可记录步数、关节角度、负重对称性和训练完成度，为团队提供日常环境中的连续数据。系统综述显示，可穿戴传感器与机器学习已用于动作识别、训练质量评价和恢复趋势预测，但传感器位置、算法和评价标准尚未统一[22]。

人工智能的潜在价值包括风险分层、动作识别、个体化推荐和异常预警。现有系统综述认为，AI 支持的物理康复已经出现临床应用，但样本量小、外部验证不足、算法可解释性和工作流程整合仍是主要障碍[23]。最新的系统映射研究显示，骨科是 AI 康复应用的重要领域之一，但高质量真实世界验证仍不足[24]。

智能系统应被定位为临床决策支持，而不是自动替代治疗师。算法给出的训练建议必须接受组织愈合限制、疼痛反应和患者目标的人工审核，并明确数据权限、隐私保护、设备故障和异常预警的责任边界。

5.3. 虚拟现实与康复机器人

虚拟现实可把关节活动、平衡和步行训练转化为具有即时反馈和任务目标的互动练习。全膝关节置换后的系统综述与荟萃分析显示，虚拟现实在部分功能和疼痛指标上具有潜在优势，但研究规模较小，成本效益结论仍有限[25]。

康复机器人能够提供重复、可量化的关节运动或步态训练，并减轻治疗师在高重复任务中的体力负担。系统综述与荟萃分析提示，机器人辅助康复可能改善关节置换患者的疼痛、活动度或功能，但设备类型和训练方案差异较大，不能据此认为机器人必然优于高质量常规康复[26]。

5.4. 关键数字康复技术的证据横向比较

为避免仅按技术类别罗列结论，表 1 选取本节引用的代表性系统综述、荟萃分析和随机对照研究，从研究设计、人群、干预、主要结局和证据边界进行横向比较。该比较显示，不同技术的“可行性证据”与“临床净获益证据”成熟度并不相同。

Table 1. Research on representative technologies and evidence boundary of orthopedic digital rehabilitation
表 1. 骨科数字康复相关代表性技术研究及证据边界

技术 (代表文献)	设计与主要人群	干预/比较	主要结局	当前证据边界
远程康复 [17]-[21]	系统综述、荟萃分析及随机对照试验；以全膝关节置换及其他骨科术后患者为主	视频、互联网或居家远程康复，与面对面或家庭访视比较	疼痛和功能总体与面对面方案相近，部分研究达到非劣效	设备、训练方案和患者筛选差异较大；复杂患者的安全性、长期效果及成本效益仍需验证
可穿戴传感器/ 机器学习[22]	系统综述；康复训练场景和人群较异质	惯性传感器、压力、表面肌电等结合算法	可用于动作识别、训练质量评价和恢复趋势预测	传感器位置、算法和评价标准不统一；尚不能据此证明患者重要临床结局得到改善

续表

AI 支持康复 [23] [24]	系统综述及系统映射研究；覆盖多种康复场景	风险分层、动作识别、个性化推荐、异常预警	已出现临床应用并显示决策支持潜力	样本量小、外部验证不足，可解释性、责任边界和 workflow 整合仍是主要障碍
虚拟现实 [25]	系统综述与荟萃分析：全膝关节置换术后为主	具有即时反馈和任务目标的互动训练，与常规康复比较	部分功能和疼痛指标可能受益	研究规模较小，设备类型和训练剂量不一致，成本效益证据有限
康复机器人 [26]	系统综述与荟萃分析：膝/髌关节置换患者	机器人辅助关节运动或步态训练，与常规康复比较	可能改善疼痛、活动度或功能	设备和训练方案异质性大，尚不能证明其普遍优于高质量常规康复

5.5. 批判性小结：技术可用不等于临床优越

综合比较后，当前证据能够支持远程康复作为经过筛选患者的替代或补充服务，也能说明可穿戴设备和智能算法有望提高评估的连续性与客观性[17]-[24]；但现有研究尚不能证明 AI、虚拟现实或机器人在真实世界中普遍优于高质量常规康复[23]-[26]。更关键的空白是“哪类患者、在什么阶段、使用哪种设备或算法最有净获益”，以及技术投入能否通过减少人工负担、并发症或服务利用形成可接受的成本效益。因而，技术评价应从单纯比较功能评分，扩展到适用人群、安全性、依从性、可解释性、工作流程影响和经济性。

6. 物理因子与中西医结合的证据定位

6.1. 电刺激：作为运动训练的辅助

神经肌肉电刺激、经皮神经电刺激和电针常用于改善疼痛或肌肉激活。对三类电刺激技术的系统综述显示，神经肌肉电刺激和经皮神经电刺激可作为全膝关节置换康复的辅助方法，但疗效与参数、频率和持续时间密切相关[27]。

神经肌肉电刺激的荟萃分析显示，其可改善术后不同阶段的股四头肌力量和部分功能指标[28]。随机对照试验发现，术后 48 小时内启动股四头肌神经肌肉电刺激，可减轻早期肌力丢失并改善功能表现[29]。因此，电刺激应服务于主动训练，而不是替代负重、力量和任务练习。

6.2. 连续被动活动与冷疗应避免机械化使用

连续被动活动机曾被广泛用于全膝关节置换术后，但 Cochrane 综述显示，其对常规患者的疼痛、功能和活动度改善有限，不支持作为无差别的常规附加治疗[30]。

冷疗可用于短期疼痛、肿胀和出血管理，但早期 Cochrane 综述认为证据质量有限，且长期功能获益并不明确[31]。因此，物理因子应围绕明确问题短期使用，并通过疼痛、肿胀、活动度及训练完成度评价其是否真正促进功能进阶。

6.3. 针灸及相关技术的合理定位

中医骨伤康复强调动静结合和筋骨并重，与现代康复中的组织保护、渐进负荷和整体功能恢复具有一定相通性。针灸可作为疼痛管理和患者参与的辅助措施，但不应替代早期活动、力量训练和功能任务。

全膝关节置换术后针灸的系统综述与荟萃分析显示，针灸可能减少短期疼痛和镇痛药使用，但研究在穴位、频率和盲法方面存在差异[32]。电针的系统综述提示，其在术后亚急性阶段可能减轻疼痛，但对关节活动度的改善证据不足[33]。较新的网络荟萃分析比较了多种针灸相关方案，提示部分方法可能改善

短期疼痛或功能，但结论仍需高质量、标准化随机试验验证[34]。

因此，中西医结合应坚持“目标一致、指标可测、风险可控”。例如，将针灸用于训练前疼痛调节，随后观察活动度、步行距离、功能量表和药物使用变化；若只能改善短时主观感受而不能推动功能进阶，应及时调整方案。

6.4. 批判性小结：辅助技术应围绕功能目标定位

物理因子与针灸相关证据的共同特征是“辅助性强、替代性弱”。现有研究较能回答的是：神经肌肉电刺激可作为主动训练的辅助并改善部分肌力和功能指标[27]-[29]；连续被动活动不宜作为常规患者的无差别附加治疗[30]；冷疗及针灸相关技术可能改善部分短期症状[31]-[34]。仍不能回答的是这些辅助技术能否稳定转化为长期活动能力、社会参与或生活质量获益，也不能据短期疼痛改善推断其可替代负重、力量和任务训练。参数、穴位、频率、盲法和结局指标的异质性，是当前证据外推的主要限制。

7. 一体化模式的组织实施与实施科学

7.1. 建立共同路径和共同结局指标

医院可按病种建立最小必要路径，包括术前功能筛查、风险分层、首次活动时间、阶段性目标、出院功能标准、居家处方和随访节点。路径允许因病情偏离，但应记录原因和替代措施。共同结局指标可包括疼痛、活动度、肌力、步行速度、起立行走测试、日常生活能力、生活质量、并发症、再入院和患者目标达成度。

7.2. 形成稳定的跨学科工作机制

联合查房和病例讨论只有在职责清晰时才有效。建议由骨科负责结构安全和手术限制，康复医师负责功能诊断与处方，治疗师负责训练实施和剂量调整，护士负责全天活动促进与风险观察，营养师和心理专业人员按筛查结果介入。团队应使用同一套记录语言，避免“适量活动”“部分负重”等缺少操作定义的模糊医嘱。

7.3. 打通医院 - 社区 - 居家转介

连续康复的薄弱环节通常发生在出院后。出院摘要应包含负重等级、禁忌、训练动作、频率、进阶标准、危险信号和联系方式，而非仅写“加强功能锻炼”。社区机构应能够获得关键手术信息，并将功能数据反馈给医院。远程平台可以支持这一闭环，但必须保留电话和线下替代渠道，避免数字鸿沟扩大服务不平等。

7.4. 实施科学：从“方案有效”到“常规落地”

前述证据主要回答了“哪些临床要素值得纳入一体化路径”，但从研究证据转化为日常服务，还需要解决组织、信息和支付层面的实施问题。基于本文所综述证据，下面提出一个可供临床机构试点和验证的实施框架：这些内容属于实践性方案，仍需通过真实世界研究检验。

第一，构建跨学科沟通与决策机制。可由骨科、康复医学、护理和治疗团队共同建立“功能目标清单 + 风险清单 + 阶段任务单”，在术前或入院早期完成首次联合评估；住院期采用简短、固定频次的功能查房，对高风险或恢复偏离预期者启动病例讨论。对于负重等级、疼痛控制不足、谵妄、跌倒风险、伤口异常和训练停滞等关键情形，应预先约定升级决策的触发条件、责任人和响应时限，使团队协作从“临时会诊”转变为可执行的共同决策流程。

第二，设计支持医院－社区－居家的连续性信息系统。最小共享数据集至少应包括手术及固定信息、负重和活动限制、疼痛与并发症、关节活动度、肌力/步行等功能指标、患者报告结局、家庭支持、康复处方完成度和异常事件。系统应允许医院、社区和患者端在授权范围内查看与回传关键数据，并将可穿戴或远程平台信息转化为少量、可处置的预警，而不是增加新的数据负担。同时应保留电话和线下通道，并明确数据权限、隐私保护、设备故障和异常预警的责任边界，以避免数字化反而扩大服务差异。

第三，探索与医保政策相适应的支付和激励方式。在现有按服务项目计费基础上，可在地方医保政策允许的范围内试点按病种/康复周期打包、与功能结局或连续性指标挂钩的混合支付，覆盖必要的康复评估、远程随访、社区衔接和患者教育，避免单纯以治疗次数或住院天数作为绩效导向。支付试点应同步进行风险调整，防止机构因追求结局指标而回避复杂患者，并比较不同模式对患者自付负担、再入院、功能改善、服务利用和总体成本的影响。

第四，把“实施效果”作为与临床疗效并列的评价对象。建议持续记录路径覆盖率、跨科联合评估完成率、首次活动时间、关键医嘱一致性、出院后失访率、功能目标达成率、再入院率、患者体验、工作人员负担及成本等指标，并按“试点－评估－迭代－扩展”的方式逐步推广。只有同时证明患者获益、流程可执行和资源可承受，一体化模式才具有真正的可持续性。

7.5. 批判性小结：实施要素仍需实证验证

需要强调的是，本文现有参考文献更充分地支持临床路径中的早期活动、协同管理、远程康复等组成要素，而并未直接比较不同信息系统架构或医保支付机制的优劣。因此，本节能够回答的是“一体化落地需要关注哪些组织和系统要素”，尚不能回答“哪一种治理结构、数字平台或支付方案最佳”。后者应结合不同地区的医疗资源和政策环境，采用真实世界的实施评价与卫生经济学研究进行验证。

8. 挑战与展望

当前的主要挑战包括：学科绩效仍常以手术量、床位周转或治疗人次衡量，缺少跨科共享的功能结局；复合型人才不足，骨科人员可能不了解康复剂量，康复人员又可能缺乏对固定稳定性和组织愈合的判断；智能设备研究多在理想环境中完成，真实世界依从性、维护成本、隐私和数据治理证据不足。

未来研究应从“某种设备是否有效”转向“哪类患者、在何时、采用何种剂量、与哪种常规治疗组合最有效”。精准康复也不应被理解为昂贵技术堆叠，而应是依据风险、功能和偏好进行分层处方：低风险患者可采用标准化居家训练与远程监测，复杂患者需要面对面多学科管理，当恢复偏离预期时系统应触发再评估。

在此基础上，未来研究可进一步形成可操作的优先议程：① 建立多中心前瞻性队列，利用可解释的机器学习，将年龄、术式、合并症、术前功能、认知、营养状态和家庭支持等变量转化为风险分层模型，并进行外部验证，以判断其能否帮助患者匹配居家、门诊或住院康复路径；② 设计实用性随机对照研究或效果－实施混合研究，比较整合 AI 动作识别/反馈的远程康复、传统远程康复与常规面对面康复，在预先设定功能恢复、依从性、不良事件、再入院、治疗师工作量和成本效益等结局后进行长期随访；③ 针对高龄、认知障碍、严重平衡问题和数字素养较低人群开展亚组与公平性研究，明确数字方案的适用边界以及需要人工监督或线下转介的触发阈值；④ 建立跨机构核心功能结局集和数据标准，使患者报告结局、步行/活动数据、服务利用和成本能够连续追踪，并用于模型校准和路径迭代。上述研究应同时报告临床效果与实施效果，避免仅以算法准确率或设备使用率替代患者真正受益。

9. 结语

骨科与康复医学的融合，是诊疗终点从“手术完成”转向“功能和生活恢复”的必然结果。现有证

据支持在围手术期采用多学科、标准化且可个体化的路径，并将预康复、镇痛、营养、早期活动和出院后延续服务作为一个整体。数字技术、电刺激和针灸等方法能够扩展康复工具箱，但其价值必须通过功能结局、安全性和成本加以验证。真正的一体化不是科室名称的组合，而是同一患者、同一目标、同一时间轴和同一评价体系下的协同实践。未来的一体化实践还需以实施科学和卫生经济学评价为支撑，验证跨学科决策机制、连续性信息系统和支付激励能否在真实世界中稳定转化为更好的功能结局与可持续发展。

参考文献

- [1] Rice, D.A. and McNair, P.J. (2010) Quadriceps Arthrogenic Muscle Inhibition: Neural Mechanisms and Treatment Perspectives. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*, **40**, 250-266. <https://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2009.10.001>
- [2] Wainwright, T.W., Gill, M., McDonald, D.A., Middleton, R.G., Reed, M., Sahota, O., et al. (2020) Consensus Statement for Perioperative Care in Total Hip Replacement and Total Knee Replacement Surgery: Enhanced Recovery after Surgery (ERAS®) Society Recommendations. *Acta Orthopaedica*, **91**, 3-19. <https://doi.org/10.1080/17453674.2019.1683790>
- [3] Min, K., Beom, J., Kim, B.R., Lee, S.Y., Lee, G.J., Lee, J.H., et al. (2021) Clinical Practice Guideline for Postoperative Rehabilitation in Older Patients with Hip Fractures. *Annals of Rehabilitation Medicine*, **45**, 225-259. <https://doi.org/10.5535/arm.21110>
- [4] Gränicher, P., Mulder, L., Lenssen, T., Scherr, J., Swanenburg, J. and de Bie, R. (2022) Prehabilitation Improves Knee Functioning before and within the First Year after Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, **52**, 709-725. <https://doi.org/10.2519/jospt.2022.11160>
- [5] Tazreean, R., Nelson, G. and Twomey, R. (2022) Early Mobilization in Enhanced Recovery after Surgery Pathways: Current Evidence and Recent Advancements. *Journal of Comparative Effectiveness Research*, **11**, 121-129. <https://doi.org/10.2217/cer-2021-0258>
- [6] Handoll, H.H., Cameron, I.D., Mak, J.C., Panagoda, C.E. and Finnegan, T.P. (2021) Multidisciplinary Rehabilitation for Older People with Hip Fractures. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **2021**, CD007125. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd007125.pub3>
- [7] Konnyu, K.J., Thoma, L.M., Cao, W., Aaron, R.K., Panagiotou, O.A., Bhuma, M.R., et al. (2023) Rehabilitation for Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, **102**, 19-33. <https://doi.org/10.1097/phm.0000000000002008>
- [8] Deng, Q.F., Gu, H.Y., Peng, W.Y., Zhang, Q., Huang, Z., Zhang, C., et al. (2018) Impact of Enhanced Recovery after Surgery on Postoperative Recovery after Joint Arthroplasty: Results from a Systematic Review and Meta-Analysis. *Postgraduate Medical Journal*, **94**, 678-693. <https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2018-136166>
- [9] Szeverenyi, C., Kekecs, Z., Johnson, A., Elkins, G., Csernatony, Z. and Varga, K. (2018) The Use of Adjunct Psychosocial Interventions Can Decrease Postoperative Pain and Improve the Quality of Clinical Care in Orthopedic Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *The Journal of Pain*, **19**, 1231-1252. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2018.05.006>
- [10] Malafarina, V., Reginster, J., Cabrerizo, S., Bruyère, O., Kanis, J.A., Martinez, J.A., et al. (2018) Nutritional Status and Nutritional Treatment Are Related to Outcomes and Mortality in Older Adults with Hip Fracture. *Nutrients*, **10**, Article No. 555. <https://doi.org/10.3390/nu10050555>
- [11] Grigoryan, K.V., Javedan, H. and Rudolph, J.L. (2014) Orthogeriatric Care Models and Outcomes in Hip Fracture Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Orthopaedic Trauma*, **28**, e49-e55. <https://doi.org/10.1097/bot.0b013e3182a5a045>
- [12] Prestmo, A., Hagen, G., Sletvold, O., Helbostad, J.L., Thingstad, P., Taraldsen, K., et al. (2015) Comprehensive Geriatric Care for Patients with Hip Fractures: A Prospective, Randomised, Controlled Trial. *The Lancet*, **385**, 1623-1633. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(14\)62409-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(14)62409-0)
- [13] Zhao, L., Zhao, X., Dong, B. and Li, X. (2024) Effectiveness of Home-Based Exercise for Functional Rehabilitation in Older Adults after Hip Fracture Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *PLOS ONE*, **19**, e0315707. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0315707>
- [14] Artz, N., Elvers, K.T., Lowe, C.M., Sackley, C., Jepson, P. and Beswick, A.D. (2015) Effectiveness of Physiotherapy Exercise Following Total Knee Replacement: Systematic Review and Meta-Analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **16**, Article No. 15. <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0469-6>

- [15] Buhagiar, M.A., Naylor, J.M., Harris, I.A., Xuan, W., Kohler, F., Wright, R., *et al.* (2017) Effect of Inpatient Rehabilitation vs a Monitored Home-Based Program on Mobility in Patients with Total Knee Arthroplasty: The HIHO Randomized Clinical Trial. *JAMA*, **317**, 1037-1046. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.1224>
- [16] Kramer, J.F., Speechley, M., Bourne, R., Rorabeck, C. and Vaz, M. (2003) Comparison of Clinic- and Home-Based Rehabilitation Programs after Total Knee Arthroplasty. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, **410**, 225-234. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000063600.67412.11>
- [17] Tsang, M.P., Man, G.C.W., Xin, H., Chong, Y.C., Ong, M.T. and Yung, P.S. (2022) The Effectiveness of Telerehabilitation in Patients after Total Knee Replacement: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of Telemedicine and Telecare*, **30**, 795-808. <https://doi.org/10.1177/1357633x221097469>
- [18] Jiang, S., Xiang, J., Gao, X., Guo, K. and Liu, B. (2018) The Comparison of Telerehabilitation and Face-to-Face Rehabilitation after Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Telemedicine and Telecare*, **24**, 257-262. <https://doi.org/10.1177/1357633x16686748>
- [19] Morri, M., Ruisi, R., Culcasi, A. and Peccerillo, V. (2024) The Effectiveness of Telerehabilitation for Functional Recovery after Orthopedic Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Telemedicine Reports*, **5**, 78-88. <https://doi.org/10.1089/tmr.2023.0057>
- [20] Moffet, H., Tousignant, M., Nadeau, S., Mérette, C., Boissy, P., Corriveau, H., *et al.* (2015) In-Home Telerehabilitation Compared with Face-to-Face Rehabilitation after Total Knee Arthroplasty: A Noninferiority Randomized Controlled Trial. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, **97**, 1129-1141. <https://doi.org/10.2106/jbjs.n.01066>
- [21] Russell, T.G., Buttrum, P., Wootton, R. and Jull, G.A. (2011) Internet-Based Outpatient Telerehabilitation for Patients Following Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, **93**, 113-120. <https://doi.org/10.2106/jbjs.i.01375>
- [22] Wei, S. and Wu, Z. (2023) The Application of Wearable Sensors and Machine Learning Algorithms in Rehabilitation Training: A Systematic Review. *Sensors*, **23**, Article No. 7667. <https://doi.org/10.3390/s23187667>
- [23] Sumner, J., Lim, H.W., Chong, L.S., Bundele, A., Mukhopadhyay, A. and Kayambu, G. (2023) Artificial Intelligence in Physical Rehabilitation: A Systematic Review. *Artificial Intelligence in Medicine*, **146**, Article ID: 102693. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102693>
- [24] Morone, G., Carbonetti, R., Martino Cinnera, A., Malfitano, C., Bisirri, A. and Negrini, F. (2025) Artificial Intelligence in Rehabilitation: A Living Systematic Mapping Review—First Release. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, **61**, 694-708. <https://doi.org/10.23736/s1973-9087.25.09331-1>
- [25] Gazendam, A., Zhu, M., Chang, Y., Phillips, S. and Bhandari, M. (2022) Virtual Reality Rehabilitation Following Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **30**, 2548-2555. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-06910-x>
- [26] Yoo, J.I., Oh, M.K., Lee, S.U. and Lee, C.H. (2022) Robot-Assisted Rehabilitation for Total Knee or Hip Replacement Surgery Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicine*, **101**, e30852. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000030852>
- [27] Chen, Y., Zhang, X., Zhu, Y., Jia, Y., Wang, H. and Liu, Y. (2018) Systematic Review of Three Electrical Stimulation Techniques for Rehabilitation after Total Knee Arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty*, **33**, 2330-2337. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2018.01.070>
- [28] Peng, L., Wang, K., Zeng, Y., Wu, Y., Si, H. and Shen, B. (2021) Effect of Neuromuscular Electrical Stimulation after Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Frontiers in Medicine*, **8**, Article ID: 779019. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.779019>
- [29] Stevens-Lapsley, J.E., Balter, J.E., Wolfe, P., Eckhoff, D.G. and Kohrt, W.M. (2012) Early Neuromuscular Electrical Stimulation to Improve Quadriceps Muscle Strength after Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial. *Physical Therapy*, **92**, 210-226. <https://doi.org/10.2522/ptj.20110124>
- [30] Harvey, L.A., Brosseau, L. and Herbert, R.D. (2014) Continuous Passive Motion Following Total Knee Arthroplasty in People with Arthritis. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **2014**, CD004260. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd004260.pub3>
- [31] Adie, S., Kwan, A., Naylor, J.M., Harris, I.A. and Mittal, R. (2012) Cryotherapy Following Total Knee Replacement. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **2012**, CD007911. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd007911.pub2>
- [32] Ko, H.F., Chen, C., Dong, K. and Wu, H. (2021) Effects of Acupuncture on Postoperative Pain after Total Knee Replacement: Systematic Literature Review and Meta-Analysis. *Pain Medicine*, **22**, 2117-2127. <https://doi.org/10.1093/pm/pnab201>
- [33] Chen, W., Chen, Z., Li, J., Wang, Y., Chen, G., Jiang, T., *et al.* (2021) Electroacupuncture as an Adjuvant Approach to Rehabilitation during Postacute Phase after Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, **2021**, Article ID: 9927699.

- <https://doi.org/10.1155/2021/9927699>
- [34] Li, W.X., Wu, C.Q., Feng, W., Zhan, Y., Yang, L., Jia, H., *et al.* (2025) Acupuncture for Rehabilitation after Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *International Journal of Surgery*, **111**, 1373-1385.
<https://doi.org/10.1097/js9.0000000000002006>