

矫形器在内侧间室膝关节骨性关节炎中的应用

马圣楠¹, 柯竞悦¹, 董洪铭¹, 张瑞星¹, 李古强²

【关键词】 矫形器; 骨性关节炎; 康复

【中图分类号】 R49; R684 【DOI】 10.3870/zgkf.2023.02.012

膝关节骨性关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是一种常见的退行性老年疾病^[1],主要是关节软骨退变和继发性骨质增生^[2-3],90%以上发生在内侧间室,表现为膝内翻。近年来随着人口老龄化的加剧^[4],导致老年疾病的发生率加速增长,60岁以上人群中约35%~50%患有膝骨关节炎^[5],因此人们对KOA的治疗越来越重视。目前针对KOA的治疗主要是减轻疼痛,提高关节活动度和功能^[6],包括物理治疗、传统药物治疗和手术治疗。物理因子治疗可以减轻疼痛但无法纠正异常的下肢力线,效果有限。传统药物治疗包括口服或外用非甾体类消炎药,镇痛效果小且副作用大^[7-8]。手术治疗以膝关节置换为主,是目前治疗重度KOA的最有效手术之一,但调查研究表明术后患者满意度仅有81%~89%^[9-10]。矫形器作为一种保守治疗方式,花费低无创伤并能有效减轻疼痛,纠正异常力线,目前被广泛应用于临床中。本文从生物力学角度出发,综述了与KOA相关的生物力学评估指标及现有3种矫形器(外侧楔形矫形鞋垫、膝关节外翻矫形器、力学矫形鞋)对KOA的生物力学影响和临床疗效,旨在为以后的研究方向和临床治疗提供指导意义。

1 KOA相关生物力学参数

生物力学因素是KOA发生的重要因素。膝关节受力情况与关节形状和结构、下肢力线、膝内部负荷、周围软组织等密切相关。

1.1 膝关节内收力矩(knee adduction moment, KAM) KAM是指在站立或行走过程中,由膝关节

内侧通过的地面反作用力(ground reaction force, GRF),与作用于膝关节中心的力臂所形成的力矩。因此KAM与GRF的大小有关,而GRF的大小与膝关节中心力臂的大小、下肢质量和加速度等有关。所以,当GRF或力臂增加时,膝关节的内收力矩也会增加。此时,膝关节内侧间室的负荷变大,导致内侧间室的软骨退化、软组织受损,形成膝关节骨性关节炎。

在一个步行周期中,KAM一般有两个峰,分别在站立相的早期和晚期。加拿大的一项研究发现,两个峰值的大小和膝关节疼痛和严重程度呈正相关^[11]。但也有研究表明疼痛与KAM呈负相关,疼痛是一种保护机制,导致步行中KAM的自我选择性减少^[12]。虽然KAM的研究有待探讨,但KAM峰值能够反映膝关节内侧负荷的理论已被证实。

1.2 膝关节内收冲量(knee adduction moment impulse, KAMI) KAMI指KAM在站立相的时间积分值,表示站立时膝关节内侧间室的负荷累积情况。KAMI与半月板和关节软骨的变化相关,KAMI越高的KOA患者内侧半月板损伤越大,股骨内侧/外侧软骨厚度比值越小。近年来有学者研究证实KAMI在一定程度上比KAM更能反映KOA的病情变化,Bennell等^[13]认为较高的KAMI而非KAM与胫骨内侧软骨损伤有关,并得出结论KAMI可能是胫骨内侧软骨损伤的危险因素。

2 矫形器的应用机制和临床疗效

内侧间室膝关节骨性关节炎的本质是下肢力线发生了改变,常见的是胫骨相对于股骨内移,导致内侧间室压力过高,从而产生疼痛、关节变形。所以针对这一原因,临床上经常采用矫形器纠正关节力线,缓解症状,防止关节畸形。其中常见的有3种:外侧楔形矫形鞋垫、膝关节外翻矫形器和力学矫形鞋。

2.1 外侧楔形鞋垫(Lateral wedged insoles, LWI)

LWI是一种外缘高于内缘的康复辅具,可以固定、

基金项目:“十四五”残疾人事业规划前期研究重点课题暨2019年度中国残联研究课题(CJFJRRB29-2019)

收稿日期:2022-04-22

作者单位:1. 滨州医学院康复医学院,山东 烟台 264003;2. 滨州医学院康复工程研究院,山东 烟台 264003

作者简介:马圣楠(1996-),女,硕士研究生,主要从事肌肉骨骼康复、假肢矫形器、康复工程方面的研究。

通讯作者:李古强,lgq100@bzmc.edu.cn

预防和矫正踝关节的畸形,放松足底的筋膜,改善下肢的生物力学,纠正异常力线^[14]。

2.1.1 LWI对KOA的生物力学影响 目前已有许多文献报道穿戴LWI后可以降低步行过程中的膝关节力学信号。Sasaki^[12]和Yasuda^[15]在1987年首次提出使用LWI治疗KOA,可将跟骨移至相对于胫骨的外翻位置,纠正下肢的膝内翻。后研究证实穿戴LWI后,压力中心(center of pressure, COP)由内向外侧偏移,使得GRF与膝关节中心的垂直距离减小,缩短了KAM臂长度,从而降低KAM^[16]。反之可以通过逆向动力学原理测量KAM,研究LWI是否具有治疗KOA的作用。因此张旻等^[17]利用VICON三维步态分析系统和测力板,研究了早期KOA患者在使用LWI后的下肢生物力学参数变化,发现KAM、KAMI均减少,同时踝关节外翻力矩增加,这说明LWI在膝骨关节炎治疗中是有效果的,但也会带来踝部的不适。

Elham等^[18]做了一项关于LWI在早期KOA患者的步态启动中的作用,结果表明LWI在步态启动的执行阶段表现出良好的效果,在运动阶段COP的位移更快更长,在单足站立阶段GRF的冲量增加;表明LWI可以帮助无症状患者达到步行速度更快、动态平衡更好的稳定状态。

目前大多数的保守治疗都是为了改善步态适应性和减少KAM等,而有关步态启动的生物力学研究却很少。步态启动指人体从直立姿势到稳定步态的过渡阶段,是一项需要高度协调性的任务,主要分成预期姿势调整和执行阶段。Najafi等^[19]发现健康人穿戴矫形鞋垫后,缩短了步态的起始时间,更快地达到稳定步态,并且改善了内侧方向上的动态平衡。因此Esfandiari等^[18]测量了KOA患者穿戴LWI后步态启动的参数,并与同龄健康人进行比较,从而更好地解释LWI对KOA的影响机制。结果发现LWI在步态启动中的执行阶段表现出显著的效果:COP移动更快,且在单足站立阶段GRF的冲量增加。综上所述,本文认为可以将LWI结合平衡训练应用在早期的KOA康复中,以提高患者的步行能力。

2.1.2 LWI的角度与材料选择 Dessery等^[20]比较KOA患者在使用不同度数的鞋垫(正常鞋垫、6°LWI和10°LWI)后的组间疼痛、生物力学等指标时,发现并无统计学意义。但另一项研究表明^[21],膝关节在运动过程中所承受的应力大小与楔形角大小成反比,但大于6°时,应力不会随之进一步降低,反而会因为楔形角的度数变大而导致踝关节受力增加,产生不适感甚至疼痛。所以,目前临床上使用的LWI大多是5°。但是6°外侧楔形鞋垫也是具有一定范围的有效性,它虽

然可以减少膝关节内翻力矩,但并不能将其降到正常水平。

LWI的材料选择对治疗效果也会有很大的影响,采用弹性模量低的材料制作的鞋垫舒适度较好,但是长期使用后易产生形变,导致疗效降低;较高的弹性模量虽不易形变,但使用感较差,很难坚持使用。因此,Jones等^[22]利用内外侧鞋垫变形系数的差异来解决上述问题,LWI的外侧使用较硬的材质维持矫形效果,内侧采用相对较软的材质提高舒适感,不过此鞋垫还需进一步临床验证。

临床治疗中使用的LWI大多带有足弓支撑,因为研究发现^[23],与传统LWI相比,带有足弓支撑的矫形鞋垫更能减轻疼痛(传统LWI, $P=0.61$, 足弓支撑LWI, $P<0.001$),并且2组KAM分别减少5.21%和6.29%,由此可以看出带有足弓支撑的LWI更适合KOA患者。张旻等^[24]对比了传统LWI和足弓支撑LWI对KOA的影响,结果表明二者虽然在减轻关节负荷方面无差异,但是佩戴足弓支撑LWI后踝关节外翻扭矩以及地面反作用力内侧方向的分力未见增加,因此不会导致踝关节不适。

2.1.3 LWI的临床疗效 目前用LWI治疗KOA的疗效研究已有很多,但其中存在许多争议,部分学者认为LWI不能减少疼痛和改善膝关节功能,且还会增加踝部不适感,但也有学者通过对比穿戴LWI前后的生物力学变化并结合临床量表评分,认为LWI在一定程度上仍有积极作用。谢汝兰等^[25]首次将国际功能、残疾和健康分类(International Classification of Functioning, Disability and Health, ICF)系统应用于KOA对比较软LWI和硬LWI治疗的临床效果,结果发现软LWI短期内能显著减轻疼痛,并在爬楼梯时间、日常生活能力、运动功能等方面差异有统计学意义,同时在膝关节相关生活质量方面改善显著。此实验不足之处在于观察时间较短,缺少长期随访并且鞋垫结构、足弓支撑高度和楔形角度数等因素会影响研究结果,将来有必要对不同类型鞋垫和鞋子进行长期追踪研究。Felson等^[26]研究发现楔形鞋垫相比普通鞋垫可以降低2%的KAM,但在减轻疼痛方面效果较小,只在部分患者身上具有临床意义,这可能与美国西部Ontario和McMaster大学骨关节炎指数(Western Ontario and McMaster universities osteoarthritis index, WOMAC)评分的灵敏度有关。针对膝关节功能评估,Salam等^[27]对40名KOA患者随机分2组,对照组进行理疗和股四头肌训练,实验组在此基础上穿戴LWI,结果显示实验组膝关节功能评分(knee injury and osteoarthritis outcome score, KOOS)中的僵硬和

生活质量评分均明显优于对照组。内侧半月板撕裂是半月板退变的原因之一^[28],并且内侧半月板的退行性改变会导致膝骨关节炎的发生和加重,同时半月板撕裂与半月板挤压(medial meniscus extrusion, MME)具有相关性^[29]。因此 Yosuke 等^[30]利用超声检查探究 KOA 患者穿戴 LWI 后内侧半月板的挤压程度,验证 LWI 的有效性。结果显示在仰卧位和站立位情况下,正常人穿戴 LWI 后 MME 没有变化,而 KOA 患者使用 LWI 后 MME 数值显著下降。这表明 LWI 可以有效减轻半月板挤压程度,从而延缓膝关节退行性变。

2.2 膝关节外翻矫形器 膝关节外翻矫形器(Knee valgus orthosis, KO)主要利用三点力学原理,在膝关节近端及远端的施加向外的力,在膝关节外侧的髌状突垫施加向内的力,两者形成反作用力,从而增大患膝内侧髌间隙,矫正膝关节在运动中产生的异常模式,降低关节内压力负荷,从而减轻疼痛,改善关节力学问题

2.2.1 KO 对 KOA 的生物力学影响 内侧间室 KOA 通常与通过膝内侧间隙传递的负荷增加有关,这也是导致步行过程中 KAM 增加的主要原因。临床上用于抵消这些负荷常用的便是膝外翻矫形器,主要是通过减小膝内翻角度,纠正异常的下肢力线,使 GRF 向外侧移动,从而减少 KAM,达到降低膝关节内侧负荷的目的。Petersen 等^[31]在 2016 年发表了一篇关于 KO 对 KOA 生物力学影响的综述,其中 20 篇文献表明外翻免负荷支具能显著降低 KAM,并且有 7 篇显示佩戴支具的患者疼痛明显减轻。但是仍有 4 篇文章没显示免负荷支具对 KAM 有影响。目前在国际上用于测量膝关节生物力学指标的设备是三维动作捕捉系统,它利用计算机辅助红外摄像技术可以准确地记录肢体在进行各种活动时的情况,并用特定的算法得出关节角度、关节力矩和地面反作用力等参数,被称为“金标准”。因此张旻等^[17]利用 VICON 三维步态分析系统以及 Kilster 测力台对 KOA 患者佩戴 KO 前后的下肢生物力学参数测量,结果表明佩戴 KO 后 KAM、KAMI 明显下降,踝关节外翻力矩增加;并且发现佩戴 LWI 组患者除上述参数降低外,内侧方向 GRF 也下降,但是 KO 组和 LWI 组的治疗效果无差异。许多文献中对于膝外翻矫形器是否能减少 KAM 第一峰值并未达成一致,其中一些研究表明 KAM 第一峰值显著降低^[32-34],而另一些文献则没有^[35-37],这可能也是膝外翻矫形器在临床中应用不足的原因之一。Lamberg 等^[38]研究发现穿戴 KO 治疗后的第一峰值较治疗前有所降低,但是第二峰值的下降差异更显著(减少约 26%),这与其他研究中的 11%~32%是

一致的^[34-37],且穿戴 KO 后步行速度明显增加,同时支撑期阶段膝关节伸展角峰值减小,但摆动期时最大屈曲角度却没有下降,这表明膝外翻矫形器并不会阻碍膝关节的运动。

2.2.2 KO 的临床疗效 2019 年美国手、腕和膝部骨性关节炎治疗指南中强烈推荐佩戴膝关节矫形器治疗 KOA^[39]。曹建业等^[40]发现佩戴 KO 后的视觉模拟量表评分(visual analogue score, VAS)、日本骨科协会评估治疗分数(Japanese orthopaedic association scores, JOA)和美国膝关节协会评分(Knee society score, KSS)评分均有明显改善。Ostrander 等^[41]研究也表明,对 KOA 患者使用免负荷 KO 可以改善疼痛。同时,佩戴 KO 可以固定松弛的韧带、关节囊和萎缩的肌肉,提高膝关节稳定性。但有研究表明,KO 对 KOA 患者的疼痛和功能活动改善只在短期有效,当长期佩戴时效果不明显。因此 Yinuo Fan 等^[42]进行了一项关于 KO 对 KOA 患者疼痛和功能活动长期影响的 Meta 分析,结果发现随访时间<24 周的 KOA 患者 WOMAC 疼痛评分改善明显,但当随访时间>24 周时,疼痛没有减轻。同时 WOMAC 功能评分中,并未发现穿戴 KO 后有统计学差异。国内龙雄武等^[43]对 60 例膝内侧膝骨关节炎患者随机分组,结果发现 KO 治疗 1d、1 周、1 个月时 WOMAC 评分(疼痛、功能、僵硬)明显下降,并且在 2、3 个月时 WOMAC 评分维持在稳定状态。但对照组在治疗 1 个月后才开始有所改善,并且同一时间点,实验组均较对照组评分减少明显。目前的 KO 临床验证大部分都是短期^[40-43],在 Moyer 等^[44]的 Meta 分析中,30 项研究中只有 3 项在进行长期随访。Cudeiko 等^[45]的荟萃分析也是只关注短期随访。在这些短期随访中,KO 对 KOA 的治疗是有显著效果的,未来我们需要继续探讨长期佩戴 KO 对下肢生物力学的影响和临床疗效。传统 KO 治疗 KOA 时因为髌状突垫或带子的刺激,可能会引起皮肤不适,导致患者不愿坚持治疗。同时膝关节做屈伸运动时,由于终末旋转功能会导致小腿自旋,从而带来矫形器滑脱的问题。虽然 LWI 不会引起这些问题,但其减少 KAM 的生物力学效应有限^[31]。因此,未来我们需要对传统矫形器进行改良,以解决上述问题,从而达到更好的治疗效果。

2.3 力学矫形鞋

2.3.1 力学矫形鞋对 KOA 的生物力学影响 近年越多的研究表明力学矫形鞋在治疗 KOA 中有积极作用^[46-47]。目前临床中的矫形鞋大致分为两类:内置型和外置型。前者主要是将矫形鞋垫与鞋子结合,作用机制与矫形鞋垫一样。后者主要是通过半球形滚轴改

变患者步行中足部与地面的接触点,使GRF的冠状面分力减小,并且使垂直面的分力向膝关节中心偏移,从而分解步行过程中膝关节承受的压力,缓解疼痛。美国生产的APOS生物力学鞋由放置在每只脚后足和前足区域下方的凸起可调节生物力学元件组成,治疗师可以根据每个患者的自身情况定制生物力学元件的位置,从而改变步行过程中的足底压力中心的轨迹,进而改变GRF,最终改变膝关节运动链内的力矩。同时,该力学矫形鞋引入步态干扰进行神经肌肉再教育,在一定程度上可以改善患者的步行功能。

2.3.2 力学矫形鞋的临床疗效 Stephan等^[48]对220名膝骨关节炎患者随访24周研究发现,穿戴Apos生物力学矫形鞋组的WOMAC总体评分有显著下降,其中疼痛、僵硬亚评分下降最大;并且Apos组的步速、步长和单腿支撑期百分比均优于对照组,但是2组在SF-36和心理方面没有统计学差异。然而,这种力学矫形鞋不能推广到跌倒高危人群,同时膝关节严重疼痛的人也不适用,所以该矫形鞋的有效性和安全性还需进一步长期试验验证。

3 小结

KOA是一种因下肢力线异常导致的关节疾病,内侧间室的负荷增加对整个下肢都产生了影响。因此利用穿戴矫形器来改变COP的偏移、缩短GRF与膝关节中心的垂直距离、减小膝内翻角度等机制,可以降低KAM,达到减轻膝关节负荷的目的。但目前矫形器治疗KOA的临床疗效的评估存在争议,未来仍需大量的随机对照试验对此进行长期验证,以便提供更多的证据指导。随着科技的发展,矫形器将会越来越普及、便携与适用,KOA的治疗将不再局限于传统的物理治疗或药物治疗,而是从KOA的生物力学机制出发,采用辅具进行联合干预与矫正,达到 $1+1>2$ 的效果。

【参考文献】

- [1] Hawker G A. Osteoarthritis is a serious disease[J]. Clin Exp Rheumatol, 2019, 37, Suppl 120(5): 3-6.
- [2] 张二瑞,黄遂柱. 膝关节骨性关节炎诊断及治疗的研究[J]. 医学信息, 2021, 34(12): 58-60.
- [3] Cao P, Li Y, Tang Y, et al. Pharmacotherapy for knee osteoarthritis: current and emerging therapies[J]. Expert Opin Pharmacother, 2020, 21(7): 797-809.
- [4] 中国老年保健医学研究会老龄健康服务与标准化分会;《中国老年保健医学》杂志编辑委员会;北京小汤山康复医院. 中国高龄脑卒中患者康复治疗技术专家共识[J]. 中国老年保健医学, 2019, 17(1): 3-16.
- [5] 吴克亮,肖庆华,张震,等. PRP联合金天胶胶囊对人膝关节炎关节液IL-1 β 、IL-6及TNF- α 水平的影响[J]. 中国老年学杂志, 2021, 41(10): 2110-2114.
- [6] Cohen E, Lee Y C. A Mechanism-Based Approach to the Management of Osteoarthritis Pain[J]. Curr Osteoporos Rep, 2015, 13(6): 399-406.
- [7] Bjordal J M, Ljunggren A E, Klovning A, et al. Non-steroidal anti-inflammatory drugs, including cyclo-oxygenase-2 inhibitors, in osteoarthritic knee pain: meta-analysis of randomised placebo controlled trials[J]. Bmj, 2004, 329(7478): 1317.
- [8] Zhang W, Nuki G, Moskowitz R W, et al. OARSI recommendations for the management of hip and knee osteoarthritis: part III: Changes in evidence following systematic cumulative update of research published through January 2009[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2010, 18(4): 476-499.
- [9] Fawaz W S, Masri B A. Allowed Activities After Primary Total Knee Arthroplasty and Total Hip Arthroplasty[J]. Orthop Clin North Am, 2020, 51(4): 441-452.
- [10] 程兴旺,张峡. 膝关节外翻全膝关节置换术的进展[J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28(6): 527-531.
- [11] Birmingham T B, Marriott K A, Leitch K M, et al. Association Between Knee Load and Pain: Within-Patient, Between-Knees, Case-Control Study in Patients With Knee Osteoarthritis[J]. Arthritis Care Res (Hoboken), 2019, 71(5): 647-650.
- [12] Sasaki K, Neptune R R. Individual muscle contributions to the axial knee joint contact force during normal walking[J]. J Biomech, 2010, 43(14): 2780-2784.
- [13] Bennell K L, Bowles K A, Wang Y, et al. Higher dynamic medial knee load predicts greater cartilage loss over 12 months in medial knee osteoarthritis[J]. Ann Rheum Dis, 2011, 70(10): 1770-1774.
- [14] 邱荣美,王德强. 外侧楔形鞋垫对内侧膝关节炎下肢关节力学影响的研究进展[J]. 中国医学工程, 2019, 27(3): 38-43.
- [15] Yasuda K, Sasaki T. The mechanics of treatment of the osteoarthritic knee with a wedged insole[J]. Clin Orthop Relat Res, 1987(215): 162-172.
- [16] Hinman R S, Payne C, Metcalf B R, et al. Lateral wedges in knee osteoarthritis: What are their immediate clinical and biomechanical effects and can these predict a three-month clinical outcome? [J]. Arthritis & Rheumatism-Arthritis Care & Research, 2008, 59(3): 408-415.
- [17] 张旻,陈博,江澜,等. 两种不同矫形器对早期内侧间室膝关节骨性关节炎步态的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2014, 29(1): 26-30,46.
- [18] Esfandiari E, Sanjari M A, Jamshidi A A, et al. Gait initiation and lateral wedge insole for individuals with early knee osteoarthritis[J]. Clin Biomech, 2020, 80(1): 105163.
- [19] Najafi B, Miller D, Jarrett B D, et al. Does footwear type impact the number of steps required to reach gait steady state?: an innovative look at the impact of foot orthoses on gait initiation[J]. Gait Posture, 2010, 32(1): 29-33.
- [20] Dessery Y, Belzile é, Turmel S, et al. Effects of foot orthoses with medial arch support and lateral wedge on knee adduction moment in patients with medial knee osteoarthritis[J]. Prosthet Orthot Int, 2017, 41(4): 356-363.

- [21] Kerrigan D C, Lelas J L, Goggins J, et al. Effectiveness of a lateral-wedge insole on knee varus torque in patients with knee osteoarthritis[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2002, 83(7): 889-893.
- [22] Jones R K, Chapman G J, Parkes M J, et al. The effect of different types of insoles or shoe modifications on medial loading of the knee in persons with medial knee osteoarthritis; a randomised trial[J]. *J Orthop Res*, 2015, 33(11): 1646-1654.
- [23] Jones R K, Chapman G J, Forsythe L, et al. The relationship between reductions in knee loading and immediate pain response whilst wearing lateral wedged insoles in knee osteoarthritis[J]. *J Orthop Res*, 2014, 32(9): 1147-1154.
- [24] 张旻, 马峥, 江澜, 等. 不同外侧楔形矫形鞋垫对内侧面室膝骨性关节炎患者步态的影响[J]. *中国康复*, 2015, 30(1): 61-64.
- [25] Hsieh R L, Lee W C. Clinical effects of lateral wedge arch support insoles in knee osteoarthritis: A prospective double-blind randomized study[J]. *Medicine*, 2016, 95(27): e3952.
- [26] Felson D T, Parkes M, Carter S, et al. The Efficacy of a Lateral Wedge Insole for Painful Medial Knee Osteoarthritis After Pre-screening: A Randomized Clinical Trial[J]. *Arthritis Rheumatol*, 2019, 71(6): 908-915.
- [27] Salam A, Awan M W, Mahmood T, et al. Application of lateral wedge in knee osteoarthritis for improving pain and quality of life [J]. *Journal of the Liaquat University of Medical and Health Sciences*, 2019, 18(2): 146-151.
- [28] Englund M, Guermazi A, Gale D, et al. Incidental meniscal findings on knee MRI in middle-aged and elderly persons[J]. *N Engl J Med*, 2008, 359(11): 1108-1115.
- [29] Lee D H, Lee B S, Kim J M, et al. Predictors of degenerative medial meniscus extrusion: radial component and knee osteoarthritis[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2011, 19(2): 222-229.
- [30] Ishii Y, Deie M, Fujita N, et al. Effects of lateral wedge insole application on medial compartment knee osteoarthritis severity evaluated by ultrasound[J]. *Knee*, 2017, 24(6): 1408-1413.
- [31] Petersen W, Ellermann A, Zantop T, et al. Biomechanical effect of unloader braces for medial osteoarthritis of the knee: a systematic review (CRD 42015026136)[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2016, 136(5): 649-656.
- [32] Toriyama M, Deie M, Shimada N, et al. Effects of unloading bracing on knee and hip joints for patients with medial compartment knee osteoarthritis [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2011, 26(5): 497-503.
- [33] Orishimo K F, Kremenik I J, Lee S J, et al. Is valgus unloader bracing effective in normally aligned individuals: implications for post-surgical protocols following cartilage restoration procedures [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2013, 21(12): 2661-2666.
- [34] Jones R K, Nester C J, Richards J D, et al. A comparison of the biomechanical effects of valgus knee braces and lateral wedged insoles in patients with knee osteoarthritis[J]. *Gait Posture*, 2013, 37(3): 368-372.
- [35] Fantini Pagani C H, Hinrichs M, Brüggemann G P. Kinetic and kinematic changes with the use of valgus knee brace and lateral wedge insoles in patients with medial knee osteoarthritis[J]. *J Orthop Res*, 2012, 30(7): 1125-1132.
- [36] Fantini Pagani C H, Potthast W, Brüggemann G P. The effect of valgus bracing on the knee adduction moment during gait and running in male subjects with varus alignment [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2010, 25(1): 70-76.
- [37] Moyer R F, Birmingham T B, Dombroski C E, et al. Combined effects of a valgus knee brace and lateral wedge foot orthotic on the external knee adduction moment in patients with varus gonarthrosis[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2013, 94(1): 103-112.
- [38] Lamberg E M, Streb R, Werner M, et al. The 2- and 8-week effects of decompressive brace use in people with medial compartment knee osteoarthritis[J]. *Prosthet Orthot Int*, 2016, 40(4): 447-453.
- [39] Kolasinski S L, Neogi T, Hochberg M C, 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.
- [40] 曹建业, 李亚萍, 张峰, 等. 综合康复干预措施治疗内侧间室狭窄型退变性膝骨关节炎[J]. *广东医学*, 2018, 39(9): 1372-1375.
- [41] Ostrander R V, Leddon C E, Hackel J G, et al. Efficacy of Unloader Bracing in Reducing Symptoms of Knee Osteoarthritis[J]. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*, 2016, 45(5): 306-311.
- [42] Fan Y, Li Z, Zhang H, et al. Valgus knee bracing may have no long-term effect on pain improvement and functional activity in patients with knee osteoarthritis: a meta-analysis of randomized trials[J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15(1): 373.
- [43] 龙雄武, 任乐夫, 彭伟, 等. 膝关节可调外翻矫形器在膝骨关节炎中的应用[J]. *中国康复*, 2014, 29(3): 238-239.
- [44] Moyer R F, Birmingham T B, Bryant D M, et al. Biomechanical effects of valgus knee bracing: a systematic review and meta-analysis[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2015, 23(2): 178-188.
- [45] Cudejko T, Van Der Esch M, Van Der Leeden M, et al. Effect of Soft Braces on Pain and Physical Function in Patients With Knee Osteoarthritis: Systematic Review With Meta-Analyses[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2018, 99(1): 153-163.
- [46] Veeramachaneni R P, Bartels M N, Frison K T, et al. Poster 144 The Effect of Footwear Generated Biomechanical Manipulation on Gait Parameters and Symptoms in a Knee Osteoarthritis Population[J]. *Pm r*, 2016, 8(9s): S208.
- [47] Van Ginckel A, Bennell K L, Campbell P K, et al. Associations between changes in knee pain location and clinical symptoms in people with medial knee osteoarthritis using footwear for self-management: an exploratory study[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2017, 25(8): 1257-1264.
- [48] Reichenbach S, Felson D T, Hincapié C A, et al. Effect of Biomechanical Footwear on Knee Pain in People With Knee Osteoarthritis: The BIOTOK Randomized Clinical Trial [J]. *Jama*, 2020, 323(18): 1802-1812.