

肌肉失衡参与膝骨关节炎发生的研究进展

王玥竹¹ 田峻² 贾绍辉¹ 舒晴^{1,2}

¹武汉体育学院运动医学院,武汉 430079; ²武汉大学中南医院康复医学科,武汉 430071

通信作者:舒晴,Email:shuqing@znhospital.cn

【摘要】 膝骨关节炎(KOA)是引起老年人残疾最常见的退行性疾病之一。近年来的研究表明,膝关节周围肌肉力量失衡可能是骨关节炎形成的始动因素。KOA 的发生与人体下致力线的偏移密切相关,通过改善下肢肌肉失衡可以有效缓解症状,防止病情进一步加重。本综述总结了肌肉失衡在 KOA 中的发病机制,讨论了肥胖、肌肉功能减退、肌肉张力过高及关节损伤等危险因素在 KOA 发生发展过程中的影响,汇总了近年来改善轻、中度 KOA 患者肌肉失衡的一些干预方法,如步态矫正训练、髌膝踝周肌群等速肌力训练、全身振动疗法、开链和闭链运动训练、本体感觉神经肌肉促进拉伸训练以及肌肉贴扎技术等,旨在为 KOA 的临床预防和治疗提供一些新的思路。

【关键词】 膝骨关节炎; 肌肉失衡; 生物力学; 物理治疗

基金项目:国家自然科学基金(81804180);湖北省自然科学基金面上项目(2022CFB192)

Funding: National Natural Science Foundation of China (81804180); the Hubei Natral Science Foundation project(2022CFB192)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2024.05.018

膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是导致老年人残疾最常见的退行性疾病之一。一项调查研究显示,截至 2017 年底,中国 KOA 的患病率高达 18%,其中女性的患病率为 19%,男性为 11%,总体趋势为女性患病率明显高于男性^[1]。KOA 的发病机制涉及生物化学、生物力学等多个领域^[2-3]。目前,临床对 KOA 的治疗主要包括物理治疗、中医康复治疗、药物治疗、关节腔内注射和手术^[4]。其中,药物治疗需要长期服药,会对身体产生较多副作用^[5];关节腔内注射皮质类固醇或玻璃酸钠可以在短期内改善 KOA 患者的症状,但长期疗效并不理想^[6];手术治疗只适用于 KOA 终末期患者^[7]。因此,寻找预防 KOA 及其继发病变的有效干预措施是康复医学领域长期的热点话题。近年来的研究表明,膝关节周围肌肉力量失衡可能是 KOA 形成的始动因素^[8],其发生与人体下肢的力线偏移相关^[9],通过改善肌肉失衡,纠正错误的生物力学模式,达到缓解症状和防止疾病恶化的目的是治疗的主要目标^[9]。本综述总结了肌肉失衡在 KOA 中的发病机制,讨论了肥胖、肌肉功能减退及关节损伤等危险因素在 KOA 发生发展过程的影响,汇总了近年来改善轻、中度 KOA 患者肌肉失衡的一些干预方法,旨在为 KOA 的临床预防和治疗提供一些新的思路。

KOA 的发病机制

膝关节由股骨内、外侧髁,胫骨内、外侧髁,髌骨及覆盖于骨表面的关节软骨组成。关节软骨是一层薄薄的组织,约 3~5 mm,主要由胶原纤维组成,其主要功能是保护关节、分泌滑液和防止振动^[10]。KOA 是由膝关节局部损伤和慢性劳损引起的关节面软骨的退变。而近些年的研究发现,KOA 不仅是一种关节软骨损伤,而是一种全膝关节疾病,它涉及软骨下骨,关节囊,韧带,滑膜和关节周围肌肉^[11-12]。

在 KOA 的早期阶段,膝关节脂肪垫出现炎症反应,股四头

肌的横截面积减小,膝关节韧带逐渐松弛,膝关节稳定性下降^[13],此时虽然关节软骨结构完整,但细胞外基质中的分子组成首先发生变化,导致机械强度降低,进而使软骨在负荷下出现变形,临床上表现为软骨软化症。在软骨损伤区,软骨下板和关节下海绵层的厚度逐渐增加^[14],从而打破其正常的生物力学模式。在 KOA 的中、后期,无力的肌肉逐渐从股四头肌扩展至腓绳肌、腓肠肌,进一步影响了下肢的生物力学平衡,导致关节表面和下层透明软骨的结构逐渐恶化^[14]。此外,髌下脂肪垫的炎症反应在这一阶段进一步加重,这同样也加剧了软骨的退化^[15-16],最终出现关节畸形、僵硬、疼痛等更多的 KOA 常见症状^[17-18]。

KOA 发病的危险因素与肌肉失衡的关系

KOA 的危险因素很多,包括年龄、性别、遗传、肥胖、激素水平、职业等^[19],其中肥胖、肌肉张力过高和关节创伤与肌肉失衡的关系最为密切。基于这些危险因素的一级预防,即在 KOA 发生前进行早期干预和规避,可有效地降低 KOA 的发病率和致残率。

一、肥胖与肌肉失衡的关系

肥胖是体内脂肪积聚过多而呈现的一种状态。脂肪组织与肌肉的比例越高,表明肌肉质量越低,而肌肉质量的降低会导致关节机械应力的改变^[20-21]。

全身脂肪质量(fat mass, FM)与全身骨骼肌质量(skeletal muscle mass, SMM)的比率与 KOA 的患病率呈正相关^[21]。研究发现,男性 FM 与 SMM 的比率每增加 0.26,其患 KOA 的几率就增加 1.3 倍;女性 FM 与 SMM 的比率每增加 0.4,患 KOA 的几率增加 1.39 倍^[22],因此,降低 FM 与 SMM 的比率是预防 KOA 的重要策略之一。

高身体质量指数(body mass index, BMI)也是 KOA 患病率

增高的危险因素之一。有研究数据表明,1180 名男性医学生中,年轻时的体重每增加 8 kg,30 年后其临床患 KOA 的风险就增加 70%^[23-24]。膝关节是人体的主要承重关节,额外的体重会使膝关节的轴向负荷增加,而肥胖人群的膝关节内侧负荷率是健康人群的 1.78 倍^[25]。膝关节软骨的磨损随着膝关节负荷的增加而加重,最终导致膝关节的退行性改变,增加了 KOA 的发生几率^[26]。相关研究表明,降低 BMI 可有效地降低患 KOA 的风险^[27],因此,对于还未发生 KOA 的群体可通过减少膝关节的脂肪组织浸润和超负荷来改善肌肉质量,从而提供潜在的改善代谢、缓解炎症和纠正力学失衡的作用^[8, 28]。

二、肌肉功能减退与肌肉失衡的关系

随着年龄的增长,机体的组织器官和各项功能逐渐退化,其中老年人的肌肉力量也开始大幅度下降,膝关节稳定性下降,可能导致软骨软化,从而发展为退行性 KOA^[29-30]。大多数关于 KOA 肌肉特性的研究都集中在股四头肌和膝关节稳定性的关系上^[31-32]。与正常人相比,KOA 患者的股四头肌肌力下降大约 22%~36%^[33-34],研究数据显示,女性膝关节伸肌无力会使 KOA 的风险增加 1.85 倍,成年男性则为 1.43 倍,说明伸膝肌无力会增加女性和男性的 KOA 患病率,因此优化伸膝肌力量可能会增加膝关节的稳定性,从而有助于预防 KOA^[35]。

还有研究发现,屈膝肌力量的下降也是 KOA 患者的重要临床特点之一,双侧 KOA 患者症状较重一侧的腘绳肌和腓肠肌的峰值力矩明显下降^[36],因此近年来,屈膝肌的力量训练开始应用于 KOA 的运动处方中,结果发现,该疗法可有效改善有临床症状的 KOA 患者的膝关节疼痛和活动受限^[37-38]。此外,腘绳肌与股四头肌的相对峰力矩屈伸比还可用于评估二者之间的关系和关节肌力的平衡,是衡量膝关节稳定性的重要指标之一^[39]。

综上所述,在日常生活中加强股四头肌力量训练的同时辅以腘绳肌力量的强化,对减少膝关节的内侧负荷有一定的作用,同样也会对缓解疼痛和改善身体功能起到积极的促进作用。另外,KOA 患者中还可以观察到踝关节肌群无力和跖屈肌群无力,其中踝关节外翻肌群无力可能是由于关节炎症或退行性变所导致的,这种现象不仅会影响到患者的步行能力,还可能进一步加重疼痛^[40]。因此,本课题组认为,加强下肢肌肉训练可促进膝关节的稳定,纠正错误的生物力学模式,降低关节负荷率和关节软骨的局部应力,从而起到延迟膝骨化发生的作用。

三、肌肉张力过高与肌肉失衡的关系

高肌肉张力通常是由肌肉僵硬、痉挛、萎缩等因素引起,也可能是 KOA 的并发症之一。肌肉张力与 KOA 的关系复杂且相互影响。一方面,肌肉张力变化可能会加剧 KOA 的症状。例如,肌肉萎缩和紧张会导致关节承受压力增大,从而加速关节软骨的磨损和骨质的增生^[41]。此外,高肌肉张力还可能导致关节活动受限,进一步加剧 KOA 的症状^[42]。另一方面,KOA 本身也可能引发肌肉张力变化。例如,KOA 导致的疼痛和炎症反应可能引发肌肉痉挛或紧张,甚至导致神经调节异常,从而影响肌肉张力的调节^[43]。然而,目前国内外鲜见针对这一问题干预手段的相关研究,未来的研究需要进一步探讨这一关系的具体机制和潜在影响因素,以便为治疗 KOA 提供新的思路和方法。

四、关节创伤与肌肉失衡的关系

运动所致的关节损伤是 KOA 的一个重要危险因素^[44]。研究表明,有膝关节损伤史的运动员发生 KOA 的几率会增加^[45],50% 被诊断为前交叉韧带损伤或半月板撕裂的患者在 10~20 年后会出现 KOA 并伴有疼痛和功能障碍^[46]。此外,过度运动容易造成超过关节承受范围的膝关节损伤,破坏关节结构和内部环境,加速软骨退变;另一方面,股四头肌持续离心向心收缩致疲劳后,会降低膝关节的本体感觉功能,从而导致 KOA^[47]。因此,对于有膝关节损伤或接受过膝关节手术的患者,在早期进行一些预防性的生物力学干预,可以改善其膝关节的稳定性,防止继发性损伤,降低未来患 KOA 的风险。具体来说,基于生物力学原理,针对感觉运动系统的神经肌肉运动疗法,可以在运动中稳定关节,提高患者对膝关节的控制能力^[48]。其次,运动后拉伸紧张的肌肉也可有效地降低肌肉内筋膜、肌腱、本体感受器和骨关节的敏感性,整合感觉和运动功能,增加关节的活动范围,维持膝关节结构内关节链和肌肉链的平衡,有助于减轻膝关节的内部负荷^[42]。因此,运动前充分的热身、科学的运动处方、正确的运动姿势、运动后的拉伸放松均可以有效地预防运动损伤的发生,从而降低关节创伤所致 KOA 的发生率。

重建失衡的膝关节肌肉骨骼生物力学关系 对防治 KOA 的意义

人体的肌肉骨骼系统是一个整体,形成一个动力链^[49],当膝关节肌肉骨骼系统出现失衡状态时,这种失衡状态会按照运动链进行传递,随着时间的推移,可能会导致 KOA 的病程进一步加重或邻近关节也出现继发性疼痛。例如,内侧间室型 KOA 患者表现出行走速度减慢,步幅缩短,骨盆旋转角度变小,躯干侧倾幅度增加等异常步态^[50-51]。为减轻疼痛,患者会下意识地通过增加躯干的侧向倾斜来减少内侧膝关节负荷,然而这种负荷的减少只是暂时性的,反而可能导致患者髌关节外展肌群无力,继而导致额状面骨盆控制受损,并进一步增加膝关节内侧室的负荷^[52]。因此,增加髌外展肌的力量在理论上可以减少关节负荷,并起到疾病调节的作用。在 KOA 的分型中,内侧间室型是最常见的,其发生率远高于外侧间室型^[53],通常与内侧间室型 KOA 相关的生物力学指标之一是膝关节内收力矩(knee adduction moments, KAM),即人体在站立或行走的过程中,由向内的地面反作用力作用于膝关节中心所产生的力矩。有研究表明 KAM 与关节间隙宽度呈负相关,KAM 每增加 1 个单位,膝关节间隙就会相应减少 0.63 mm,内收力矩每增加 1%,KOA 进展的风险就会增加 6.46 倍^[54-55]。据此,Asay 等^[56]的研究提出,膝关节内收力矩的变化可能会成为评估 KOA 患者的一个黄金指标。因此减少 KAM 可能降低膝关节内侧室的负荷,缓解关节软骨的磨损。此外,由于患者膝关节的长期疼痛和下肢稳定性的明显下降,患侧下肢的生物力学显著改变,会产生更多错误的运动模式;久而久之由于肌肉失衡,邻近的关节如髌关节,踝关节会逐渐产生异常磨损,导致疼痛的发生和活动度下降^[57]。还有研究发现,患侧膝关节疼痛会产生“躲避效应”,将更多的重量转移到健侧进行支撑,导致健侧下肢的正常生物力学关系被打破,随着时间的推移,健侧下肢的部分关节也会

逐渐产生肌肉骨骼相关疼痛^[51]。综上所述,人体的肌肉骨骼系统是一个整体,局部病变会按照运动链传递,所以对 KOA 患者进行早期干预在防止下肢关节的继发性恶化中具有重要意义。

改善肌肉失衡在 KOA 治疗中的临床应用

研究证明,科学的运动疗法可以有效地缓解 KOA 患者的疼痛,改善其身体机能和生活质量^[58]。旨在纠正肌肉失衡、改善生物力学关系的干预方法,目前在 KOA 的临床治疗中具有重要作用,主要包括以下几种。

一、步态矫正训练

研究证实,6 个月的步态矫正训练(gait training program, GTP)可减少 KOA 患者运动时受累关节异常升高的力学信号,从而改善其临床症状和生活质量,目前此疗法已应用于 KOA 患者的治疗^[59-60]。近年来,人们关注的焦点是通过使用 GTP 来减小 KAM^[61]。其中可以减小 KAM 的 GTP 有足内外旋步态训练^[62-63]和躯干侧倾训练^[64]。

(一)足内外旋步态训练

足内外旋步态训练是一种通过改变足部前进角度来改善下肢生物力学的步态训练方法。足部前进角度(foot progression angle, FPA)被定义为足长轴(即脚跟和第二跖骨头之间的连线)与行走方向之间的角度,即足角。改变 FPA 是减少行走过程中 KAM 峰值的一种方法,这可以改善膝关节负荷^[62-63]。其中在水平行走期间 KAM 有两个峰值,第一个峰值通常大于第二个^[65],KOA 患者与健康患者相比,KAM 更大,而且重度 KOA 患者的两个 KAM 峰值均大于轻度患者^[51]。内旋步态通过将膝关节中心向内侧移动或将脚跟向外旋转来减小第一个 KAM 峰值,但这将会增加第二个 KAM 峰值;外旋步态通过将压力中心位置和地面反作用力(ground reaction force, GRF)向外侧移动来减少膝关节负荷,这将导致膝关节额状平面 GRF 杠杆臂的减少,从而减少第二个 KAM 峰值,但也会导致第一个 KAM 峰值的增加^[63, 66]。Richards 等^[67]的研究发现,患者短期内能够通过改变他们的步态模式来减少 KAM,然而,这种效果难以长期保持。综上所述,决定采用内旋或外旋的步态来干预 KOA,还应结合 KOA 患者的 KAM 峰值水平。

(二)躯干侧倾训练

增加 KOA 患者行走时躯干的倾斜度对改善膝关节应力的分布具有重要的意义^[68]。Hunt 等^[64]的研究证实,KOA 患者在运动时,身体向外侧倾斜的幅度增大 4°、8°、12°后,KAM 的峰值可相应减少 7%、21%、25%,且患者的膝关节疼痛和关节活动受限等临床症状,经长期的躯干侧倾训练后均可得到不同程度的改善^[52]。然而,对于康复医师和治疗师来说,在躯干侧倾训练的过程中单纯的口头指导并不能让患者完全掌握所有关键环节,这可能导致治疗效果大打折扣,因此,康复医师和治疗师需要让患者充分理解这种训练方法的要领。此外,由于躯干摆动训练会增加患者的不稳定性,从而降低患者的治疗依从性,如何切实地提高该训练方法的安全性也是需要解决的难题之一。

二、髌、膝、踝周肌群的等速肌力训练

传统的 KOA 康复的治疗部位多集中在膝关节,容易忽视下肢运动链的整体性、相关性与关节联动性。研究表明,除股四头肌和腓绳肌肌肉无力外,KOA 患者的髌关节内收、外展肌群也会出现无力,导致膝关节内侧间室的负荷增加,即 KAM 增

加^[69];此外,KOA 患者还会出现踝关节外翻、跖屈肌群无力,这可能与膝关节的疼痛、疾病的严重程度和进展有关^[40]。因此,髌、膝、踝周肌群联合训练比单独的膝周肌群训练更适合 KOA 患者,髌关节力量的增加可以增强下肢的稳定性,改善膝关节应力,而且先进行邻近关节肌力训练,再进行膝周肌群强化,可以到避免膝痛的效果,并在相当程度上提高膝痛患者的治疗依从性^[70-71]。

等速肌力训练是指利用等速仪器,在运动中提供与病人肌肉力量相匹配的阻力,使整个关节以预定的速度运动的一种训练方法,不仅可用于评估关节、肌肉或神经功能受损程度,还可应用于个性化的肌肉强化技术,提供渐进式的安全方案,并客观地衡量疾病的进展情况,是现如今在运动科学与康复医学界公认的,最安全、最有效的肌力训练方式。一项荟萃分析研究表明,对髌、膝关节周围的肌肉进行 6~8 周的等速训练可显著改善 KOA 患者的疼痛症状^[72];且等速训练对肌肉力量的改善效果显著优于不治疗或一般的有氧运动^[73]。还有研究发现,在 KOA 患者的康复治疗中,髌、踝周肌群等速肌力训练均可缓解疼痛,改善症状、增强躯体功能^[74]。因此,本课题组认为,从下肢整体出发,开发新的 KOA 康复治疗方法,将髌周肌群和踝周肌群等速肌力训练结合起来,对于提高 KOA 患者的康复效果具有重要的现实意义。

三、全身振动疗法

全身振动疗法(whole-body vibration therapy, WBVT)是一种新型的运动疗法,是一种神经肌肉训练技术,通过利用不同频率的机械振动波刺激肌肉的反复收缩来改善肌肉功能和本体感觉^[75]。WBVT 提高肌肉力量可能是通过以下机制完成:振动台产生的机械振动波诱发骨骼肌的牵张反射,以增强神经肌肉系统的功能,神经系统对力量提升的调节,主要体现在运动单位的募集、冲动频率、神经协调、减少抑制和调节反射等方面^[76]。Zhang 等^[77]的研究发现,在 0~20 Hz 的范围内,20 Hz 的 WBVT 训练对激活膝屈、伸肌最为有效,60°的静态下蹲最适合 WBVT 训练。相反,Li 等^[78]的研究发现,单纯采用 WBVT 对患者膝关节疼痛和僵硬方面的疗效与其他训练方法的疗效相近,表明单独使用 WBVT 的疗效并不确定。基于此,有研究将 WBVT 与其他治疗技术结合使用,结果发现,WBVT 联合股四头肌训练可显著改善 KOA 患者的日常生活活动能力和生活质量^[79]。至于 WBVT 训练是否能够长期改善肌肉功能,还有待进一步的研究去验证;未来的研究可以使用弹性成像、超声波等其他技术来评估肌肉,并进一步地加强对生物力学、生物化学和生理学的相关分析,以探索 WBVT 对强化肌肉力量的有效性。

四、开链和闭链运动训练

开链运动(open kinetic chain, OKC)和闭链运动(closed kinetic chain, CKC)已被指定用于 KOA 患者的临床治疗^[80]。Chang 等^[81]的研究遵循开链和闭链运动的理论,设计了两种运动,即悬吊开链伸膝运动和悬吊闭链伸膝运动,结果显示,股四头肌肌力的 CKC 的疗效优于 OKC,该研究认为,股四头肌强化有助于吸收膝关节负荷和保护关节软骨,从而起到缓解 KOA 症及其进展的作用。有研究发现,12 周的单纯 OKC、单纯 CKC 及其联合(CKC 联合 OKC)均可显著增加静态和动态股四头肌力量和大腿肌肉的体积^[82]。Ng^[80]等的研究提出,深蹲和腿部

按压这两种 CKC 运动,在改善疼痛水平、功能评分和力量方面的效果是相当的。综上所述,对于轻度至中度 KOA 患者,可使用开放式或闭合式动力链运动来缓解疼痛,并改善其膝关节的功能和活动能力。

五、本体感觉神经肌肉促进拉伸训练

减轻疼痛、改善关节活动度和强化膝关节相邻关节肌肉是目前 KOA 物理治疗关注的重点,但也往往容易忽略肌肉和韧带也存在紧张度过高的情况^[83-84]。研究表明,KOA 会导致腓绳肌的紧张度增加^[42],并可能进一步影响肢体功能和步态的生物力学^[85]。因此,在 KOA 物理治疗中,应该充分考虑并解决肌肉和韧带紧绷的问题,以确保治疗效果最大化,并帮助患者尽快恢复健康。本体感觉神经肌肉促进技术(proprioceptive neuromuscular facilitation,PNF)拉伸是一种使用本体感觉刺激来抑制肌肉群松弛的方法,通过抑制肌肉收缩中的反射成分可缓解肌肉张力,增加关节的活动范围^[86]。研究发现,对 KOA 患者进行 PNF 拉伸可以显著改善腓绳肌柔韧性及关节活动度^[87],且为期 8 周的 PNF 拉伸可显著降低 KOA 患者的 KAM^[88]。其机制在于,PNF 拉伸可重新分配膝关节的内侧和外侧受力,将 GRF 内侧的作用线转移至膝关节,从而降低内侧筋膜室压力并平衡膝关节负荷^[87-88]。需要注意的是,虽然 PNF 拉伸被认为是一种有效的治疗方法,但其目前仅适用于出现肌肉韧带紧张的患者,并不适用于所有患者,特别是对于肌肉无力的患者。

六、肌肉贴扎技术

肌内效贴是一种利用特殊的弹性贴片以特定的方式贴在体表,通过产生机械和神经生理效应来保护肌肉骨骼系统、促进运动功能或其他治疗目的的技术^[89]。该技术最早应用于运动员肌肉损伤的预防及治疗^[90],随着其疗效不断肯定,肌内效贴也逐渐延伸到 KOA^[91]、下背痛^[92]、脑卒中^[93]等疾病的临床治疗,并成为重要的康复手段之一。研究表明,连续 3 d 使用肌内效贴对 KOA 患者自述的疼痛、关节僵硬和功能障碍有积极作用^[91, 94]。肌内效贴对肌肉的作用是双向的,即增强和抑制;与肌肉收缩方向一致的拉动,可以增强肌肉的主动反射,增加运动神经元的兴奋性,达到增强肌力、稳定关节的作用,Konishi 等^[95]的研究发现,肌内效贴可通过增强股四头肌的肌力来增加膝关节的稳定性;如果相反,则会拉伸高尔基肌腱器官,降低相应运动神经元的活动,达到抑制肌肉收缩的目的^[96]。以上研究结果表明,肌内效贴可能是 KOA 的适当保守治疗方法之一。然而,Lemos 等^[97]的研究则认为,肌内效贴并没有起到改变肌肉力量的作用。本课题组认为,肌内效贴可以改善 KOA 患者疼痛、关节僵硬和功能障碍的临床症状,但对于是否可以增加股四头肌的肌力仍存在疑惑。因此,未来可将使用肌内效贴的临床疗效与其他保守治疗措施进行比较^[98]。

小结与展望

综上所述,肥胖、肌肉功能减退、关节损伤导致的肌肉失衡共同介导了 KOA 的发生。未发生 KOA 时,对上述危险因素进行早期干预,如科学减肥、增强下肢肌力、科学运动等,可起到降低关节损伤风险和预防 KOA 的作用。随着肌肉失衡和下肢生物力学模式的改变,KOA 患者因软骨过度磨损、滑膜炎症加重、运动控制协调能力的下降,会表现出步态不稳、膝关节功能下降,甚至出现膝关节内翻畸形;其次,KOA 患者下肢生物力学

的长期变化将逐渐导致踝关节、髌关节、对侧膝关节甚至腰部的继发性疼痛及病变。目前,治疗或预防 KOA 的方法很多,其中基于肌肉失衡理念从运动康复方向上预防 KOA 的发生与发展是重要策略之一。作为新时期康复领域的重要组成部分,运动疗法已逐渐发展为融运动训练理论、中医基础理论、现代解剖学以及生物力学为一体的科学疗法,其在增强下肢肌力、纠正下肢力线、改善步态平衡等方面有明显的疗效。但仍存在以下不足之处:①缺乏对运动疗法长期疗效的观察;②对实验对象的分级不明确,无法确定运动疗法是否对各阶段甚至重度 KOA 患者都有效;③对个性化运动处方的研究尚处于初级阶段,针对不同年龄、不同职业等 KOA 人群的精准治疗参数有待进一步探索。因此,未来应该鼓励开展具有长周期、个体化和精准化特点的临床研究,个体化方案的制定也应该考虑患者的年龄、运动耐受和症状严重程度,并以增强下肢肌力、调节下肢力线作为 KOA 康复的主要目的。

参 考 文 献

- [1] 王斌,邢丹,董圣杰,等. 中国膝关节炎流行病学和疾病负担的系统评价[J]. 中国循证医学杂志, 2018, 18(02): 134-142. DOI: 10.7507/1672-2531.201712031.
- [2] Zacharjasz J, Mleczo AM, Bałkowski P, et al. Small noncoding RNAs in knee osteoarthritis: the role of microRNAs and tRNA-derived fragments [J]. Int J Mol Sci, 2021, 22(11). DOI: 10.3390/ijms22115711.
- [3] Hunt MA, Charlton JM, Esculier JF. Osteoarthritis year in review 2019: mechanics [J]. Osteoarthritis Cartilage, 2020, 28(3): 267-274. DOI: 10.1016/j.joca.2019.12.003.
- [4] 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. DOI: 10.1016/j.joca.2019.06.011.
- [5] Kan HS, Chan PK, Chiu KY, et al. Non-surgical treatment of knee osteoarthritis [J]. Hong Kong Med J, 2019, 25(2): 127-133. DOI: 10.12809/hkmj187600.
- [6] 李前程,郭永扬,陈祥杰. 曲安奈德联合玻璃酸钠关节腔内注射治疗膝骨关节炎的临床疗效及其对骨质代谢的影响 [J]. 临床合理用药, 2023, 16(03): 144-147. DOI: 10.15887/j.cnki.13-1389/r.2023.03.043.
- [7] 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). DOI: 10.3390/ijms22052619.
- [8] Krishnasamy P, Hall M, Robbins SR. The role of skeletal muscle in the pathophysiology and management of knee osteoarthritis [J]. Rheumatology, 2018, 57(suppl_4): iv22-iv33. DOI: 10.1093/rheumatology/kex515.
- [9] Astephen Wilson JL, Kobsar D. Osteoarthritis year in review 2020: mechanics [J]. Osteoarthritis Cartilage, 2021, 29(2): 161-169. DOI: 10.1016/j.joca.2020.12.009.
- [10] 代岭辉. 膝关节软骨损伤修复重建指南(2021) [J]. 中国运动医学杂志, 2022, 41(04): 249-259. DOI: 10.16038/j.1000-6710.2022.04.010.
- [11] Feng G, Zhou Y, Yan J, et al. Proteomic and N-glycoproteomic analyses of total subchondral bone protein in patients with primary knee os-

- teoarthritis[J]. *J Proteomics*, 2023, 280: 104896. DOI: 10.1016/j.jprot.2023.104896.
- [12] Ding L, Liao T, Yang N, et al. Chrysin ameliorates synovitis and fibrosis of osteoarthritic fibroblast-like synoviocytes in rats through PERK/TXNIP/NLRP3 signaling [J]. *Front Pharmacol*, 2023, 14: 1170243. DOI: 10.3389/fphar.2023.1170243.
- [13] Mahmoudian A, Lohmander LS, Mobasheri A, et al. Early-stage symptomatic osteoarthritis of the knee-time for action[J]. *Nat Rev Rheumatol*, 2021, 17(10): 621-632. DOI: 10.1038/s41584-021-00673-4.
- [14] Hu W, Chen Y, Dou C, et al. Microenvironment in subchondral bone: predominant regulator for the treatment of osteoarthritis [J]. *Ann Rheum Dis*, 2021, 80(4): 413-422. DOI: 10.1136/annrheumdis-2020-218089.
- [15] Bastiaansen-Jenniskens YM, Clockaerts S, Feijt C, et al. Infrapatellar fat pad of patients with end-stage osteoarthritis inhibits catabolic mediators in cartilage[J]. *Ann Rheum Dis*, 2012, 71(2): 288-294. DOI: 10.1136/ard.2011.153858.
- [16] Abraham AC, Pauly HM, Donahue TL. Deleterious effects of osteoarthritis on the structure and function of the meniscal enthesis[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2014, 22(2): 275-283. DOI: 10.1016/j.joca.2013.11.013.
- [17] Harris R, Strotmeyer ES, Sharma L, et al. The association between severity of radiographic knee osteoarthritis and recurrent falls in middle and older aged adults: the osteoarthritis initiative [J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2023, 78(1): 97-103. DOI: 10.1093/gerona/glac050.
- [18] de Zwart AH, van der Esch M, Pijnappels MA, et al. Falls associated with muscle strength in patients with knee osteoarthritis and self-reported knee instability [J]. *J Rheumatol*, 2015, 42(7): 1218-1223. DOI: 10.3899/jrheum.140517.
- [19] Sharma L. Osteoarthritis of the Knee [J]. *N Engl J Med*, 2021, 384(1): 51-59. DOI: 10.1056/NEJMc1903768.
- [20] de Boer TN, van Spil WE, Huisman AM, et al. Serum adipokines in osteoarthritis; comparison with controls and relationship with local parameters of synovial inflammation and cartilage damage [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2012, 20(8): 846-853. DOI: 10.1016/j.joca.2012.05.002.
- [21] Azamar-Llamas D, Hernández-Molina G, Ramos-Ávalos B, et al. Adipokine contribution to the pathogenesis of osteoarthritis [J]. *Mediators Inflamm*, 2017, 2017: 5468023. DOI: 10.1155/2017/5468023.
- [22] Visser AW, de Mutsert R, Loeff M, et al. The role of fat mass and skeletal muscle mass in knee osteoarthritis is different for men and women: the NEO study [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2014, 22(2): 197-202. DOI: 10.1016/j.joca.2013.12.002.
- [23] Lee R, Kean WF. Obesity and knee osteoarthritis [J]. *Inflammoparmacology*, 2012, 20(2): 53-58. DOI: 10.1007/s10787-011-0118-0.
- [24] Paterson KL, Sosdian L, Hinman RS, et al. Effects of sex and obesity on gait biomechanics before and six months after total knee arthroplasty: a longitudinal cohort study [J]. *Gait Posture*, 2018, 61: 263-268. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.01.014.
- [25] Lerner ZF, Board WJ, Browning RC. Pediatric obesity and walking duration increase medial tibiofemoral compartment contact forces [J]. *J Orthop Res*, 2016, 34(1): 97-105. DOI: 10.1002/jor.23028.
- [26] Kulkarni K, Karssiens T, Kumar V, et al. Obesity and osteoarthritis [J]. *Maturitas*, 2016, 89: 22-28. DOI: 10.1016/j.maturitas.2016.04.006.
- [27] Dantas LO, Salvini TF, McAlindon TE. Knee osteoarthritis: key treatments and implications for physical therapy [J]. *Braz J Phys Ther*, 2021, 25(2): 135-146. DOI: 10.1016/j.bjpt.2020.08.004.
- [28] Roos EM, Arden NK. Strategies for the prevention of knee osteoarthritis [J]. *Nat Rev Rheumatol*, 2016, 12(2): 92-101. DOI: 10.1038/nrrheum.2015.135.
- [29] Grgic J, Garofolini A, Orazem J, et al. Effects of resistance training on muscle size and strength in very elderly adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Sports Med*, 2020, 50(11): 1983-1999. DOI: 10.1007/s40279-020-01331-7.
- [30] Lopez P, Pinto RS, Radaelli R, et al. Benefits of resistance training in physically frail elderly: a systematic review [J]. *Aging Clin Exp Res*, 2018, 30(8): 889-899. DOI: 10.1007/s40520-017-0863-z.
- [31] 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. DOI: 10.1007/s00296-018-4199-6.
- [32] Bennell KL, Nelligan RK, Kimp AJ, et al. Comparison of weight bearing functional exercise and non-weight bearing quadriceps strengthening exercise on pain and function for people with knee osteoarthritis and obesity: protocol for the TARGET randomised controlled trial [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2019, 20(1): 291. DOI: 10.1186/s12891-019-2662-5.
- [33] Hassan BS, Mockett S, Doherty M. Static postural sway, proprioception, and maximal voluntary quadriceps contraction in patients with knee osteoarthritis and normal control subjects [J]. *Ann Rheum Dis*, 2001, 60(6): 612-618. DOI: 10.1136/ard.60.6.612.
- [34] Mohajer B, Dolatshahi M, Moradi K, et al. Role of Thigh Muscle Changes in Knee Osteoarthritis Outcomes: Osteoarthritis Initiative Data [J]. *Radiology*, 2022, 305(1): 169-178. DOI: 10.1148/radiol.212771.
- [35] Øiestad BE, Juhl CB, Culvenor AG, et al. Knee extensor muscle weakness is a risk factor for the development of knee osteoarthritis: an updated systematic review and meta-analysis including 46 819 men and women [J]. *Br J Sports Med*, 2022, 56(6): 349-355. DOI: 10.1136/bjsports-2021-104861.
- [36] Ruhdorfer A, Wirth W, Hitzl W, et al. Association of thigh muscle strength with knee symptoms and radiographic disease stage of osteoarthritis: data from the Osteoarthritis Initiative [J]. *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 2014, 66(9): 1344-1353. DOI: 10.1002/acr.22317.
- [37] Gohir SA, Eek F, Kelly A, et al. Effectiveness of internet-based exercises aimed at treating knee osteoarthritis: the iBEAT-OA randomized clinical trial [J]. *JAMA Netw Open*, 2021, 4(2): e210012. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.0012.
- [38] Hafer JF, Kent JA, Boyer KA. Physical activity and age-related biomechanical risk factors for knee osteoarthritis [J]. *Gait Posture*, 2019, 70: 24-29. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.02.008.
- [39] Ruhdorfer A, Wirth W, Eckstein F. Association of knee pain with a reduction in thigh muscle strength—a cross-sectional analysis including 4553 osteoarthritis initiative participants [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2017, 25(5): 658-666. DOI: 10.1016/j.joca.2016.10.026.
- [40] Gonçalves GH, Sendin FA, da Silva Serrão PRM, et al. Ankle strength impairments associated with knee osteoarthritis [J]. *Clin Biomech*, 2017, 46: 33-39. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2017.05.002.
- [41] Wright T. Biomechanical factors in osteoarthritis: the effects of joint instability [J]. *Hss j*, 2012, 8(1): 15-17. DOI: 10.1007/s11420-011-9249-5.
- [42] Li F, Wang ZY, Zhang ZJ, et al. In hamstring muscles of patients with knee osteoarthritis an increased ultrasound shear modulus indicates a permanently elevated muscle tonus [J]. *Front Physiol*, 2021, 12: 752455. DOI: 10.3389/fphys.2021.752455.

- [43] 王丽娟, 史晓伟, 张伟, 等. 针刀干预对膝关节炎兔股四头肌肌腱拉伸力学的影响[J]. 中国骨伤, 2019, 32(5): 462-468. DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2019.05.015.
- [44] Sharma L, Hochberg M, Nevitt M, et al. Knee tissue lesions and prediction of incident knee osteoarthritis over 7 years in a cohort of persons at higher risk[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2017, 25(7): 1068-1075. DOI: 10.1016/j.joca.2017.02.788.
- [45] Yue D, Du L, Zhang B, et al. Time-dependently appeared microenvironmental changes and mechanism after cartilage or joint damage and the influences on cartilage regeneration[J]. *Organogenesis*, 2021, 17(3-4): 85-99. DOI: 10.1080/15476278.2021.1991199.
- [46] Lohmander LS, Englund PM, Dahl LL, et al. The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries; osteoarthritis[J]. *Am J Sports Med*, 2007, 35(10): 1756-1769. DOI: 10.1177/0363546507307396.
- [47] Takeda H, Nakagawa T, Nakamura K, et al. Prevention and management of knee osteoarthritis and knee cartilage injury in sports[J]. *Br J Sports Med*, 2011, 45(4): 304-309. DOI: 10.1136/bjism.2010.082321.
- [48] Gökşen A, Can F, Yılmaz S, et al. Comparison of different neuromuscular facilitation techniques and conventional physiotherapy in knee osteoarthritis[J]. *Turk J Med Sci*, 2021, 51(6): 3089-3097. DOI: 10.3906/sag-2101-298.
- [49] Dischiavi SL, Wright AA, Hegedus EJ, et al. Biotensegrity and myofascial chains: a global approach to an integrated kinetic chain [J]. *Med Hypotheses*, 2018, 110: 90-96. DOI: 10.1016/j.mehy.2017.11.008.
- [50] Farrokhi S, O'Connell M, Gil AB, et al. Altered gait characteristics in individuals with knee osteoarthritis and self-reported knee instability [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2015, 45(5): 351-359. DOI: 10.2519/jospt.2015.5540.
- [51] Mündermann A, Dyrby CO, Andriacchi TP. Secondary gait changes in patients with medial compartment knee osteoarthritis: increased load at the ankle, knee, and hip during walking[J]. *Arthritis Rheum*, 2005, 52(9): 2835-2844. DOI: 10.1002/art.21262.
- [52] Simic M, Hunt MA, Bennell KL, et al. Trunk lean gait modification and knee joint load in people with medial knee osteoarthritis: the effect of varying trunk lean angles [J]. *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 2012, 64(10): 1545-1553. DOI: 10.1002/acr.21724.
- [53] Bennell KL, Kyriakides M, Metcalf B, et al. Neuromuscular versus quadriceps strengthening exercise in patients with medial knee osteoarthritis and varus malalignment: a randomized controlled trial[J]. *Arthritis Rheumatol*, 2014, 66(4): 950-959. DOI: 10.1002/art.38317.
- [54] Sharma L, Hurwitz DE, Thonar EJ, et al. Knee adduction moment, serum hyaluronan level, and disease severity in medial tibiofemoral osteoarthritis[J]. *Arthritis Rheum*, 1998, 41(7): 1233-1240. DOI: 10.1002/1529-0131(199807)41:7<1233::Aid-art14>3.0.Co;2-I.
- [55] Miyazaki T, Wada M, Kawahara H, et al. Dynamic load at baseline can predict radiographic disease progression in medial compartment knee osteoarthritis [J]. *Ann Rheum Dis*, 2002, 61(7): 617-622. DOI: 10.1136/ard.61.7.617.
- [56] Asay JL, Boyer KA, Andriacchi TP. Repeatability of gait analysis for measuring knee osteoarthritis pain in patients with severe chronic pain [J]. *J Orthop Res*, 2013, 31(7): 1007-1012. DOI: 10.1002/jor.22228.
- [57] Astephen JL, Deluzio KJ, Caldwell GE, et al. Biomechanical changes at the hip, knee, and ankle joints during gait are associated with knee osteoarthritis severity [J]. *J Orthop Res*, 2008, 26(3): 332-341. DOI: 10.1002/jor.20496.
- [58] Franssen M, McConnell S, Harmer AR, et al. Exercise for osteoarthritis of the knee: a Cochrane systematic review [J]. *Br J Sports Med*, 2015, 49(24): 1554-1557. DOI: 10.1136/bjsports-2015-095424.
- [59] Shull PB, Shultz R, Silder A, et al. Toe-in gait reduces the first peak knee adduction moment in patients with medial compartment knee osteoarthritis [J]. *J Biomech*, 2013, 46(1): 122-128. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2012.10.019.
- [60] Shull PB, Lurie KL, Cutkosky MR, et al. Training multi-parameter gaits to reduce the knee adduction moment with data-driven models and haptic feedback [J]. *J Biomech*, 2011, 44(8): 1605-1609. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2011.03.016.
- [61] Segal NA, Glass NA, Teran-Yengle P, et al. Intensive gait training for older adults with symptomatic knee osteoarthritis [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2015, 94(10): 848-858. DOI: 10.1097/phm.0000000000000264.
- [62] Qiu R, Xu R, Wang D, et al. The effect of modifying foot progression angle on the knee loading parameters in healthy participants with different static foot postures [J]. *Gait Posture*, 2020, 81: 7-13. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2020.06.027.
- [63] Wang S, Mo S, Chung RCK, et al. How foot progression angle affects knee adduction moment and angular impulse in patients with and without medial knee osteoarthritis: a meta-analysis [J]. *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 2021, 73(12): 1763-1776. DOI: 10.1002/acr.24420.
- [64] Hunt MA, Birmingham TB, Bryant D, et al. Lateral trunk lean explains variation in dynamic knee joint load in patients with medial compartment knee osteoarthritis [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2008, 16(5): 591-599. DOI: 10.1016/j.joca.2007.10.017.
- [65] Baniasad M, Martin R, Crevoisier X, et al. Knee adduction moment decomposition: Toward better clinical decision-making [J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2022, 10: 1017711. DOI: 10.3389/fbioe.2022.1017711.
- [66] Simic M, Wrigley TV, Hinman RS, et al. Altering foot progression angle in people with medial knee osteoarthritis; the effects of varying toe-in and toe-out angles are mediated by pain and malalignment [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2013, 21(9): 1272-1280. DOI: 10.1016/j.joca.2013.06.001.
- [67] Richards R, van den Noort JC, van der Esch M, et al. Gait retraining using real-time feedback in patients with medial knee osteoarthritis: feasibility and effects of a six-week gait training program [J]. *Knee*, 2018, 25(5): 814-824. DOI: 10.1016/j.knee.2018.05.014.
- [68] Tokuda K, Anan M, Takahashi M, et al. Biomechanical mechanism of lateral trunk lean gait for knee osteoarthritis patients [J]. *J Biomech*, 2018, 66: 10-17. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2017.10.016.
- [69] Iwama Y, Harato K, Kobayashi S, et al. Estimation of the external knee adduction moment during gait using an inertial measurement unit in patients with knee osteoarthritis [J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21(4). DOI: 10.3390/s21041418.
- [70] Hislop AC, Collins NJ, Tucker K, et al. Does adding hip exercises to quadriceps exercises result in superior outcomes in pain, function and quality of life for people with knee osteoarthritis? A systematic review

- and meta-analysis [J]. *Br J Sports Med*, 2020, 54 (5): 263-271. DOI: 10.1136/bjsports-2018-099683.
- [71] Domínguez-Navarro F, Benitez-Martínez JC, Ricart-Luna B, et al. Impact of hip abductor and adductor strength on dynamic balance and ankle biomechanics in young elite female basketball players [J]. *Sci Rep*, 2022, 12 (1): 3491. DOI: 10.1038/s41598-022-07454-3.
- [72] Coudeyre E, Jegu AG, Giustanini M, et al. Isokinetic muscle strengthening for knee osteoarthritis: a systematic review of randomized controlled trials with meta-analysis [J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2016, 59 (3): 207-215. DOI: 10.1016/j.rehab.2016.01.013.
- [73] French HP, Abbott JH, Galvin R. Adjunctive therapies in addition to land-based exercise therapy for osteoarthritis of the hip or knee [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2022, 10 (10): Cd011915. DOI: 10.1002/14651858.CD011915.pub2.
- [74] Dantas GAF, Sacco ICN, Ferrari AV, et al. Effects of a foot-ankle muscle strengthening program on pain and function in individuals with knee osteoarthritis: a randomized controlled trial [J]. *Braz J Phys Ther*, 2023, 27 (4): 100531. DOI: 10.1016/j.bjpt.2023.100531.
- [75] Stein G, Knoell P, Faymonville C, et al. Whole body vibration compared to conventional physiotherapy in patients with gonarthrosis: a protocol for a randomized, controlled study [J]. *BMC Musculoskeletal Disord*, 2010, 11: 128. DOI: 10.1186/1471-2474-11-128.
- [76] Lu L, Mao L, Feng Y, et al. Effects of different exercise training modes on muscle strength and physical performance in older people with sarcopenia: a systematic review and meta-analysis [J]. *BMC Geriatr*, 2021, 21 (1): 708. DOI: 10.1186/s12877-021-02642-8.
- [77] Zhang J, Wang R, Zheng Y, et al. Effect of whole-body vibration training on muscle activation for individuals with knee osteoarthritis [J]. *Biomed Res Int*, 2021, 2021: 6671390. DOI: 10.1155/2021/6671390.
- [78] Li X, Wang XQ, Chen BL, et al. Whole-body vibration exercise for knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2015, 2015: 758147. DOI: 10.1155/2015/758147.
- [79] Qiu CG, Chui CS, Chow SKH, et al. Effects of whole-body vibration therapy on knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *J Rehabil Med*, 2022, 54: jrm00266. DOI: 10.2340/jrm.v54.2032.
- [80] Ng WH, Jamaludin NI, Sahabuddin FNA, et al. Comparison of the open kinetic chain and closed kinetic chain strengthening exercises on pain perception and lower limb biomechanics of patients with mild knee osteoarthritis: a randomized controlled trial protocol [J]. *Trials*, 2022, 23 (1): 315. DOI: 10.1186/s13063-022-06153-8.
- [81] Chang WD, Huang WS, Lee CL, et al. Effects of open and closed kinetic chains of sling exercise therapy on the muscle activity of the vastus medialis oblique and vastus lateralis [J]. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26 (9): 1363-1366. DOI: 10.1589/jpts.26.1363.
- [82] Olagbegi OM, Adegoke BO, Odole AC. Effectiveness of three modes of kinetic-chain exercises on quadriceps muscle strength and thigh girth among individuals with knee osteoarthritis [J]. *Arch Physiother*, 2017, 7: 9. DOI: 10.1186/s40945-017-0036-6.
- [83] Liu J, Chen L, Tu Y, et al. Different exercise modalities relieve pain syndrome in patients with knee osteoarthritis and modulate the dorso-lateral prefrontal cortex: a multiple mode MRI study [J]. *Brain Behav Immun*, 2019, 82: 253-263. DOI: 10.1016/j.bbi.2019.08.193.
- [84] Tayfur B, Charuphongsa C, Morrissey D, et al. Neuromuscular joint function in knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis [J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2023, 66 (2): 101662. DOI: 10.1016/j.rehab.2022.101662.
- [85] Katz JN, Arant KR, Loeser RF. Diagnosis and treatment of hip and knee osteoarthritis: a review [J]. *Jama*, 2021, 325 (6): 568-578. DOI: 10.1001/jama.2020.22171.
- [86] Wicke J, Gaíney K, Figueroa M. A comparison of self-administered proprioceptive neuromuscular facilitation to static stretching on range of motion and flexibility [J]. *J Strength Cond Res*, 2014, 28 (1): 168-172. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3182956432.
- [87] Nafees K, Baig AAM, Ali SS, et al. Dynamic soft tissue mobilization versus proprioceptive neuromuscular facilitation in reducing hamstring muscle tightness in patients with knee osteoarthritis: a randomized control trial [J]. *BMC Musculoskeletal Disord*, 2023, 24 (1): 447. DOI: 10.1186/s12891-023-06571-y.
- [88] Gao B, Li L, Shen P, et al. Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching in relieving pain and balancing knee loading during stepping over obstacles among older adults with knee osteoarthritis: a randomized controlled trial [J]. *PLoS One*, 2023, 18 (2): e0280941. DOI: 10.1371/journal.pone.0280941.
- [89] Gianola S, Iannicelli V, Fascio E, et al. Kinesio taping for rotator cuff disease [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2021, 8 (8): Cd012720. DOI: 10.1002/14651858.CD012720.pub2.
- [90] Williams S, Whatman C, Hume PA, et al. Kinesio taping in treatment and prevention of sports injuries: a meta-analysis of the evidence for its effectiveness [J]. *Sports Med*, 2012, 42 (2): 153-164. DOI: 10.2165/11594960-000000000-00000.
- [91] Lu Z, Li X, Chen R, et al. Kinesio taping improves pain and function in patients with knee osteoarthritis: a meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Int J Surg*, 2018, 59: 27-35. DOI: 10.1016/j.ijsu.2018.09.015.
- [92] Sheng Y, Duan Z, Qu Q, et al. Kinesio taping in treatment of chronic non-specific low back pain: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Rehabil Med*, 2019, 51 (10): 734-740. DOI: 10.2340/16501977-2605.
- [93] Huang YC, Chang KH, Liou TH, et al. Effects of Kinesio taping for stroke patients with hemiplegic shoulder pain: a double-blind, randomized, placebo-controlled study [J]. *J Rehabil Med*, 2017, 49 (3): 208-215. DOI: 10.2340/16501977-2197.
- [94] Rahlf AL, Braumann KM, Zech A. Kinesio Taping improves perceptions of pain and function of patients with knee osteoarthritis: a randomized, controlled trial [J]. *J Sport Rehabil*, 2019, 28 (5): 481-487. DOI: 10.1123/jsr.2017-0306.
- [95] Konishi Y. Tactile stimulation with kinesiology tape alleviates muscle weakness attributable to attenuation of Ia afferents [J]. *J Sci Med Sport*, 2013, 16 (1): 45-48. DOI: 10.1016/j.jsams.2012.04.007.
- [96] Yeung SS, Yeung EW, Sakunkaruna Y, et al. Acute effects of kinesio taping on knee extensor peak torque and electromyographic activity after exhaustive isometric knee extension in healthy young adults [J]. *Clin J Sport Med*, 2015, 25 (3): 284-290. DOI: 10.1097/jsm.0000000000000132.
- [97] Lemos TV, Júnior JRS, Santos M, et al. Kinesio Taping effects with different directions and tensions on strength and range of movement of the knee: a randomized controlled trial [J]. *Braz J Phys Ther*, 2018, 22 (4): 283-290. DOI: 10.1016/j.bjpt.2018.04.001.
- [98] Mayoral LP, Andrade GM, Mayoral EP, et al. Obesity subtypes, related biomarkers & heterogeneity [J]. *Indian J Med Res*, 2020, 151 (1): 11-21. DOI: 10.4103/ijmr.IJMR_1768_17.

(修回日期:2024-04-12)

(本文编辑:阮仕衡)