

力学矫正疗法治疗膝骨性关节炎的研究进展

张旻^{1,2}, 庞坚^{1,2}, 陈博^{1,2}, 郭海玲^{1,2}, 沈洁³, 郑煜新^{1,2}, 詹红生^{1,2}

【关键词】 力学矫正疗法; 膝骨关节炎; 生物力学; 关节应力

【中图分类号】 R49; R684 【DOI】 10.3870/zgkf.2016.04.025

力学因素作为膝骨关节炎(Knee Osteoarthritis, KOA)发病的主要诱因之一目前已受到学术界的广泛认可^[1], 现今如何通过纠正膝关节的异常受力模式进而达到治疗疾病缓解患者临床症状已逐步成为一个新的研究热点。作为治疗 KOA 的有效手段之一力学矫正疗法近年来已逐步受到临床医师和研究者的认可, 该疗法在帮助患者纠正关节异常受力的同时还能发挥患者的主观能动性且其实施较为方便^[2-7], 因此其临床应用已越来越广泛。本文就力学矫正训练治疗 KOA 的临床研究现状进展综述如下。

1 膝关节的生物力学变化与 KOA 的发生

1.1 膝关节动力学与 KOA 的关系

近年来随着生物力学检测手段的不断发展和成熟, KOA 的生物力学变化越来越受到研究者的重视。大量的关节动力学、运动学研究表明该病的发生发展及严重程度与患者自身体重、相应关节在运动过程中所承受的载荷以及关节轴向对线的正常与否等力学因素的关系极为密切^[2,8-10]。在不同类型的 KOA 中以内侧间室型较为常见, 其发病率约为外侧间室型的 10 倍左右。这是由于正常人体在步行过程中约有 60%~80% 的地面反作用力经由膝关节内侧向躯干进行传导, 因而该侧较常累及^[11]。Harrington 等^[12]通过三维运动捕捉系统发现正常人体在一个完整步态周期中(Gait Cycle, GC)首次足跟触地瞬间膝关节在冠状面上出现一个较小的外翻力矩, 随后迅速转变为一个长时间大幅度的膝关节内收力矩(External Knee Adduction Moment, EKAM), 即使是有膝关节外翻畸形的患者也不例外。

这一发现也一定程度阐释了内侧间室型 KOA 发病率较其他分型较高的原因。EKAM 的大小除了取决于个体在步行过程中所承受的地面反作用力外还与膝关节的轴向对线的正常与否关系密切, KOA 患者由于受累关节的关节软骨发生退变, 关节周围的肌肉与韧带松弛致使受累关节轴向对线向内侧发生偏转, 随之关节中心距离地面反作用力之间的间距延长, 因而相较于正常人群内侧间室 KOA 患者的 EKAM 显著增高^[7], EKAM 的增加导致膝关节力学环境恶化, 关节应力急剧上升, 随之患者在运动过程中受累关节稳定性下降并伴有一系列非正常的关节生物力学变化从而使病情进一步加重^[13]。Sharma 等^[14]的研究显示 EKAM 每增加一个单位, 膝关节的关节间隙相应减小 0.63mm, 而日本学者 Miyazaki 等^[2]通过对 106 名 KOA 患者多年随访后发现 EKAM 每增加 1% 则 KOA 的发展进程将加快 6 倍, 据此 2013 年在费城举行的 OARSI 年会上, 来自美国斯坦福大学的 Andriacchi^[1]教授提出在未来 EKAM 的变化将成为评估 KOA 患者的一个重要临床指标。

1.2 膝关节屈伸肌群肌力变化与 KOA 的发展

KOA 患者受累关节的力学环境恶化除了受到关节动力学影响外也与其周围屈伸肌力大小及协调性关系密切, 肌肉在为关节运动提供必要动力来源的同时对维持关节稳定性, 应力的缓冲及分布中起着极为重要的作用^[15]。KOA 患者神经肌肉的动员能力由于关节软骨的退变而受到了一定程度的抑制, 导致关节周围屈伸肌群肌力下降, 受累关节的运动功能逐渐缺失, 关节负荷加大, 其关节应力分布失衡加剧, 稳定性进一步下降, 进而加重临床症状并形成恶性循环^[15]。

1.3 不同类型的 KOA 的生物力学特征

常见的 KOA 包括内侧间室型、外侧间室型及股髌型。不同类型的 KOA 因素累及的部位不同其生物力学特征也不尽相同^[16]。Mehta 等^[17]认为内侧及外侧间室型 KOA 的发生与受累关节的内翻及外翻畸形关系十分密切。膝关节内外翻畸形使关节轴向对线产生偏移, 关节受力失衡, 一侧关节面的负重异常增加, 从而导致使关节

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(81403414; 81403415; 81503592); 上海市卫计委青年项目(20154Y0176); 上海中医药大学预算内项目(2013JW47)

收稿日期: 2015-06-15

作者单位: 1. 上海中医药大学附属曙光医院石氏伤科医学中心, 上海 201203; 2. 上海市中医药研究院骨伤科研究所, 上海 201203; 3. 上海同济大学附属上海市第八人民医院康复医学科, 上海 201203

作者简介: 张旻(1982-), 男, 研究实习生, 主要从事骨关节康复方面的研究。

通讯作者: 沈洁, 864341587@qq.com

软骨退变加重形成恶性循环,也有研究证实大部分KOA患者胫骨上端有不同程度的内翻,因而推测内侧间室型KOA的发病率远高于其他两型可能与此有密切关系^[18]。Terauchi^[19]证实内侧间室型KOA的生物力学变化还可能与骨质疏松也有潜在的关联,骨质疏松可导致胫骨上端产生微骨折进而导致胫骨角增大,胫骨内翻加剧,关节力学环境进一步恶化。相较于内侧间室型及外侧间室型,股髌型KOA在步行时疼痛并不明显,但在下楼时由于股髌关节承受相当于2倍体重的压力因而疼痛显著加重,据此多数患者会选择通过减小上下楼梯时的膝关节屈膝角度来缓解疼痛,然而研究证实这样的非正常运动会降低下肢关节的震荡吸收功能,加大关节承载频率使关节异常受力增加,进而导致疾病加剧恶化^[20]。

2 现有的力学矫正疗法及其临床效果

2.1 外侧楔形角矫形鞋垫 迄今为止已有许多研究报道通过不同形式的力学矫正疗法可有效缓解膝关节在运动过程中所承受的应力,其中尤以外侧楔形角矫形鞋垫(Lateral Wedges, LW)的相关研究最为多见^[3,21-25]。早在1987年日本学者Sasaki^[23]通过研究发现在膝骨性关节炎患者足底加上一个外侧楔形角脚垫后患者在静态及运动过程中EKAM明显降低,近年来又有许多学者对KOA患者佩戴不同角度,材质,外形的外侧楔形角矫形鞋垫后的膝关节生物力学变化进行了一系列的研究^[3,21-22]。Kerrigan等^[21]的研究发现当KOA患者佩戴外侧楔形角度设定为 5° 及 10° 的矫形鞋垫后患者在运动过程中的EKAM均有明显的降低,但两者之间并没有统计学差异。然而部分患者在穿戴 10° 的矫形鞋垫后踝关节产生了不同程度的不适感,部分患者甚至因为无法忍受使用过程中踝关节产生的不适感最后放弃使用该治疗模式,据此Kerrigan认为楔形角设定为 5° 更为合适。日本学者Toda^[22]随访84名KOA患者4周后发现相比海绵橡胶鞋垫聚氨酯矫形鞋垫舒适度更佳,这可能是由于聚氨酯矫形鞋垫相较于海绵橡胶鞋垫的弹性模量更高在使用过程中不易发生形变所致。此后又有针对传统外侧楔形角矫形鞋垫的外形上加以改进^[3],研究发现相较于传统鞋垫在足弓处增加支撑后可以增加使用过程中的下肢前进角度,进而进一步减小EKAM,缓解膝关节在步行过程中膝关节所承受的应力,且该新设计的足弓支撑鞋垫在使用过程中不会引起踝关节的不适,因而能给使用者带来更好的体验。此外也有研究者对佩戴外侧楔形角矫形鞋垫后的足底中心压力轨迹变化产生兴趣,Ruesll等^[26]发现,受测者佩戴矫形鞋垫后

的足底压力中心轨迹均由内侧向外侧发生偏移,使地面反作用力向膝关节中心偏移,进而减小膝关节在冠状面上的载荷。这一良性结果提示外侧楔形角矫形鞋垫或有助于降低肥胖人群患内侧间室型KOA的风险。然而迄今为止仍然缺乏长期佩戴外侧楔形角矫形鞋垫的纵向研究,因而长期佩戴后是否能缓解患者的临床症状还有待进一步研究。

2.2 膝关节外翻矫形器 膝关节外翻矫形器(Valgus Knee Bracing, VKB)由于其没有副作用且操作简便现已广泛运用于KOA的治疗^[13],它通过三点力学受力原理矫正膝关节的非正常受力模式。第一力通过固定在关节周围的弹性绷带提供将膝关节的关节中心向内侧发生偏转,随后由双侧铰链提供反向作用力增加膝关节内侧间室的间隙,同时减小EKAM进而达到减小关节压力,减轻患者疼痛的目的。先前已有多篇研究报道通过佩戴膝关节外翻矫形器纠正KOA患者膝关节在步行过程中的轴向对线进而减轻疼痛并增加膝关节稳定性^[4,13,27-29],然而该治疗方式价格昂贵且患者佩戴后行动较为不便,因而有部分患者不愿意采用该治疗方案。

2.3 力学矫正鞋 近年来已有越来越多的研究报道矫正鞋(Footwear)在治疗KOA中的作用,其通过改变患者在步行过程中足部与地面的接触点使地面反作用力向膝关节的中心发生偏移^[5],从而分解患者膝关节在运动过程中所产生的应力缓解疼痛。英国国家临床规范研究院(National Institute of Clinical Excellence, NICE)推荐的指南中明确指出力学矫正鞋可作为KOA的保守疗法之一。Elbaz等^[5]对58名单侧KOA患者跟踪研究发现,佩戴Apos矫形鞋6个月后患者的步频、步长及单侧支撑相百分比分别上升15.9%,10.3%及2.7%,SF-36量表各项指数均有明显改善。Jones等^[6]的报道也证实早期KOA患者在使用矫形鞋后EKAM显著降低,患者步行功能及WOMAC评分得到不同程度的改善。在澳大利亚大约有1/3的KOA患者由足踝外科医师推荐使用硬底或者足弓支撑矫正鞋来缓解临床症状^[30]。然而目前仍缺乏长期佩戴矫形鞋的随访研究,因而其远期疗效仍有待进一步证实。

2.4 肌力训练 膝关节的力学环境稳定与其周围屈伸肌群肌力的大小关系十分密切,先前已有报道增加膝关节屈伸肌群的肌力可有助于缓解受累关节应力的异常分布并缓解临床症状,相较于单纯的药物治疗,股四头肌训练与药物结合治疗更为有效,患者经后者治疗6个月后VAS评分较前者有明显的改善,此外长期进行股四头肌训练后也能够有效降低EKAM峰

值^[31]。除膝关节伸肌肌群外屈膝肌群肌力的增加同样也对 KOA 患者有所帮助^[32],有研究证实 KOA 患者膝关节屈伸肌群等速峰力矩与 WOMAC 的疼痛及功能障碍评分呈负相关,肌力的增加不但可有助于改善关节稳定性,也能帮助纠正关节轴向对线的异常,进而降低关节局部过高的压力,促进软骨修复缓解临床症状^[33]。因而在 KOA 患者的康复过程中在重视膝关节伸肌群肌力的同时还需要兼顾如腓绳肌、腓肠肌等屈膝肌群的训练^[32,34-35]。

2.5 步态矫正训练 步态矫正训练(Gait Modification Training Program, GMTP)作为一种新兴的力学矫正疗法其相关研究及机制已经引起越来越多研究者的兴趣。Shull 等^[7]发现早期 KOA 患者步行过程中足外旋角度增加约 5°后,EKAM 第二波峰峰值可减小 15%以上,而通过 6 个月的足外旋步态训练后患者膝关节疼痛症状明显缓解,VAS 疼痛评分,WOMAC 疼痛评分及关节功能评分均不同程度的得到了缓解。与增加足外旋角度不同,足内旋角度的升高同样有助于减小患者在步行过程中 EKAM,然而与前者降低 EKAM 集中于第二波峰不同的是该法对 EKAM 的降低主要集中在第一波峰^[28]。除了足内外旋角度的变化外,步行中躯干的摆动幅度的增加同样能够对 EKAM 产生影响,Hunt 等^[8]的研究表明 KOA 患者在运动过程中身体向外侧摆动幅度增加 4°、8°、12°后 EKAM 分别相应减小 7%、21%及 25%,而长期练习后患者的临床症状均得到了不同程度的缓解。步态矫正训练已被证实是一种有效的治疗 KOA 的方式,而且价格极为低廉,练习极为方便,但是如何保证患者在日常生活中坚持并有效的训练依然是临床医生和治疗师不得不面临的问题和难点。

3 力学矫正疗法所面临的挑战

由于力学矫正疗法可有效的纠正关节力线从根本上解决关节的异常受力,因此相较于传统的保守治疗有其独特的优势,但是该治疗方法在实施过程中依然面临许多挑战。外侧楔形角矫形鞋垫虽然价格较低且佩戴较为方便,但是由于其增加了踝关节的外翻角度,部分患者在使用过程中出现了踝关节的不适,因而最终不得不放弃使用该治疗模式。此外,使用较软的材质制作矫形鞋垫虽然能够给使用者带来更为舒适的体验,但由于材料缺乏足够的硬度因而容易产生形变无法长期使用,因此未来在设计新型鞋垫时无论外型或材质等都还需要进一步改善以避免此类情况发生。膝关节矫形器和力学矫形鞋虽鲜有不良反应的报道,但是这两种治疗方式价格较为昂贵,目前国外较为流行

的 Apos 矫形鞋在英国售价高达 3 万人民币一双^[36],其价格并不能为大部分患者所接受,因此如何切实有效的降低此类疗法的价格成为研究人员面前的一道难题。先前已有许多研究证实肌力训练对缓解 KOA 患者的关节异常受力有着显著的疗效^[31-32,34],然而进行该种训练时为了达到最佳的训练效果需要专业的仪器及设备因而不易实施。近年来步态矫正训练疗法由于其无创花费低廉且易于操作受到了越来越多研究者的重视,但该疗法实施过程中依然面临着不小的挑战,其中最主要的问题就是患者如何学会正确的训练方法,先前的研究显示单一的口头指导有时候并不能让患者完全掌握该治疗方法的关键环节^[34]。此外如何切实的提高该方法在的疗效也是摆在临床医师面前的另一个难题之一,有研究报道患者在经过步态训练后膝关节内收力矩有所降低,然而其幅度相较于矫形鞋垫,膝关节外翻矫形器以及矫形鞋较小,因此长期练习后是否能大幅度纠正受累关节的异常受力模式还有待进一步的验证。

4 总结

相较于传统的 KOA 治疗方法,力学矫正疗法作为一种新兴的治疗方法对于矫正 KOA 患者受累关节的轴向对线以及异常受力有着良好的疗效,且该种疗法已经在海外广泛应用。然而在国内,此疗法尚处于空白阶段,其应用过程中也存在着一定的问题。但从力学的角度来研究及治疗 KOA 病理机制及研发新的力学治疗方式值得进一步研究,也为临床上 KOA 的治疗提供新的思路。

【参考文献】

- [1] Andriacchi TP. The role of biomechanics in osteoarthritis[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2013, 21 (Supplement) :S1-S2.
- [2] 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.
- [3] Jones RK, Zhang M, Laxton P, et al. The biomechanical effects of a new design of lateral wedge insole on the knee and ankle during walking[J]. Hum Mov Sci, 2013, 32(4) :596-604.
- [4] Min Zhang, Peiyu Qu, Meilan Feng, et al. Effectiveness of Different Orthoses on Joint Moments in Patients with Early Knee Osteoarthritis:Lateral Wedge Versus Valgus Knee Bracing[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Science), 2012, 17 (4) : 505-510.
- [5] Elbaz A, Mor A, Segal G, et al. Patients with knee osteoarthritis demonstrate improved gait pattern and reduced pain following a non-invasive biomechanical therapy: a prospective multi-centre study on Singaporean population[J]. J Orthop Surg Res, 2014, 9

- (1): 1-1.
- [6] Jones RK, Chapman GJ, Parkes MJ, 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.
- [7] 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.
- [8] Hunt MA, Simic M, Hinman RS, et al. Feasibility of a gait retraining strategy for reducing knee joint loading: increased trunk lean guided by real-time biofeedback[J]. *J Biomech*, 2011, 44(5):943-947.
- [9] Turajane T, Chaweevanakorn U, Sungkhun P, et al. Cost-utility analysis and economic burden of knee osteoarthritis treatment: the analysis from the real clinical practice[J]. *J Med Assoc Thai*, 2012, 95(Suppl 10): S98-104.
- [10] Fantini Pagani CH, Willwacher S, Benker R, et al. Effect of an ankle-foot orthosis on knee joint mechanics: A novel conservative treatment for knee osteoarthritis[J]. *Prosthet Orthot Int*, 2013, 38(6): 481-491.
- [11] Thorp LE, Wimmer MA, Block JA, et al. Bone mineral density in the proximal tibia varies as a function of static alignment and knee adduction angular momentum in individuals with medial knee osteoarthritis[J]. *Bone*, 2006, 39(5):1116-1122.
- [12] Harrington IJ. Static and dynamic loading patterns in knee joints with deformities[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1983, 65(2): 247-259.
- [13] 张旻, 江澜. 佩带膝外翻支具膝关节炎患者膝关节的生物力学变化[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2011, 15(17): 3109-3112.
- [14] 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.
- [15] 余丽媛, 魏苗, 胥方元. 股四头肌肌力训练综合治疗膝关节炎[J]. *中国伤残医学*, 2013, 21(3):228-229.
- [16] 叶永平, 蒋焱, 曾炳芳. 膝关节炎病因、X线片及临床表现分析[J]. *临床骨科杂志*, 2000, 3(3):169-173.
- [17] Jyoti Mehta MOT, KP Mulgaonkar MOT. Effect of laterally raised footwear on bilateral medial compartment knee osteoarthritis and its biomechanical analysis- a comparative study[J]. *The Indian Journal of Occupational Therapy*, 2014, 3: P51-56.
- [18] 刘源, 曾庆余, 黄少弼, 等. 膝症状性骨关节炎 320 例 X 线分析[J]. *中华风湿病学杂志*, 1997, 1(1):44-46.
- [19] Terauchi M, Shirakura K, Katayama M, et al. The influence of osteoporosis on varus osteoarthritis of the knee[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1998, 80(3):432-436.
- [20] Oliveira Silva D, Briani RV, Pazzinatto MF, et al. Reduced knee flexion is a possible cause of increased loading rates in individuals with patellofemoral pain [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2015, 30(9):971-975.
- [21] Kerrigan DC, Lelas JL, 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] Toda Y, Tsukimura N. A comparative study on the effect of the insole materials with subtalar strapping in patients with medial compartment osteoarthritis of the knee[J]. *Mod Rheumatol*, 2004, 14(6):459-465.
- [23] Sasaki T, Yasuda K. Clinical evaluation of the treatment of osteoarthritic knees using a newly designed wedged insole[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1987, 181-187.
- [24] Yeo BK, Bonanno DR. The effect of foot orthoses and in-shoe wedges during cycling: a systematic review[J]. *J Foot Ankle Res*, 2014, 7(1):1-11.
- [25] Ganesan M, Lee YJ, Aruin AS. The effect of lateral or medial wedges on control of postural sway in standing[J]. *Gait Posture*, 2014, 39(3):899-903.
- [26] Russell EM, Miller RH, Umberger BR, et al. Lateral wedges alter mediolateral load distributions at the knee joint in obese individuals[J]. *J Orthop Res*, 2013, 31(5):665-671.
- [27] 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.
- [28] Tiggelen D, Witvrouw E, Roget P, et al. Effect of bracing on the prevention of anterior knee pain—a prospective randomized study[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2004, 12(5): 434-439.
- [29] Draper ER, Cable JM, Sanchez-Ballester J, et al. Improvement in function after valgus bracing of the knee. An analysis of gait symmetry[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2000, 82(7):1001-1005.
- [30] Paterson KL, Wrigley TV, Bennell KL, et al. A survey of footwear advice, beliefs and wear habits in people with knee osteoarthritis[J]. *J Foot Ankle Res*, 2014, 7(1):43-43.
- [31] Bennell KL, Egerton T, Wrigley TV, et al. Comparison of neuromuscular and quadriceps strengthening exercise in the treatment of varus malaligned knees with medial knee osteoarthritis: a randomised controlled trial protocol[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2011, 12(9):1-12.
- [32] 安丙辰, 郑洁皎, 沈利岩. 膝关节炎与膝关节伸、屈肌群肌力的相关性研究[J]. *医用生物力学*, 2015, 12(2):174-178.
- [33] Hafez AR, Al-Johani AH, Zakaria AR, et al. Treatment of knee osteoarthritis in relation to hamstring and quadriceps strength [J]. *J Phys Ther Sci*, 2013, 25(11):1401-1405.
- [34] 安丙辰, 戴尅戎. 影响膝关节炎发病及进展的生物力学因素[J]. *国际骨科学杂志*, 2012, 33(3):153-156.
- [35] Fregly BJ. Gait modification to treat knee osteoarthritis[J]. *HSS J*, 2012, 8(1): 45-48.
- [36] Elbaz A, Mor A, Segal G, et al. APOS therapy improves clinical measurements and gait in patients with knee osteoarthritis[J]. *Clin Biomech (Bristol Avon)*, 2010, 25(9):920-925.