

·综述·

功率自行车运动治疗膝骨关节炎的临床研究进展*

王小逸^{1,2} 谢苏杭^{1,2} 何成奇^{1,2,3}

骨关节炎(osteoarthritis, OA)是由关节软骨退变、纤维化,软骨下骨硬化、囊变,关节边缘骨赘形成,滑膜炎增生等引起的关节慢性疾病。发病率随着人口老龄化和肥胖的增加而增长^[1]。OA是导致疼痛、关节活动受限以及残疾的主要原因^[2],其中膝关节最常受累^[3]。根据中国健康与养老追踪调查研究(China Health and Retirement Longitudinal Study, CHARLS)的结果显示,我国45岁以上中老年人膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)的患病率高达8.8%,女性高于男性,此疾病不仅给个人还给国家保健和公共卫生系统带来了严重的负担,甚至大于高度发达的地区,如北美^[4]。

2019年国际骨关节炎研究学会(Osteoarthritis Research Society International, OARSI)发布的OA非手术治疗指南^[5]、美国类风湿病协会/关节炎基金会(American College of Rheumatology/Arthritis Foundation, ACR/AF)发布的OA治疗指南^[6]以及欧洲骨质疏松、骨关节炎及肌肉骨骼疾病临床与经济学学会(the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases, ESCEO)发布的膝关节OA临床管理路径^[7]均推荐运动疗法为骨关节炎的核心治疗方法。目前,有氧运动除了步行常广泛应用于KOA的治疗外^[6],功率自行车的应用也逐渐增加^[8-12]。功率自行车运动可以缓解中早期(即Kellgren-Lawrence分级为I—Ⅲ级)KOA患者的膝关节疼痛和僵硬,改善膝关节运动功能,增强下肢肌肉力量,改善步行功能,提高患者有氧运动能力及心血管功能,减少手术次数^[8-19];但目前对功率自行车运动缓解KOA患者疼痛、关节僵硬、改善关节及心血管功能的机制尚不明确,且治疗方案缺乏统一性,因此就以上问题展开叙述^[8-18]。

1 功率自行车概述

功率自行车(cycle ergometer, power cycling)又称固定自行车(stationary bike),是常用的有氧运动方法之一。它是利用现有健身自行车的结构,受试者通过转动中轴曲柄带动主动同步带轮和同步带,从而带动被动同步带轮及摩擦轮同向转动,受试者须克服摩擦轮的摩擦阻力做功,从而达到锻

炼的目的,车轮阻力可调节并可保持恒定,座椅高度及车把位置都可以调整^[20]。功率自行车常用于心肺功能测试^[21]、髌、膝关节置换术后^[22]、冠心病或心脏术后^[23]、慢性阻塞性肺疾病^[24]等疾病的康复,同时,还可以改善帕金森患者的冻结步态^[25]、偏瘫患者的下肢运动功能和平衡功能^[26],降低血压、甘油三酯及体重,减少心血管疾病的发生等^[27-29]。1999年,Mangione KK等^[30]首次将功率自行车应用于KOA患者,高强度功率自行车组的运动强度为70%的储备心率(heart rate reserve, HRR),低强度组的运动强度为40%HRR,两组每次训练时间均为25min,每周进行3次训练并持续10周,结果发现功率自行车运动可以改善KOA受试者膝关节的运动功能及步行能力、减轻疼痛并提高有氧运动能力,功率自行车可以作为KOA患者的运动方式,且低强度和高强度功率自行车训练具有同样效果。随着研究的深入,更多证据表明功率自行车可以安全有效地应用于KOA患者的康复中^[19,31-32]。

2 功率自行车运动对KOA患者疼痛的影响

2.1 对疼痛的影响

研究表明,功率自行车训练可以减轻KOA患者的疼痛。Lund M等^[15]采用随机对照设计,将30例轻、中度KOA受试者随机分成功率自行车组 and 对照组(力量训练组),每周训练2次并持续12周,采用口头数字量表(verbal numeric scale, VNS)对疼痛进行评估,结果显示功率自行车组的疼痛评分较对照组有所降低。Kabiri S等^[12]设计了一个临床随机对照试验探究阻力训练联合有氧训练对KOA患者疼痛及功能的影响:将纳入研究的78例KOA受试者随机分成3组,联合功率自行车训练组、联合跑步机训练组、联合手摇车训练组,每次训练时间为30min,运动强度采用自觉用力程度分级表(Borg Rating of Perceived Exertion scale, RPE)进行评估,每次训练的RPE得分11—13分,每周进行3次训练并持续12周,采用视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)及膝关节损伤与骨关节炎评分(knee injury and osteoarthritis outcome score, KOOS)的疼痛评分对疼痛进行综

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.09.021

*基金项目:四川省科学技术厅(20YYJC3320, 2020YJ0210);四川大学华西医院(ZYGD18018)

1 四川大学华西医院康复医学中心,四川省成都市,610041; 2 康复医学四川省重点实验室/华西医院康复医学研究所; 3 通讯作者
第一作者简介:王小逸,女,初级治疗师,硕士研究生; 收稿日期:2021-05-25

合评估,结果显示3组疼痛评分较试验前均显著降低。Luan L等^[33]的一项关于功率自行车的Meta分析结果表明,功率自行车干预后西安大略和麦克马斯特大学骨关节炎指数(The Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, WOMAC)中的疼痛评分及KOOS疼痛评分均显著降低。

2.2 改善作用机制

目前,关于功率自行车运动缓解疼痛的机制尚没有统一论,以下几种调节机制可能与疼痛控制有关:脑结构和功能的重塑、认知和行为疗法、免疫机制和炎症反应、关节软骨挤压、下肢负重减少。

2.2.1 脑结构和功能的重塑:王增平^[13]关于膝骨关节炎运动康复的中枢神经机制研究表明,功率自行车运动可改善KOA受试者的KOOS疼痛评分,减轻KOA受试者的疼痛症状与疼痛调节的脑区体积的变化有关,灰质体积增大的脑区主要为右侧中央前回、右侧中央后回、额上回、海马和海马旁回等脑区,且疼痛症状的改善与双侧辅助运动区、双侧中央前回、双侧额上回、右侧海马、右侧海马旁回、右侧丘脑呈正相关,即疼痛改善越明显,上述区域灰质体积越大。这可能是KOA疼痛的调节中枢机制之一。Liu等^[9]采用随机对照试验探究不同运动方式对缓解KOA患者疼痛的调节机制表明,功率自行车运动可显著改善受试者的疼痛症状可能与辅助运动区(supplementary motor area, SMA)的灰质体积增加有关,通过直接调节SMA来调节运动控制系统,运动时将注意力转移到运动/姿势上,从而有助于缓解疼痛。同时, Liu等^[10]还发现功率自行车运动可降低导水管周围灰质(periaqueductal grey, PAG)和双侧眶内侧前额叶皮层(medial orbital prefrontal cortex, MOPFC)的静息态功能连接度(resting state functional connectivity, rsFC),降低左侧腹侧被盖区(ventral tegmental area, VTA)和背外侧前额叶(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)的rsFC, rsFC的降低与膝关节疼痛改善相关,通过同时调节参与阿片能下降通路、奖励/动机系统的大脑区域(PAG和VTA),从而缓解KOA受试者的疼痛。

2.2.2 认知和行为疗法:Liu J等^[9-10]的研究还表明:功率自行车运动可显著增加DLPFC与前扣带回皮层区(anterior cingulate cortex, ACC)之间的rsFC, DLPFC是认知控制网络的关键区域, ACC是注意力调节和边缘系统的关键区域,运动可以调节DLPFC,并通过下行疼痛调节系统以及与情绪(杏仁核)和疼痛(岛叶)相关的大脑区域来加强认知和自我调节,从而缓解疼痛。同时,功率自行车运动可增加SMA体积,而DLPFC-SMA都参与认知情绪调节,缓解疼痛。

2.2.3 免疫机制和炎症反应:Liu J等^[9-10]还发现功率自行车运动可增加血清炎症标记物程序性细胞死亡蛋白-1(programmed cell death protein 1, PD-1)的浓度, VTA-MOPFC

的rsFC降低与PD-1浓度呈显著负相关,其抗免疫功能可能在运动后的疼痛缓解中起到调节作用。同时,功率自行车运动还可调节血清干扰素- γ (interferon gamma, IFN- γ)的浓度,相关免疫途径的调节也可能是KOA患者缓解疼痛的潜在机制之一。在此之前, Alkatan M等^[17]也发现功率自行车运动可通过降低血清炎症标志物白细胞介素-6(interleukin-6, IL-6)减少炎症反应从而缓解疼痛。

2.2.4 关节软骨挤压:Luan L等^[33]的Meta分析则认为功率自行车运动缓解疼痛的机制是由于关节软骨在运动期间被反复挤压然后复位,这种循环挤压-复位可以促进软骨内营养物质的交换,增加关节内的血液循环,从而有助于消除炎症并缓解疼痛。

2.2.5 下肢负重减少:功率自行车属于低负荷运动^[26-27]。功率自行车运动能有效减轻体重,从而减轻膝关节负荷^[34];同时,在功率自行车运动时,通过调整座椅高度改变膝关节屈曲角度,使患者在运动中保持稳定的运动姿势,减少膝关节间的作用力及负荷,从而减轻疼痛^[35]。但若在运动中,膝关节对位不良有可能增加胫股关节间作用力,加重KOA症状,甚至损伤膝关节^[36]。

3 功率自行车运动对KOA患者关节僵硬的影响

3.1 对关节僵硬的影响

目前,关于功率自行车运动是否可以改善KOA患者关节僵硬尚没有统一论。Liu J等^[9]的一项临床随机对照试验将纳入研究的140例KOA受试者随机分成4组,功率自行车组、八段锦组、太极拳组、健康教育组(108例受试者完成本试验),每次运动时间为60min,每周进行5次训练并持续12周,运动强度为70%—75%的最大心率,采用KOOS症状评分对膝关节僵硬程度进行评估,结果显示与健康教育组相比,功率自行车组的症状评分有显著改善。Alkatan M等^[18]的随机对照试验采用WOMAC僵硬评分评估膝关节僵硬程度,试验结果显示,经过12周的功率自行车运动, WOMAC僵硬评分显著降低。但Luan L等^[33]的一项关于功率自行车的Meta分析结果表明,功率自行车运动后WOMAC僵硬评分和KOOS症状评分的改变与运动前相比,差异有显著性,但未达到最小临床差异,因此不具有临床意义。这可能与运动中膝关节的活动范围有关,在进行功率自行车运动时,通常会调整合适的座椅高度,保证膝关节在其关节活动度的中间范围内运动,膝关节不会做接近其关节活动度极限的屈伸运动。

3.2 关节僵硬改善机制

目前,关于功率自行车运动可以改善膝关节僵硬的机制研究较少,因此,关节僵硬的改善机制尚不明确;功率自行车运动可以有效增强下肢的肌肉力量,增强膝关节伸肌肌力,

即股四头肌在行走过程中可以抵抗更大的屈膝力量,因此可以有效控制膝关节屈曲并稳定膝关节,这可能是改善关节僵硬的机制之一^[37]。

4 功率自行车运动对KOA患者关节功能与步行能力的影响

4.1 改善KOA患者运动功能,提高患者生活质量

研究表明,功率自行车训练可改善KOA患者运动功能。胡坤^[14]采用随机对照设计将受试者随机分配到功率自行车组,每次以50%—60%的最大心率进行60min的功率自行车训练,每周训练5次并持续12周,结果表明在进行功率自行车干预后WOMAC身体功能评分显著下降,但6min步行测试(6 min walk test, 6MWT)结果并没有得到改善,这可能与运动强度和运动频率有关。但郑丽娣等^[8]的临床随机对照试验结果则表明8周的功率自行车联合常规康复训练可显著增加患者的6MWT距离,改善患者的步行能力。Alkatan M等^[18]的随机对照试验结果表明12周的功率自行车训练可降低KOA受试者的WOMAC功能评分,增加膝关节屈、伸肌肌力以及6MWT的步行距离,提高KOA患者的下肢力量及步行能力。Kabiri S等^[12]的随机对照试验采用6MWT、计时起立行走测试(timed up and go test, TUG)、30s椅上站立测试(30 second chair stand test, 30s CST)评估KOA受试者的运动功能,结果显示以上测试结果较试验前均有所改善,功率自行车联合抗阻训练可有效改善患者的下肢运动、平衡及步行能力。

4.2 运动功能改善的机制

功率自行车运动作为一种下肢的闭链运动,在运动时首先募集快肌纤维,随着运动时间的增加慢肌纤维的募集率增高,进而增大慢肌纤维的横截面积,使肌纤维肥大,肌容积增大,肌肉肥大,从而提高下肢肌肉力量,增加肌肉的稳定性和爆发性^[38-39]。增强的下肢肌肉力量,尤其是膝关节伸肌力量的增加可以减轻疼痛并改善身体功能,同时,疼痛的缓解也可以调节膝关节伸肌力量的增加,二者相互促进^[40-41];在行走过程中膝关节伸肌可以抵抗过大的膝关节屈曲力矩,稳定膝关节,增加膝关节的本体感觉,协调步态^[37]。同时,功率自行车运动还可以增加下肢的灵活性,进而改善运动功能^[10,35,42-43]。

5 功率自行车运动对KOA患者心血管的影响

Alkatan M等^[17]采用随机对照设计将48例KOA受试者随机分配到功率自行车组和对照组(游泳组),每次运动时间为40—45min,每周进行3次训练并持续12周,运动强度为60%—70% HRR,采用超声和压平眼压计进行测量评估,结果表明功率自行车运动可降低中心动脉的僵硬程度,软化血管,同时可以降低中心收缩压和中央脉压,改善KOA患者的

血管功能,这可能会降低KOA患者未来发生心血管疾病的风险。Alkatan M等^[18]的研究还表明,功率自行车运动可以减轻患者的体重和腹部内脏肥胖,降低腰围及臀围。

降低动脉僵硬的机制可能与运动后血管壁内的弹性蛋白和胶原蛋白含量的变化有关。随着年龄的增长,动脉壁中积累间质胶原蛋白,此蛋白可与葡萄糖产生糖化反应,反应产物逐渐积累导致血管变硬,运动干预后可能会破坏这种反应,以减少动脉僵硬,这可能是降低动脉僵硬的机制之一^[44]。

6 功率自行车运动对膝关节力矩的影响

膝关节外展力矩(knee abduction moment, KAM)是衡量膝关节间室负荷的常用指标,KAM与KOA的严重程度及进展有关。Gardner JK等^[45]研究表明,功率自行车训练可以降低一半以上KAM,10°足外翻对KOA受试者减少KAM更有效,但并不能减少膝关节内收角以及缓解疼痛,虽然垂直踏板的反作用力显著增加,但膝关节伸肌力矩并没有增加,这可能不会减缓KOA进展;而在运动中KOA受试者存在的膝关节对位不良,可能会增加膝关节负荷,甚至会导致膝关节损伤。Thompson RL等^[46]让13例KOA受试者和11例健康受试者在5种不同条件的踏板下进行功率自行车运动,并进行运动学和动力学数据的测量,研究表明不同的踏板对KOA受试者的膝关节内收-外展力矩的影响大于健康受试者。具体来说,与中性条件相比,在垫有外侧和内侧楔形鞋垫的踏板下运动,膝关节内收-外展力矩均显著下降,膝关节负荷减少,但髌关节和踝关节的负荷会显著增加。Budhdhadev HH等^[47]发现KOA受试者在骑行时会出现双下肢用力不对称的现象,即患肢产生的力大于健肢,这种不对称性不受外部负荷和节奏的影响;这可能与受试者的感觉运动功能(包括本体感觉、肌力及力量控制能力)障碍有关,由于感觉运动功能障碍,受试者在运动时自感患肢需要施加更大的力以保持与健肢的用力一致;但该研究是在患者疼痛较轻或是无痛时进行的,因此,无法评估疼痛对下肢用力情况的影响。Hummer E等^[34]发现在进行功率自行车运动时,随着座椅高度的增加,峰值膝关节外展力矩逐渐下降,同时还可以降低骑行时胫股关节间的压力;当座椅高度为踏板处于最低位置时膝关节屈曲为20°—40°峰值膝关节外展力矩比水平行走时的峰值低得多。因此,KOA患者在进行功率自行车运动时,当踏板处于最低位置膝关节屈曲为20°—40°时为合适的座椅高度。

7 KOA患者功率自行车运动的运动方案

运动强度是功率自行车运动治疗KOA的关键。但目前并无功率自行车运动治疗KOA的训练参数标准,现将本文中有关功率自行车运动的运动方案整理归纳(表1)。

表1 功率自行车运动治疗膝骨关节炎(KOA)患者的运动方案

作者、年份	试验类型	运动类型	运动强度	运动时间	运动频率	主要治疗作用
郑丽娣 ^[8] , 2019	RCT	功率自行车运动+常规康复组、常规康复组	H_{Rmax} (220-年龄)的50%—60%	30min/次, 持续8周	5次/周	改善患者膝关节疼痛、僵硬及功能
Liu ^[9-10] , 2019	RCT	功率自行车运动组、八段锦组、太极拳组、对照组	H_{Rmax} 的70%—75%	60min/次, 持续12周	5次/周	改善患者膝关节疼痛、僵硬
Kabiri ^[12] , 2018	RCT	抗阻联合:①功率自行车组、②跑步机组、③手摇车组	Borg RPE scale:11—13	30min/次, 持续12周	3次/周	改善患者膝关节疼痛
Keogh ^[11] , 2018	RCT	功率自行车运动 MICT(中等强度)组、HICT(高强度)组	MICT:以60—80r/min,持续20min或在锻炼过程中能够说出完整的句子;HICT:110r/min,骑行45s,然后以70r/min骑行90s为一组,共骑行5组,或在锻炼过程中很难说出句子	25min/次, 持续8周	4次/周	改善患者膝关节疼痛、僵硬及功能
王增平 ^[13] , 2017	RCT	功率自行车运动组、八段锦组、太极拳组、健康教育组	靶心率+主观运动强度。靶心率是指 HR_{max} (220-年龄)的60%—80%;运动时心率是指在运动结束时,立即测得10s桡动脉脉搏数再乘以6	60min/次, 持续12周	5次/周	改善患者膝关节疼痛
胡坤 ^[14] , 2017	RCT	功率自行车运动组、八段锦组、太极拳组、健康教育组	HR_{max} 的50%—60%;女性的 HR_{max} 为(210-年龄),男性(220-年龄)。	30min/次, 持续12周	5次/周	改善患者膝关节疼痛及生理功能

注:RCT:随机对照试验; HR_{max} :最大心率;Borg RPE scale:自觉用力程度分级表;HRR:储备心率。

根据 FITT 原则^[48],建议运动强度用靶心率(最大心率(207-年龄 $\times$ 0.7)的60%—70%来计算)和主观运动强度(自觉用力程度分级表,评分为11—13分)相结合的方法评估^[49];运动时间为40min,其中达到运动强度的时间为30min,热身和运动后的整理运动时间各5min;运动频率为4—5次/周,持续12周。在开始运动前需要调整座椅高度,适宜座椅高度范围为当踏板处于最低位置时膝关节屈曲为20°—40°^[34]。在具体实施过程中,还需要根据患者的年龄及膝关节的运动能力进行适当调整。

8 小结

对于KOA,功率自行车运动是一种安全有效的低强度有氧运动训练。在缓解KOA患者的膝关节疼痛、僵硬,改善膝关节功能及下肢步行能力方面发挥了积极作用,患者表现出较高的依从性和较少的不良事件。然而,功率自行车运动治疗KOA的作用机制、运动方案及临床指南还有待进一步研究。功率自行车运动作用机制的研究与基于高质量的随机对照临床试验,对探索功率自行车运动治疗KOA的运动强度、频率及时间可能是未来的重要方向。

参考文献

- [1] Hunter DJ, Bierma-Zeinstra S. Osteoarthritis [J]. Lancet (London, England), 2019, 393(10182):1745—1759.
- [2] Zhang Z, Huang C, Jiang Q, et al. Guidelines for the diagnosis and treatment of osteoarthritis in China (2019 edition) [J]. Ann Transl Med, 2020, 8(19):1213.
- [3] Ferreira RM, Torres RT, Duarte JA, et al. Non-pharmacological and non-surgical interventions for knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis [J]. Acta Reumatol Port, 2019, 44(3):173—217. English.
- [4] Liu Q, Wang S, Lin J, et al. The burden for knee osteoarthritis among Chinese elderly: estimates from a nationally representative study[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2018, 26(12):1636—1642.
- [5] Bannuru RR, Osani MC, Vaysbrot EE, et al. OARSI guidelines for the non-surgical management of knee, hip, and polyarticular osteoarthritis[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2019, 27(11):1578—1589.
- [6] Kolasinski SL, Neogi T, Hochberg MC, et al. 2019 American college of rheumatology/arthritis foundation guideline for the management of osteoarthritis of the hand, hip, and knee[J]. Arthritis Care Res (Hoboken), 2020, 72(2):149—162.
- [7] Bruyere O, Honvo G, Veronese N, et al. An updated algorithm recommendation for the management of knee osteoarthritis from the European society for clinical and economic aspects of osteoporosis, osteoarthritis and musculoskeletal diseases (ESCEO) [J]. Semin Arthritis Rheum, 2019, 49(3):337—350.
- [8] 郑丽娣,叶羽翀,蔡霞英,等.功率自行车运动对慢性期膝骨性关节炎的疗效[J].当代医学, 2019, 25(20):32—34.
- [9] Liu J, Chen L, Tu Y, et al. Different exercise modalities relieve pain syndrome in patients with knee osteoarthritis and modulate the dorsolateral prefrontal cortex: a multiple mode MRI study[J]. Brain Behav Immun, 2019(82):253—263.

- [10] Liu J, Chen L, Chen X, et al. Modulatory effects of different exercise modalities on the functional connectivity of the periaqueductal grey and ventral tegmental area in patients with knee osteoarthritis: a randomised multimodal magnetic resonance imaging study[J]. *Br J Anaesth*, 2019, 123(4):506—518.
- [11] Keogh JW, Grigg J, Vertullo CJ. Is high-intensity interval cycling feasible and more beneficial than continuous cycling for knee osteoarthritic patients? Results of a randomised control feasibility trial[J]. *PeerJ*, 2018, 6: e4738.
- [12] Kabiri S, Halabchi F, Angoorani H, et al. Comparison of three modes of aerobic exercise combined with resistance training on the pain and function of patients with knee osteoarthritis: a randomized controlled trial[J]. *Phys Ther Sport*, 2018(32):22—28.
- [13] 王增平. 膝关节关节炎运动康复的中枢神经机制研究[D]. 福建: 福建中医药大学, 2017.
- [14] 胡坤. 不同运动方式对社区中老年膝骨性关节炎患者干预效果的随机对照研究[D]. 福建: 福建中医药大学, 2017.
- [15] Lund M, Risberg M, Øiestad B. Feasibility of two exercise programs in patients with knee osteoarthritis[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2017(25):S413.
- [16] Keogh JW, Grigg J, Vertullo CJ. Is home-based, high-intensity interval training cycling feasible and safe for patients with knee osteoarthritis?: study protocol for a randomized pilot study[J]. *Orthop J Sports Med*, 2017, 5(3): 2325967117694334.
- [17] Alkatan M, Machin DR, Baker JR, et al. Effects of swimming and cycling exercise intervention on vascular function in patients with osteoarthritis[J]. *Am J Cardiol*, 2016, 117(1):141—145.
- [18] Alkatan M, Baker JR, Machin DR, et al. Improved function and reduced pain after swimming and cycling training in patients with osteoarthritis[J]. *J Rheumatol*, 2016, 43(3): 666—672.
- [19] Brosseau L, Taki J, Desjardins B, et al. The Ottawa panel clinical practice guidelines for the management of knee osteoarthritis. part three: aerobic exercise programs[J]. *Clin Rehabil*, 2017, 31(5):596—611.
- [20] 沈红斌, 薛安虎. 功率自行车原理与设计[J]. 新技术新工艺, 2015(4):28—30.
- [21] Vainshelboim B, Arena R, Kaminsky LA, et al. Reference standards for ventilatory threshold measured with cardiopulmonary exercise testing: the fitness registry and the importance of exercise: a national database[J]. *Chest*, 2020, 157(6):1531—1537.
- [22] Papalia R, Campi S, Vorini F, et al. The role of physical activity and rehabilitation following hip and knee arthroplasty in the elderly[J]. *J Clin Med*, 2020, 9(5):1401.
- [23] Doyle MP, Indraratna P, Tardo DT, et al. Safety and efficacy of aerobic exercise commenced early after cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2019, 26(1):36—45.
- [24] 中国康复医学会循证康复医学工作委员会, 中国康复研究中心/中国康复科学所康复信息研究所, 兰州大学循证医学中心, 等. 慢性阻塞性肺疾病临床康复循证实践指南[J]. 中国康复理论与实践, 2021, 27(1):15—26.
- [25] 李琳. 下肢康复机器人及功率自行车训练对帕金森病冻结步态的疗效对比研究[D]. 辽宁: 大连医科大学, 2020.
- [26] 李萍, 孔海霞, 李洪娟. 有氧运动对脑卒中后慢性偏瘫患者下肢运动功能、血趋化素及代谢危险因素的影响[J]. 中国动脉硬化杂志, 2017, 25(4):393—397.
- [27] Sultana RN, Sabag A, Keating SE, et al. The effect of low-volume high-intensity interval training on body composition and cardiorespiratory fitness: a systematic review and meta-analysis[J]. *Sports Med*, 2019, 49(11):1687—1721.
- [28] Nordengen S, Andersen LB, Solbraa AK, et al. Cycling and cardiovascular disease risk factors including body composition, blood lipids and cardiorespiratory fitness analysed as continuous variables: part 2-systematic review with meta-analysis[J]. *Br J Sports Med*, 2019, 53(14):879—885.
- [29] Josaphat KJ, Kugathasan TA, Er Reid R, et al. Use of active workstations in individuals with overweight or obesity: a systematic review[J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2019, 27(3):362—379.
- [30] Mangione KK, Mccully K, Gloviak A, et al. The effects of high-intensity and low-intensity cycle ergometry in older adults with knee osteoarthritis[J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 1999, 54(4):M184—M190.
- [31] Karasavvidis T, Hirschmann MT, Kort NP, et al. Home-based management of knee osteoarthritis during COVID-19 pandemic: literature review and evidence-based recommendations[J]. *J Exp Orthop*, 2020, 7(1):52.
- [32] Salacinski AJ, Krohn K, Lewis SF, et al. The effects of group cycling on gait and pain-related disability in individuals with mild-to-moderate knee osteoarthritis: a randomized controlled trial[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2012, 42(12): 985—995.
- [33] Luan L, Bousie J, Pranata A, et al. Stationary cycling exercise for knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Rehabil*, 2021, 35(4):522—533.
- [34] Hummer E, Thorsen T, Zhang S. Does saddle height influence knee frontal-plane biomechanics during stationary cycling?[J]. *Knee*, 2021(29):233—240.

- [35] 燕军成,戎军,李宝金,等.等速肌力训练辅助治疗膝骨关节炎效果观察[J].中国乡村医药,2020,27(15):5—6.
- [36] Gardner JK, Zhang S, Liu H, et al. Effects of toe-in angles on knee biomechanics in cycling of patients with medial knee osteoarthritis[J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2015,30(3):276—282.
- [37] Davis HC, Luc-Harkey BA, Seeley MK, et al. Sagittal plane walking biomechanics in individuals with knee osteoarthritis after quadriceps strengthening[J]. Osteoarthritis Cartilage,2019,27(5):771—780.
- [38] Allen JR, Satiroglu R, Fico B, et al. Inertial load power cycling training increases muscle mass and aerobic power in older adults[J]. Med Sci Sports Exerc,2021,53(6):1188—1193.
- [39] Folland JP, Williams AG. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength[J]. Sports Med,2007,37(2):145—168.
- [40] Vina ER, Kwok CK. Epidemiology of osteoarthritis: literature update[J]. Curr Opin Rheumatol,2018,30(2):160—167.
- [41] Hall M, Hinman RS, Wrigley TV, et al. Knee extensor strength gains mediate symptom improvement in knee osteoarthritis: secondary analysis of a randomised controlled trial [J]. Osteoarthritis Cartilage,2018,26(4):495—500.
- [42] Jang S, Lee K, Ju JH. Recent updates of diagnosis, pathophysiology, and treatment on osteoarthritis of the knee [J]. Int J Mol Sci,2021,22(5):2619.
- [43] Kus G, Yeldan I. Strengthening the quadriceps femoris muscle versus other knee training programs for the treatment of knee osteoarthritis[J]. Rheumatol Int, 2019, 39(2): 203—218.
- [44] Tanaka H, Safar ME. Influence of lifestyle modification on arterial stiffness and wave reflections[J]. Am J Hypertens,2005,18(1):137—144.
- [45] Gardner JK, Klipple G, Stewart C, et al. Acute effects of lateral shoe wedges on joint biomechanics of patients with medial compartment knee osteoarthritis during stationary cycling[J]. J Biomech,2016,49(13):2817—2823.
- [46] Thompson RL, Gardner JK, Zhang S, et al. Lower-limb joint reaction forces and moments during modified cycling in healthy controls and individuals with knee osteoarthritis [J]. Clin Biomech (Bristol, Avon),2020(71)167—175.
- [47] Buddhadev HH, Crisafulli DL, Suprak DN, et al. Individuals with knee osteoarthritis demonstrate interlimb asymmetry in pedaling power during stationary cycling[J]. J Appl Biomech,2018,34(4):306—311.
- [48] Kyei-Frimpong J, Blood-Siegfried J, Wijetilaka R, et al. Exercise as medicine: providing practitioner guidance on exercise prescription[J]. Prev Med Rep,2021(22)101323.
- [49] Thompson PD, Arena R, Riebe D, et al. ACSM's new preparticipation health screening recommendations from ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, ninth edition[J]. Curr Sports Med Rep,2013,12(4):215—217.