

运动链理论在非特异性下腰痛患者中的应用研究

张安琪

(湖北大学 体育学院, 湖北 武汉 430062)

摘要: 本研究旨在探讨运动链理论在非特异性下腰痛 (NLBP) 患者中的应用价值。通过明确运动链的概念、分类及其与下腰痛的关联机制, 分析不同运动疗法的实践效果, 探究基于运动链的整体性训练对下腰痛的影响, 以及髋策略与踝策略的配合模式及其对运动表现的作用; 结合中国传统筋膜学相关理论, 为非特异性下腰痛的康复提供新的思路和方法。研究结果表明, 运动链理论为下腰痛康复提供了全新视角和技术路径, 开链运动与闭链运动的互补模式在临床实践中已显现应用价值, 而多种运动疗法的整合应用具备进一步研究的潜力。本研究存在一定局限性, 未来可从深化理论与发病机制研究、拓展运动疗法的种类和应用范围、加强康复方案的个性化和精准化制定等方面展开后续研究。

关键词: 运动链理论; 非特异性下腰痛; 康复方案

Application of Kinetic Chain Theory in Nonspecific Low Back Pain Rehabilitation

ZHANG An-qi

(School of Physical Education, Hubei University, Wuhan 430062, China)

Abstract: This study aims to explore the application value of kinetic chain theory in patients with Nonspecific Low Back Pain (NLBP). It clarifies the concept as well as classification of the kinetic chain and its mechanistic association with low back pain, analyzes the practical effects of different exercise therapies, investigates the impact of integrated training based on the kinetic chain on low back pain, and examines the coordination mode of hip and ankle strategies and their effect on motor performance. By integrating relevant theories of traditional Chinese fascial science, this research provides new ideas and methods for the rehabilitation of NLBP. The results show that kinetic chain theory offers a new perspective and technical path for NLBP rehabilitation. The complementary model of open-chain and closed-chain exercises has demonstrated application value in clinical practice, and the integrated application of various exercise therapies has the potential for further research. This study has certain limitations; future research can be carried out by deepening the research on theoretical foundations and pathogenesis, expanding the types and application scope of exercise therapies, and strengthening the personalized and precise formulation of rehabilitation protocols.

Key words: Kinetic chain theory; Non-specific Low Back Pain; Rehabilitation protocols

非特异性下腰痛 (Nonspecific Low Back Pain, NLBP)^[1] 在现代社会中发病率较高, 给患者的生活和工作带来极大困扰。下腰痛是指从第 12 肋骨延伸至臀褶区域的肌肉

骨骼疼痛, 有时可放射至大腿, 以腰背部、腰骶部及臀部的不适和疼痛为主要表现, 其本质是一种症状而非独立疾病^[2]。NLBP 的发病率达 7.6% ~ 37.0%, 终生患病

率高达84%，且呈现出年轻化、逐渐递增的趋势^[3]。

2020年北美脊柱协会(NASS)制定的非特异性下腰痛循证医学指南指出，运动疗法作为一种非侵入性治疗手段，已被广泛应用于缓解下腰痛患者的疼痛程度，受到越来越多的关注^[4]。运动疗法通过肢体运动和肌肉收缩发挥治疗作用，能够促进机体功能恢复，加速疾病痊愈进程，帮助患者重获生活自理能力与劳动能力。运动链理论作为运动疗法的重要理论基础之一，近年来逐步应用于肌骨系统疾病的康复领域，其在NLBP患者康复中的应用潜力显著^[5]。

运动链理论将人体视为由多个关节和肌肉构成的运动链，这些运动链通过关节和肌肉的连接及相互作用，协同完成各类动作。基于其传导性、整体性及生物力学效应，以该理论为指导的整体性治疗在患者功能恢复中的应用已引起研究者的关注。在NLBP患者的康复过程中，借助运动链理论的指导，可以更深入地理解腰痛的发病机制，制定个性化运动治疗方案，提升治疗效果。

NLBP患者的日常生活质量因疼痛、活动度下降等症状受到严重影响。运动链理论强调人体各关节和软组织在运动中的相互关联与相互影响，这种关联性在NLBP的发生发展中尤为突出^[6]。腰痛的产生往往涉及整个运动链的失衡，如久坐不仅会导致腰部肌肉力量减弱，还可能因椎间盘压力持续增高加速椎体退行性病变，同时影响臀腹部、髋部等部位的肌肉状态，打破相关肌群的平衡关系^[7]。通过对运动链的深入研究，可以更全面地揭示NLBP的发病机制；依据运动链理论制定个性化、整体化的康复方案，能够有效提高脊柱稳定性。深入挖掘运动链理论在NLBP康复中的独特价值，有助于为患者提供更具针对性的治疗方法，提升康复效果，改善其生活质量。

1 运动链理论基础

1.1 运动链的概念及应用

1955年，Steindler将“运动链”界定为由多个关节按顺序组成的复合运动单位。现代运动链理论认为，人体是由多个相互独立活动的关节及相互联系的组织构成的一系列链状结构，每个关节与组织均可视为人类运动链上的重要环节^[8]。根据运动过程中肢体关节的固定与活动特点，运动链可分为开链运动(Open Kinetic Chain, OKC)和闭链运动(Closed Kinetic Chain, CKC)两类。其中，OKC指肢体近端固定、远端关节活动的运动，如手持哑铃进行的肱二头肌训练；CKC指肢体远端固定、近端关节活动的运动，如俯卧撑等。在日常生活中，OKC与CKC通常不会单独出现，而是相互配合、协同完成人体

的各类运动动作。

1) 开链运动在康复中的应用

早期研究中，专家多认为CKC具有更高的安全性和功能性^[9]，随着相关研究的不断深入，OKC的训练价值也逐渐得到认可。常见的开链运动包括直腿抬高、游泳摆腿及羽毛球、网球运动中的挥拍动作等。当肢体因疼痛、肿胀、关节活动度下降、肌力异常等出现功能障碍，导致患侧肢体运动规律失常或无法承受自身重量时，OKC可以在确保安全的前提下，为肢体提供适度的压力刺激训练^[10]。在前交叉韧带损伤康复中，合理控制OKC的干预时机和阻力大小，能够改善术后疼痛、胫骨松弛状态和运动功能，但需注意术后早期不宜开展^[11]；在髌骨疼痛综合征患者中，通过OKC优先激活股直肌，可以协调股内外侧肌力，缓解疼痛并改善关节功能^[12]；在神经康复领域，OKC能够提高脑卒中患者患侧躯体股二头肌和股直肌的激活程度^[13]；近期有研究表明，睾酮治疗联合OKC抗阻训，对疗脊髓损伤后的骨丢失具有显著改善效果^[14]；在膝关节置换术后康复中，OKC能够诱导股四头肌更大程度的激活，有助于增强肌力、预防肌肉萎缩^[15]。OKC的运动稳定性相对较差，应用时需密切监控动作规范性，避免因动作错误引发二次损伤或不良体态。

2) 闭链运动在康复中的应用

CKC指肢体末端与地面或固定物接触并处于固定状态的运动，常见的闭链运动包括蹲起、弓箭步、臀桥等。髌骨疼痛综合征患者进行弓步训练时，股内外侧肌激活程度接近理想的1:1比例，有利于髌骨维持正确运动轨迹，减少膝关节弯曲时髌骨与股骨接触面的压力，减轻疼痛症状^[16]；与单纯膝关节锻炼相比，髌关节与膝关节协同锻炼对缓解疼痛症状的效果更为显著^[17]；对于反复过度运动引发的肩痛，CKC能够增加冈下肌活动度、降低三角肌后肌群活跃度，减轻肩袖肌腱所受压迫，有利于缓解疼痛感^[18]，并提高肩关节旋转峰值力矩，其中内旋肌力的提升有助于改善棒球运动员的发球速度^[19]；在神经康复领域，CKC能够提高脑卒中患者胫骨前肌和腓肠肌的激活水平，诱导膝踝关节周围肌肉参与运动，并为患肢提供重复性本体感觉输入^[20]。在全髌关节和全膝关节置换术的术后急性期，CKC作为一种患者可耐受的运动方式，能够加速康复进程^[21]；绝经后骨质疏松症的女性通过CKC锻炼，可以降低摔倒的风险^[22]；CKC可改善患者肩外展运动时的疼痛程度与功能障碍，同时维持腰椎稳定性^[23]。CKC的局限性主要表现为动作相对难以掌握，对患者的肌肉力量和神经肌肉募集控制能力要求较高，在部分场景下可能无法满足

单一肌肉的强化训练需求。

1.2 运动链与下腰痛的关联机制

运动链理论为探讨 NLBP 的康复提供了全面视角,运动链各环节相互关联,共同影响下腰痛的发生和发展,其中核心肌群、髋部肌群的功能状态及髋—踝协同机制,在维持腰椎稳定性中发挥关键作用。明确这些潜在关联,有助于制定更具针对性的康复方案。

1) 核心肌群在运动链中的关键作用

核心肌群是位于腹部和背部的深层肌肉群,如腹横肌、多裂肌等,其核心功能是脊柱提供必要稳定性,以支撑身体重量、抵抗外力冲击,在运动协调和力量传递中扮演枢纽角色,其稳定性直接影响力量的产生和传递效率。当核心肌群力量不足或协调性欠佳时,不仅会降低运动表现,还可能导致腰部应力异常增加;长期久坐人群的核心肌群缺乏有效锻炼,肌力减弱后无法为脊柱提供充足支撑,使得腰部肌肉长期处于紧张状态,久而久之易引发下腰痛^[24]。在进行快速或复杂动作时,核心肌群需迅速做出响应,以适应不断变化的外部环境和内部力量负荷,从而保护脊柱免受过度负荷和潜在损伤^[25]。这种动态稳定性是核心肌群在运动链中的关键功能,因此核心肌群训练不仅需注重力量和耐力提升,还应强调神经肌肉协调性和反应速度地训练,以实现全面的核​​心稳定性和功能改善^[26]。核心肌群的有效激活对于维持正确体态、降低运动过程中的损伤风险至关重要,强化核心肌群功能已成为 NLBP 预防和康复的重要策略。

2) 髋部与下腰痛的运动链关系

髋关节作为下肢与躯干的连接桥梁,其稳定性和灵活性对腰椎的生物力学状态具有直接影响。研究显示,NLBP 患者常伴随髋部肌群力量减弱及活动度受限的问题^[27]。髋关节活动度降低可能导致腰椎过度代偿,增加腰椎的负荷,引发或加剧下腰痛症状^[28];髋部肌群无力则可能导致骨盆稳定性下降,影响腰椎稳定性,尤其在髋关节需大幅度屈伸的动作中表现更为明显^[29]。髋关节过度旋转可能改变骨盆和腰椎的正常力线对齐,诱发腰部及骨盆疼痛^[30]。髋部肌群训练不仅能够提升髋关节的稳定性和灵活性,还能通过改善运动链的生物力学效应,减轻腰椎的压力。针对性的髋部肌群训练可以显著改善慢性下腰痛患者的疼痛程度和身体功能^[31],而将髋部肌群训练与筋膜松解治疗相结合,能够更有效得提升患者身体协调能力,这与髋部肌群激活顺序的改善密切相关^[32]。通过髋关节稳定性练习、功能性训练等特定康复手段,增强髋部肌群力量、改善髋关节活动度,减轻下腰痛症状,提高腰椎稳定性及整体运动链功能^[33]。

3) 髋关节与踝关节的协同

髋—踝协同是运动链中维持腰椎稳定性的关键机制。踝背屈受限会导致步态中髋关节代偿性过伸,使腰椎前凸角度增大,并增加 L4 至 L5 节段剪切力;髋外展肌群力量不足时,骨盆倾斜需通过踝关节过度旋前代偿,这会进一步加剧腰椎旋转负荷^[34]。NLBP 患者在单腿站立任务中,髋关节内收力矩与踝跖屈力矩的协同效率显著降低,提示髋—踝动力链协调性下降是下腰痛的重要诱因^[35],也表明优化髋—踝协同可降低腰椎代偿负荷。基于这一协同机制,综合干预策略需兼顾力量强化与灵活性训练。例如,抗阻蚌式开合训练可提升臀中肌激活率,踝关节灵活性训练可改善背屈角度、减少步态代偿^[36]。临床数据显示,接受髋—踝联合训练的患者,6 个月复发率显著低于单一训练组;若在训练中整合平衡训练,还可同步提升髋—踝神经肌肉协调性,使患者平衡能力得到明显改善^[37]。这表明通过重构运动链协同性,能够有效提升 NLBP 患者的功能表现,改善长期预后。

2 运动链理论在非特异性下腰痛康复中的具体应用

2.1 不同运动疗法的实践分析

1) 腰椎运动链训练系统

腰椎运动链训练系统以麦肯基(McKenzie)技术为指导框架,主要应用于腰椎间盘突出症患者术后康复方案设计,核心目标是改善腰椎功能、优化腰椎生物力学特性。该系统基于运动链理论,强调整体性治疗原则,通过分期康复训练,逐步恢复患者腰椎稳定性并减轻疼痛^[38]。麦肯基疗法能够促进腰椎间盘突出患者髓核归位,减轻神经压迫,恢复腰椎正常力学结构,缓解下腰痛。研究证实,腰椎运动链训练系统能够显著提高患者腰背肌生物力学参数和腰椎肌力平衡,在缓解术后疼痛、恢复下肢步态功能和改善腰椎整理功能方面效果显著^[39]。该训练模式针对患者不同康复时期的病理特征,采用由易到难、由单侧到双侧,分步推进、全面协调的训练方式,逐步恢复患者肌肉力量;训练过程中注重核心肌群锻炼,长期坚持可明显增强肌力,改善腰椎血液循环,减轻腰椎疼痛、恢复腰椎功能,最终实现脊柱稳定的目标^[5]。

2) 医疗体操与普拉提的综合康复效果

医疗体操和普拉提是 NLBP 康复中广泛应用的运动疗法,通过增强核心肌群力量、改善脊柱稳定性、提高身体整体协调性,达到减轻疼痛、恢复身体功能的目的。

医疗体操(medical gymnastics)作为体育医疗的重要形式,可用于相关疾病的预防或功能恢复,其形式丰富

多样,通常包括一系列针对性伸展和强化练习,旨在提高腰背部肌肉的力量和耐力^[40]。医疗体操能够显著改善 NLBP 患者的疼痛程度和功能障碍,相较于非甾体抗炎药,更易被大众接受,且康复效果确切^[41]。常见的医疗体操形式包括桥式运动、太极拳等,通过不同运动形式的交替使用、协调配合,结合呼吸训练,能够有效减轻患者疼痛、强化躯干肌肉肌力与耐力、缓解软组织牵张不适,减少日常活动受限情况^[42]。

普拉提训练是静态和动态拉伸运动的有效结合,侧重于核心肌群的控制能力和协调性培养,在需要对软组织进行缓慢拉伸的场景中,普拉提通过改变高尔基肌腱细胞的感知状态,实现对肌肉的有效控制^[43]。同时,该训练注重呼吸调节,能够促进核心肌群等关键肌群的激活。下腰痛患者常伴随平衡功能减退,而普拉提可以提高机体的本体感觉和肌力,从而提高人体的平衡能力^[44]。与单纯的躯干力量训练相比,普拉提训练对减轻慢性 NLBP 女大学生的腰部疼痛效果更为显著,还能够提高躯干伸肌肌力、改善屈伸肌力量失衡状况,增强闭眼状态下的动态平衡能力^[45]。因此,综合应用医疗体操和普拉提训练,可充分发挥两种方法的优势,实现更全面的康复效果。

3) 功能性训练

功能性训练是以提高身体功能、运动能力和生活质量为目标的训练方法,近年来在康复医学和运动医学领域得到广泛应用。其核心要义在于通过一系列科学设计的动作和练习,改善身体运动模式,增强肌肉力量和关节稳定性,达到预防运动损伤、缓解慢性疼痛、提升整体运动表现、提高患者生活质量的效果。有学者指出,与功能相关的锻炼不应仅专注于单一部位的肌肉力量提升,而需与运动模式训练相结合,才能获得更优的训练效果,因此功能性训练属于一种全面的动作锻炼模式^[46]。该训练模式更加强调患者的主动参与,通过持续训练增强身体自我调节和恢复能力,这种主动的训练不仅有助于缓解当前疼痛症状,还能有效预防下腰痛复发。因此,功能性训练不仅是一种有效的治疗手段,更是一种长期的健康管理策略。

在 NLBP 治疗中,功能性训练展现出显著优势,能够有效改善腰痛患者的疼痛程度、躯干活动范围及背伸肌肌力^[47]。有研究针对核心肌群功能性训练与下腰痛的关联展开探究,进一步证实了核心肌群在缓解下腰痛中的重要作用,也印证了功能性训练的康复优势^[48]。我国学者针对功能性训练对长期缺乏锻炼老年人下腰痛的影响进行研究,证实了以自重训练为代表的功能性康复方法具有可行性^[49]。

2.2 基于运动链的康复方案设计

综合患者的身体状况、疼痛程度、运动能力等因素,可制定最适合患者的康复方案。基于运动链理论的综合康复方案设计需遵循整体性、个体化、动态调整原则,通过多维度要素的协同整合,实现 NLBP 患者功能恢复的最大化。

1) 多模态运动疗法的协同整合

运动链的整体性特征,要求综合运用多种疗法,以打破局部代偿链并重建动力传导路径。例如,医疗体操与普拉提可形成互补:前者通过飞燕式动作强化竖脊肌局部肌力,后者的百次呼吸训练可提升腹横肌—多裂肌的协同收缩能力^[45];将筋膜松解与髋部肌群训练相结合,能改善慢性 NLBP 患者的髋部肌群肌力、耐力及关节活动度,提高患者身体协调能力^[32]。

2) 训练强度的个性化调整

运动链理论强调人体动力链的传导性与代偿性,康复强度的选择需与患者的疼痛程度、核心肌群状态及运动链失衡模式相匹配。低强度训练可通过降低腰部肌肉张力,缓解急性期疼痛^[31],中高强度动态 CKC 能够通过增强髋—腰—踝动力链的协同性,改善慢性期患者的腰椎稳定性^[5]。在实践中,急性期患者可采用低负荷、高重复次数的训练模式,如仰卧位屈膝呼吸训练结合麦肯基疗法中的俯卧伸展动作,以减轻椎间盘压力^[38];慢性期可引入渐进式抗阻训练,如进行弹力带分腿蹲,阻力值可设置为患者最大自主收缩力的 60% ~ 70%^[39]。

3) 运动频率与周期的科学规划

运动频率的设定需兼顾功能恢复需求与组织修复规律,避免过度训练引发二次损伤。世界卫生组织(WHO)建议,慢性疼痛患者每周进行 3 ~ 5 次、每次 30 ~ 60 分钟的中等强度运动^[2]。康复初期每周开展 3 次训练,交替进行医疗体操和低强度普拉提,之后逐渐增加至每周 4 ~ 5 次,并引入功能性训练(如单腿硬拉,以提升髋—腰链协调性),同时辅以筋膜球松解阔筋膜张肌^[32]。此外,应避免连续进行高强度 CKC,防止肌肉疲劳累积导致腰椎代偿性过伸^[23]。

4) 康复方案的实施与调整

在康复方案实施过程中,应密切关注患者的身体反应和康复进展,及时调整方案,以保障患者健康并提高康复效果。通过主客观指标的综合评估,实时追踪患者的疼痛程度与功能状态:患者初期可能出现正常的肌肉酸痛、疲劳等不适,若症状过于严重,应适当降低训练强度和频率,避免代偿性损伤^[25]。对于疼痛加剧的患者,需暂停高负荷 CKC,转为低强度 OKC,以减轻腰椎压力^[38]。可根据患者康复情况,逐步增加训练强度和难

度;对于功能恢复处于平台期的患者,可引入振动训练,通过不稳定平面激活深层稳定肌群,打破康复瓶颈^[26],结合筋膜松解技术则可进一步降低筋膜粘滞性,改善髌—腰链协同性^[35]。

5) 指标与多种评估方法的综合应用

常用的评估指标包括腹直肌、腹横肌等核心肌群的肌力、耐力测试,以及脊柱稳定性测试等。表面肌电(sEMG)技术通过量化腹横肌与多裂肌的激活率,可以测量核心肌群在不同动作下的电活动,客观反映核心肌群的神经肌肉控制能力^[50]。压力生物反馈仪通过监测腹内压变化评估核心稳定性,研究表明其与sEMG数据呈显著正相关^[51]。动态评估方面,改良版星形偏移平衡测试(mSEBT)通过量化躯干侧向控制距离,可以有效区分NLBP患者与健康人群,且与Oswestry功能障碍指数呈显著负相关^[52]。上述指标经多维度验证,为运动链康复效果的精准评估提供了科学依据。

综合应用多维评估方法可避免单一指标的局限性。联合sEMG与惯性传感器技术,能够同步分析核心肌群激活模式与脊柱运动学参数^[52]。功能性动作筛查结合压力中心轨迹分析,可揭示NLBP患者在动态任务中的代偿策略^[53]。临床实践中采用sEMG+平衡测试+Y平衡测试组合方案,可显著降低误判风险,为个体化康复方案制定提供多维度数据支持^[54]。综合评估体系通过整合生物力学与神经肌肉数据,能够减少评估时间和成本,提高康复效果与效率。

3 筋膜理论应用

3.1 中国传统筋膜学的理论基础与NLBP的关联

中国传统筋膜学源于《黄帝内经》“十二经筋”理论,认为人体筋膜网络通过“结”“聚”“布散”的形式连接骨骼、肌肉与内脏,形成动态的功能链,其病理改变与慢性疼痛密切相关^[55]。现代研究表明,筋膜不仅是力传导的载体,还参与本体感觉传递与代谢调节。NLBP患者的腰背筋膜常存在黏滞性增高、滑动受限等问题,导致局部微循环障碍与疼痛信号放大^[56]。中医“带脉”与腹横筋膜、腰背筋膜的解剖分布一致,“足太阳膀胱经”循行路径与后表链高度重合^[55]。NLBP患者的腰背筋膜与多裂肌、臀大肌的筋膜连接因长期代偿出现挛缩,引发筋膜—肌肉协同性失衡^[32]。针刺“肾俞”“大肠俞”等穴位,可通过调节筋膜张力改善多裂肌的激活效率^[57]。这些理论为筋膜干预在NLBP康复中的应用提供了依据。

3.2 筋膜干预技术在NLBP康复中的临床应用

中国传统筋膜学以松解粘连、恢复滑动为目标。针刀浅筋膜松解术通过力学切割与振动刺激,可有效降低

腰背筋膜的黏弹性阻力,改善局部血流与淋巴循环^[58]。肌筋膜松解疗法能够提高慢性NLBP患者的疼痛阈值,改善腰椎关节活动度,患者的负性心理状态也会有所缓解,且安全性较好;筋膜链理论指导下的全身性干预可减少腰椎代偿负荷,复发率较单一训练组更低^[59]。通过进一步探索筋膜—神经—肌肉的交互机制,推动多学科交叉与中西医结合的干预策略,中国传统筋膜学有望为NLBP康复提供更精准有效的解决方案。

4 结论与展望

4.1 研究结论

本研究系统探讨了运动链理论在NLBP康复中的应用价值,得出以下结论:运动链理论通过核心—髌—踝动力链的协同机制,揭示了NLBP的发病与腰椎代偿负荷、核心稳定性下降及髌踝协同失衡的密切关联;开链运动与闭链运动的互补应用可分别针对局部肌群激活与整体动力链重建,显著改善患者疼痛与功能障碍;多种运动疗法的整合应用通过增强核心肌群耐力、提升脊柱稳定性及改善神经肌肉协调性,降低患者疼痛感,优化腰椎功能障碍指数;基于运动链的个性化康复方案,如分阶段强度调整、多疗法协同作用等,可降低患者复发率;中国传统筋膜学与运动链理论存在高度契合,其通过降低筋膜黏滞性、恢复腰背筋膜滑动性等方式提升腰椎活动度,减轻患者症状。

4.2 研究展望

深化运动链理论与下腰痛发病机制的研究,进一步探索核心肌群、髌部、踝部等在运动链中的作用机制及其相互影响导致下腰痛发生的具体路径;构建运动链生物力学模型,用于预测不同干预策略的代偿风险;拓展运动疗法的种类和应用范围,引入如功能性训练、水上运动疗法等创新疗法,将运动疗法与心理治疗、中医康复等方法相结合,强化学科交叉,推动中西医结合康复方案的制定;探索不同康复方法间的协同作用,制定综合康复方案,为患者提供更全面的康复服务;针对患者病情和身体状况的个体差异,加强个性化、精准化康复方案的制定,尤其关注老年人、孕妇、运动员等特殊人群,通过定制化运动方案满足不同人群的康复需求;借助可穿戴设备实时监测患者运动状态和生理指标,依据数据反馈及时调整康复方案;建立康复数据库,收集海量患者康复数据并展开数据分析与挖掘,为制定更科学、有效的康复方案提供参考。

参考文献

- [1] Belache F T C, de Souza C P, Fernandez J, et al.

Trial Protocol: Cognitive functional therapy compared with combined manual therapy and motor control exercise for people with non-specific chronic low back pain: protocol for a randomised, controlled trial [J]. *Journal of physiotherapy*, 2018, 64 (3): 192.

[2] Vlaeyen J W S, Maher C G, Wiech K, et al. Low back pain [J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2018, 4 (1): 52.

[3] Hrkać A, Bilić D, Černy-Obrdaj E, et al. Comparison of supervised exercise therapy with or without biopsychosocial approach for chronic nonspecific low back pain: a randomized controlled trial [J]. *Bmc musculoskeletal disorders*, 2022, 23 (1): 966.

[4] 施玉博, 郭卫春, 余铃. 非特异性下腰痛: 北美脊柱协会 (NASS) 循证医学指南解读 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2021, 35 (10): 1336-1340.

[5] 高健, 李伟. 腰椎运动链训练系统对腰椎间盘突出症患者术后腰椎功能与生物力学的影响 [J]. *应用力学学报*, 2024, 41 (2): 477-484.

[6] 段建军, 闫志宇, 郭铁军. 肌骨系统机械传导链理论 [J]. *中医正骨*, 2019, 31 (11): 38-39, 43.

[7] Tsigkanos C, Gaskell L, Smiriotou A, et al. Static and dynamic balance deficiencies in chronic low back pain [J]. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*, 2016, 29 (4): 887-893.

[8] 刘展. 人体动作模式和运动链的理念在运动损伤防护和康复中的应用 [J]. *成都体育学院学报*, 2016, 42 (6): 1-11.

[9] Fitzgerald G K. Open versus closed kinetic chain exercise: issues in rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstructive surgery [J]. *Physical therapy*, 1997, 77 (12): 1747-1754.

[10] Karandikar N, Vargas O O O. Kinetic chains: a review of the concept and its clinical applications [J]. *Pm & r*, 2011, 3 (8): 739-745.

[11] Andersson D, Samuelsson K, Karlsson J. Treatment of anterior cruciate ligament injuries with special reference to surgical technique and rehabilitation: an assessment of randomized controlled trials [J]. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 2009, 25 (6): 653-685.

[12] Stensdotter A K, Hodges P, Mellor R, et al. Quadriceps activation in closed and in open kinetic chain exercise [J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*,

2003, 35 (12): 2043-2047.

[13] Gray V L, Ivanova T D, Garland S J. A single session of open kinetic chain movements emphasizing speed improves speed of movement and modifies postural control in stroke [J]. *Physiotherapy Theory and Practice*, 2016, 32 (2): 113-123.

[14] Holman M E, Chang G, Ghatas M P, et al. Bone and non-contractile soft tissue changes following open kinetic chain resistance training and testosterone treatment in spinal cord injury: An exploratory study [J]. *Osteoporosis International*, 2021, 32: 1321-1332.

[15] Boccia G, Martinez-Valdes E, Negro F, et al. Motor unit discharge rate and the estimated synaptic input to the vasti muscles is higher in open compared with closed kinetic chain exercise [J]. *Journal of Applied Physiology*, 2019, 127 (4): 950-958.

[16] Irish S E, Millward A J, Wride J, et al. The effect of closed-kinetic chain exercises and open-kinetic chain exercise on the muscle activity of vastus medialis oblique and vastus lateralis [J]. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2010, 24 (5): 1256-1262.

[17] van der Heijden R A, Lankhorst N E, van Linschoten R, et al. Exercise for treating patellofemoral pain syndrome [J]. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2015 (1).

[18] Kang M H, Oh J S, Jang J H. Differences in muscle activities of the infraspinatus and posterior deltoid during shoulder external rotation in open kinetic chain and closed kinetic chain exercises [J]. *Journal of physical therapy science*, 2014, 26 (6): 895-897.

[19] Lee D R, Kim L J. Internal-and external-rotation peak torque in little league baseball players with subacromial impingement syndrome: Improved by closed kinetic chain shoulder training [J]. *Journal of Sport rehabilitation*, 2016, 25 (3): 263-265.

[20] Lee N K, Kwon J W, Son S M, et al. The effects of closed and open kinetic chain exercises on lower limb muscle activity and balance in stroke survivors [J]. *NeuroRehabilitation*, 2013, 33 (1): 177-183.

[21] Abbas C, Daher J. Pilot study: post-operative rehabilitation pathway changes and implementation of functional closed kinetic chain exercise in total hip and total knee replacement patient [J]. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 2017, 21 (4): 823-829.

- [22] Thabet A A E M, Alshehri M A, Helal O F, et al. The impact of closed versus open kinetic chain exercises on osteoporotic femur neck and risk of fall in postmenopausal women [J]. *Journal of physical therapy science*, 2017, 29 (9): 1612-1616.
- [23] Kostadinović S, Milovanović N, Jovanović J, et al. Efficacy of the lumbar stabilization and thoracic mobilization exercise program on pain intensity and functional disability reduction in chronic low back pain patients with lumbar radiculopathy: A randomized controlled trial [J]. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 2020, 33 (6): 897-907.
- [24] O'Sullivan P B, Burnett A, Floyd A N, et al. Lumbar repositioning deficit in a specific low back pain population [J]. *Spine*, 2003, 28 (10): 1074-1079.
- [25] 孙良彬. 非特异性腰痛患者行核心稳定性运动的多指标疗效评价 [J]. *颈腰痛杂志*, 2019, 40 (5): 607-610.
- [26] Kennedy D J, Noh M Y. The role of core stabilization in lumbosacral radiculopathy [J]. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics*, 2011, 22 (1): 91-103.
- [27] Pourahmadi M, Asadi M, Dommerholt J, et al. Changes in the macroscopic morphology of hip muscles in low back pain [J]. *Journal of anatomy*, 2020, 236 (1): 3-20.
- [28] Pourahmadi M R, Takamjani I E, Jaberzadeh S, et al. Test-retest reliability of sit-to-stand and stand-to-sit analysis in people with and without chronic non-specific low back pain [J]. *Musculoskeletal Science and Practice*, 2018, 35: 95-104.
- [29] Rothbart B A, Hansen K, Liley P, et al. Resolving chronic low back pain: the foot connection [J]. *Am J Pain Manage*, 1995, 5 (3): 84-90.
- [30] Vaswani R, White A E, Feingold J, et al. Hip - spine syndrome in the nonarthritic patient [J]. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 2022, 38 (10): 2930-2938.
- [31] Owen P J, Miller C T, Mundell N L, et al. Which specific modes of exercise training are most effective for treating low back pain? Network meta-analysis [J]. *British journal of sports medicine*, 2020, 54 (21): 1279-1287.
- [32] 王程. 髋部肌群训练结合筋膜松解干预非特异性下腰痛患者的疗效研究 [D]. 曲阜: 曲阜师范大学, 2021.
- [33] Macedo L G, Maher C G, Latimer J, et al. Motor control exercise for persistent, nonspecific low back pain: a systematic review [J]. *Physical therapy*, 2009, 89 (1): 9-25.
- [34] 朱晓敏, 刘元旻, 杜雪晶, 等. 功能性伸展测试临床应用进展 [J]. *中国康复理论与实践*, 2021, 27 (5): 583-587.
- [35] 罗春, 王宁华, 谢斌. 脊柱核心稳定控制系统的研究进展 [J]. *中国康复医学杂志*, 2016, 31 (9): 1022-1027.
- [36] 王雪强, 陈佩杰, 矫玮, 等. 运动疗法治疗腰痛的专家共识 [J]. *体育科学*, 2019, 39 (3): 19-29.
- [37] Chinpeerasathian C, Chenboonthai W, Pensri P. Comparison of Different Kinematic Values of Lower Extremities during Gait between Individuals with Chronic Non-Specific Low Back Pain and Healthy Persons [J]. *Journal of the Medical Association of Thailand*, 2023, 106 (9).
- [38] 樊娟, 张建锋, 董宪杰. 基于麦肯基技术的腰椎运动链训练对腰椎间盘突出症PTED术后患者的效果观察 [J]. *医学理论与实践*, 2022, 35 (14): 2508-2509, 2473.
- [39] 吕振, 白金柱. 基于McKenzie技术的腰椎运动链训练应用于腰椎间孔镜术后分期康复的前瞻性研究 [J]. *中国组织工程研究*, 2021, 25 (9): 1398-1403.
- [40] 李树林, 徐桂贞, 韩宏飞. 论体操的内容与分类 [J]. *北京体育大学学报*, 2001 (3): 424-426.
- [41] Leiss H, Hucke M, B é c è de M, et al. Effects of a brief workplace-centered consultation for employees with musculoskeletal pain on health outcomes: A prospective cohort study [J]. *Scientific Reports*, 2019, 9 (1): 5867.
- [42] 邢天洋, 孙桂政, 邱继文. 医疗体操在下腰痛康复中的应用研究进展 [J]. *按摩与康复医学*, 2019, 10 (24): 1-3.
- [43] 苏愉钦, 赵倩. 普拉提对慢性非特异性下背痛患者的干预效果研究 [J]. *体育科技文献通报*, 2021, 29 (6): 61-64.
- [44] Vlazna D, Krkoska P, Sladeckova M, et al. Trunk muscle dysfunction in patients with myotonic dystrophy type 2 and its contribution to chronic low back pain [J]. *Frontiers in Neurology*, 2023, 14: 1258342.
- [45] 杨梅, 陈安平, 王晶晶, 等. 普拉提和躯干力量

训练对女大学生慢性非特异性腰痛的疗效比较[J]. 医用生物力学, 2024, 39(5): 946-953.

[46] Yuan K, Wang X, Chen C, et al. Interhemispheric functional reorganization and its structural base after BCI-guided upper-limb training in chronic stroke[J]. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2020, 28(11): 2525-2536.

[47] 雷林峰. 功能性训练改善非特异性腰痛人群的疗效研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2023.

[48] 郭湄. 核心稳定性训练对非特异性腰痛疗效的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(1): 88-90.

[49] 李小兰, 肖瑶, 杨利红. 功能性训练对中年久坐人群下腰背痛康复效果研究[J]. 四川体育科学, 2020, 39(3): 36-39.

[50] 丁其川, 熊安斌, 赵新刚, 等. 基于表面肌电的运动意图识别方法研究及应用综述[J]. 自动化学报, 2016, 42(1): 13-25.

[51] Turkmen C, Harput G, Kinikli G I, et al. Correlation of force sense error test measured by a pressure biofeedback unit and EMG activity of quadriceps femoris in healthy individuals[J]. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2019, 49: 102366.

[52] Onofrei R R, Amaricai E, Petroman R, et al. Relative and absolute within-session reliability of the modified

Star Excursion Balance Test in healthy elite athletes[J]. PeerJ, 2019, 7: e6999.

[53] 易成莉. 基于功能性动作筛查的纠正训练对慢性非特异性腰痛的疗效研究[D]. 武汉: 武汉体育学院, 2024.

[54] 苏朕鑫, 杨贤罡, 何文革. 运动人群动态平衡能力测试: YBT的产生及发展[J]. 中国运动医学杂志, 2021, 40(9): 737-744.

[55] 郭少卿, 徐基民, 马彦韬, 等. 基于筋膜触发点的研究探讨针灸穴位和经络本质[J]. 中国针灸, 2021, 41(6): 633-640.

[56] 葛欢, 张鹏, 孙武东, 等. 筋膜手法的作用机制及在非特异性腰痛康复中的应用进展[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(2): 237-240.

[57] 李宗伟, 徐恣, 徐佳静. 《黄帝内经》六经辨治理论针刺补泻手法治疗腰痛的临床疗效观察[J]. 中华中医药杂志, 2023, 38(10): 5095-5098.

[58] 高春雨, 王宝剑, 金哲峰, 等. 针刀浅筋膜松解术联合神经根阻滞治疗腰椎间盘突出症的临床研究[J]. 中国中医基础医学杂志, 2020, 26(3): 369-371.

[59] 冉清智, 李傲霜, 陈恒文, 等. 肌筋膜松解疗法干预慢性非特异性下腰痛疗效的随机对照研究[J]. 中国全科医学, 2024, 27(20): 2451-2457.