

·综述·

## 步态矫正训练治疗膝骨关节炎的研究进展\*

张 旻<sup>1,2</sup> 庞 坚<sup>1,2</sup> 陈 博<sup>1,2</sup> 郭海玲<sup>1,2</sup> 詹红生<sup>1,2,3</sup>

膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是一种以膝关节软骨的变性、破坏及骨质增生为主要病理特征的慢性退行性骨关节疾病,常见于60周岁以上的老年人<sup>[1-2]</sup>。在KOA的发生与发展中,力学因素扮演了重要角色<sup>[1-3]</sup>。近年来如何通过改善KOA患者受累关节的力学环境进而治疗疾病缓解临床症状已成为一个全新的研究热点。有研究证实<sup>[4-6]</sup>,步态矫正训练(gait training program, GTP)能够降低KOA患者受累关节在运动过程中异常增高的力学信号,并藉此缓解临床症状提高生存质量,因此,该疗法目前已被广泛运用于KOA的治疗之中。然而,GTP疗法在具体的运用过程中依然面临诸多问题,且国内尚未展开相关研究及治疗。本文查阅近年来国外相关文献,并对研究进展做一综述,以期进一步了解GTP在KOA治疗中的应用现状。

### 1 膝关节生物力学与KOA的发生

近年来随着下肢反向动力学模型的不断成熟与完善<sup>[7]</sup>,KOA患者在步行过程中膝关节的运动学及动力学研究已备受重视。大量的生物力学研究<sup>[1-3]</sup>证实,KOA的发生、发展及严重程度除了与患者的职业、年龄、性别等因素有关外,还与其自身体重、身体质量指数(body mass index, BMI)、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。在KOA的分型中,以内侧间室型最为常见,其发病率远高于外侧间室型。这是由于人体在步行时约有60%—80%的地面反作用力经由膝关节内侧向躯干进行传递,因而该侧较常累及<sup>[8]</sup>。有研究证实<sup>[9]</sup>,正常人在步行过程中为了维持躯干的稳定,膝关节在冠状面上存在长时间、大幅度的内收力矩。在支撑相中,膝关节内收力矩促使膝关节内翻,并进而增加胫股内侧关节软骨的载荷,因此,有学者认为<sup>[10-11]</sup>,膝关节内收力矩的变化客观反映了膝关节内侧间室在整个运动过程中所承受的应力大小。膝关节内收力矩的大小除了取决于个体在行走过程中的步速、步频、步长及地面反作用力大小外,也与膝关节的轴向对

线偏转关系密切。KOA患者由于受累关节的关节软骨发生退变,关节周围的软组织松弛致使关节的轴向对线向内侧旋转随之关节中心与地面反作用力之间的垂线延长,关节力臂增加,因而,相较于正常人群内侧间室KOA患者的膝关节内收力矩显著增高<sup>[2,8]</sup>。膝关节内收力矩的增加促使膝关节力学环境恶化,局部关节应力信号异常增加,进而导致患者在步行过程中关节稳定性下降并出现一系列异常的运动学轨迹变化,最终加重病情<sup>[12-13]</sup>。有研究显示<sup>[14]</sup>,膝关节内收力矩每增加1个单位,膝关节的关节间隙相应减小0.63mm,而膝关节内收力矩每增加1%则KOA的发展进程将加快6倍<sup>[2]</sup>,据此,2013年国际骨关节炎研究协会年会(osteoarthritis research society international, OARSI)上,来自美国斯坦福大学的研究者认为膝关节内收力矩的变化或将成为评估KOA患者的另一个黄金指标<sup>[1]</sup>。

### 2 现有GTP疗法的方法、临床效果及存在问题

#### 2.1 足内外旋步态训练

已有研究证实,改变人体在步行过程中足部的前进角度(foot progression angle, FPA)能够有效地降低膝关节内收力矩的峰值<sup>[6]</sup>。近年来,随着生物力学检测手段的不断发展成熟,已有研究者将这一发现转化并运用到KOA的步态训练治疗中<sup>[4-6,15-18]</sup>。Shull等<sup>[4]</sup>发现,早期KOA患者经由6个月的足外旋步态训练后,膝关节内收力矩的峰值可有效降低15%以上,视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)、WOMAC疼痛评分及关节功能评分均得到不同程度的改善,患者的临床症状随之也得到有效缓解。Shull等<sup>[5]</sup>还发现大量增加步行时足内旋角度也可有助于降低膝关节内收力矩,然而,与足外旋步态训练降低膝关节内收力矩第二波峰不同的是,足内旋训练对膝关节内收力矩的改善主要集中在第一波峰,产生这一差异的原因是由于增加内旋角度后足部在初次着地瞬间时由足跟着地转变为足尖着地,因而在支撑相早期膝关节所受到的地面反作用力显著降低,进而使膝关

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.09.025

\*基金项目:上海中医药大学预算内项目(2013JW47);国家自然科学基金青年项目(81503592);上海市卫计委科研课题青年项目(20154Y0176)

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; 3 通讯作者  
作者简介:张旻,男,助理研究员; 收稿日期:2016-03-18

节内收力矩第一波峰显著降低。Simic等<sup>[16]</sup>同时对比了两种训练后发现,与内旋步态相比,足外旋步态除了能够显著降低膝关节内收力矩的峰值外,还能有效地减小膝关节内收力矩角冲量,这一结果提示后者能够减小整个步态周期中膝关节所承受的应力总和,因此,经长时间训练后足外旋步态对膝关节力学环境的改善可能会更为显著。然而,迄今为止仍缺乏两种不同训练方式的长时程随访研究,因此其差异仍有待进一步确认。此外,该疗法所面临的主要问题是患者如何学会正确的训练方式。已有研究表明<sup>[19]</sup>,医师或治疗师单方面的口头指导有时不能让患者完全掌握该治疗方法训练过程中的所有关键环节,而这一情况可能会导致治疗效果大打折扣。因此如何使患者能够充分理解该训练方法的要领是康复医师及治疗师亟待解决的问题。

## 2.2 视觉反馈步态训练

作为近年来新兴的一种步态矫正训练方式,视觉反馈步态训练(visual feedback for gait retraining, VFGR)已被越来越多的应用到KOA的治疗中,有研究证实该疗法不但能够有效地缓解KOA患者的临床症状而且还能显著推迟膝关节置换手术的时间<sup>[6,18-19]</sup>。在进行VFGR治疗时,患者需要根据显示屏上给出的提示内容(如:信号灯颜色的变化、障碍物的出现和前进方位的变化等信息)进行步态调节。在训练过程中,患者的步速、步频、足部的旋转及躯体的倾斜均会依据提示信息做相应的变换,并藉此改变患者在运动过程中膝关节的受力模式,进而缓解临床症状。Van等<sup>[19]</sup>经过研究发现,患者通过VFGR训练后膝关节内收力矩峰值降低幅度可达到正常水平的50%左右,而Hunt等<sup>[6]</sup>也证实使用VFGR训练后KOA患者膝关节在冠状面上的载荷可有效降低25%。但是,该训练需要专业的仪器设备,且训练过程中存在一定的困难并伴有一定的关节不适感,因而其推广仍有一定的难度。此外,由于缺乏大样本量的纵向研究,该训练方法的远期疗效仍需要进一步探索。

## 2.3 躯干摆动步态训练

除了足内外旋角度的变化外,增加KOA患者在步行中躯干的摆动幅度(trunk sway, TS)同样能够对膝关节应力的分布产生巨大影响<sup>[6,20]</sup>。Hunt等<sup>[6]</sup>的研究证实KOA患者在运动过程中身体向外侧摆动幅度增加4°、8°、12°后膝关节内收力矩的峰值可相应减小7%、21%、25%,而经长期训练后,患者的临床症状均得到了不同程度的缓解。然而,Takacs<sup>[20]</sup>发现躯干摆动步态训练虽然可以显著改善KOA患者的膝关节异常受力模式及疼痛症状,但是长期训练后患者在静息状态下的能量代谢及心率相较于训练前有显著增加,过多的训练可能使患者易于疲劳并增加心血管疾病的发病风险,因此,采用该方式训练前对患者的筛选以及训练过程中患者的心率监测显得尤为重要<sup>[21]</sup>。此外,由于KOA患者躯体平衡功

能较差,增加KOA患者躯干在步行过程中的摆动幅度本身存在一定的危险性,因此,训练时必须要有康复治疗师在旁对应指导以降低危险发生的概率。而如何切实地提高该方法在训练过程中的安全性也是摆在临床医师及研究人员面前的另一个难题。

## 2.4 足外翻步态训练

上世纪80年代有研究发现,在适当增加KOA患者足外翻角度后其静态及运动过程中膝关节内收力矩均可显著降低<sup>[22]</sup>。这是由于足外翻角度的增加使足底中心压力轨迹由足内侧向外侧发生偏移所致。这一细微的变化缩短了地面反作用力与膝关节中心的距离,进而减小力臂降低膝关节内收力矩最终降低受累关节在运动过程中的载荷<sup>[23]</sup>。这一良性结果提示长期进行训练或有助于降低中老年人群患内侧间室型KOA的风险。近年来,越来越多的科研人员致力于足外翻步行的研究,Kerrigan等<sup>[24]</sup>发现当KOA患者足外翻角度增加5°及10°均能有效降低膝关节内收力矩,但两者之间未见显著差异。然而,过大的足外翻角度导致地面反作用力内侧方向的分力异常增高<sup>[25]</sup>,因此行走时踝关节产生了不同程度的疼痛感,部分患者甚至因为无法忍受训练过程中踝关节产生的不适感最后不得不放弃使用该治疗模式。据此,Kerrigan认为足外翻角度为5°更为合适<sup>[24]</sup>,在运动时也不易对踝关节造成损伤。Toda<sup>[26]</sup>对近百例KOA患者随访1个月后发现,患者的步频、步长及单侧支撑相百分比显著提高,SF-36量表各项指数均有明显改善,因此长期使用该训练方法具有一定的可行性。足外翻步态训练由于其无创、花费低廉且易于操作,因此受到了越来越多研究者及临床医务人员的重视。

## 2.5 裸足步行训练

已经有诸多研究报道证实膝关节内收力矩的峰值与KOA患者受累关节的影像学表现及疼痛程度关系密切<sup>[27-30]</sup>,因此,包括佩戴矫形辅具<sup>[31-32]</sup>在内的所有相关生物力学干预措施的目的均在于降低患者在运动过程中的膝关节内收力矩。然而,KOA患者日常所穿戴的鞋具同样会对其步行过程中关节所承受的应力产生较大的影响<sup>[33]</sup>。下肢各关节在步行过程中是一个有机的整体,对足部进行过多的干预不但会对膝关节内收力矩产生影响亦可能会对踝关节及髌关节造成潜在的危害。有研究发现<sup>[34]</sup>,KOA患者裸足步行后膝关节髌关节所受的应力以及步长、步频、关节活动范围均有显著的改善。Trombini等<sup>[28]</sup>的研究也证实与穿戴普通鞋子相比裸足行走时KOA患者膝关节所承受的应力显著降低(27%)。Shakoor等<sup>[35]</sup>通过对早期KOA患者进行24周的裸足步态训练后发现,患者的膝关节内收力矩、膝关节内收力矩角冲量均有显著降低。这一系列的研究结果提示,裸足步行训练可有效改善KOA患者的关节受力情况。研究者认为

[35-36],可能与裸足行走能够增加皮肤与地面接触时的本体感受有关。然而迄今为止还缺乏更深入的研究,因此该训练方法的作用机制还有待进一步探索。

## 2.6 佩戴矫形辅助具对步态的影响

已有大量研究证实<sup>[6,20,24,27]</sup>,有意识的步态矫正训练能够显著改善KOA患者的临床症状并提高其生存质量。然而,由于该疗法实施过程需要相关医务人员的协同指导,因此其推广存在一定的不便。通过让KOA患者在日常行走中佩戴相应的辅具使其能够在无意识状态下进行步态矫正训练或可以在一定程度上解决这一难题。近年来已有研究报道矫形辅具在KOA治疗中的作用。Elbaz等<sup>[29]</sup>的研究发现,早期KOA患者在佩戴力学矫形鞋6个月后SF-36量表各项指标均有显著改善,Jones等<sup>[32]</sup>的研究也证实力学矫正鞋可有效改善KOA患者的步行功能。在澳大利亚超过1/3的KOA患者使用硬底或者足弓支撑矫形鞋来降低受累关节异常增高的力学信号并藉此缓解疼痛症状<sup>[33]</sup>。英国国家卫生与临床优化研究所(national institute of clinical excellence, NICE)发布的KOA治疗指南中也明确推荐力学矫正鞋作为KOA有效的保守疗法之一。然而,迄今为止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。膝关节矫形器由于其不良反应较小且操作简便,现已被广泛运用于KOA的治疗<sup>[12-13]</sup>。已有多篇研究报道<sup>[12-13,25]</sup>,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。然而,患者佩戴后行动相对不便,因而有部分患者不愿意采用该治疗方案。矫形鞋垫由于其使用方便且价格低廉,因此,被越来越多的运用到KOA的治疗之中。已有多篇文献报道早期KOA患者佩戴矫形鞋垫后膝关节力学环境可得到有效改善<sup>[13,25,32]</sup>。然而,该疗法目前仍存在较大的争议。据报道,采用矫形鞋垫治疗可有效地降低KOA患者的疼痛评分指数<sup>[38]</sup>,然而与普通鞋垫相比两者间并没有显著区别,因此不能排除其存在安慰剂效应。

## 3 GTP训练的未来方向

大量的研究已经证实GTP训练的首要目标是降低KOA患者在步行过程中的异常力学信号<sup>[4-6,14-18,38]</sup>,然而这一指标的测量除了过程相对复杂外还需要大型仪器的配合,因此,未来需要开发出可以让患者随身携带并能实时测量这一指标的便携式系统来配合训练,更好地帮助医务人员实时了解患者训练的情况。此外,进一步开发出风险较小的训练方式也是未来该疗法需要解决的问题之一。

## 4 小结

相较于传统的KOA治疗方法,新兴的GTP疗法对于矫

正KOA患者受累关节的力学环境以及轴向对线有着较好的疗效,且该种疗法花费较低,不良反应较少,因此在国外已被广泛应用及探讨。目前在国内GTP疗法的相关研究尚处空白阶段,因此短期内推广有一定困难,此外,该治疗方式本身仍存在部分问题:①循证医学证据等级相对较低,缺乏大样本量多中心的随机对照研究;②训练过程中动作标准化存在一定困难,需要患者有较好的理解能力;③GTP疗法形式较为多样,对于不同类型的KOA患者应当采取何种训练方式更为合适需要进一步的研究及探讨。但从力学的角度来研究及治疗KOA值得进一步探索,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] 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(03):153-156.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Nha KW, Dorj A, Feng J, et al. Application of computational lower extremity model to investigate different muscle activities and joint force patterns in knee osteoarthritis patients during walking[J]. *Comput Math Methods Med*, 2013, (2013):314280.
- [8] 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.
- [9] Harrington IJ. Static and dynamic loading patterns in knee joints with deformities[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1983, 65(2):247-259.
- [10] Teichtahl A, Wluka A, Cicuttini FM. Abnormal biomechanics: a precursor or result of knee osteoarthritis?[J]. *B J Sports Med*, 2003, 37(4):289-290.

- [11] Jackson BD, Wluka AE, Teichtahl AJ, et al. Reviewing knee osteoarthritis: a biomechanical perspective[J]. *J Sci Med Sport*, 2004, 7(3):347—357.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [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] Cochrane CK, Takacs J, Hunt MA. Biomechanical mechanisms of toe-out gait performance in people with and without knee osteoarthritis[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2014, 29(1):83—86.
- [16] 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.
- [17] Hunt MA, Takacs J, Hart K, et al. Comparison of mirror, raw video, and real-time visual biofeedback for training toe-out gait in individuals with knee osteoarthritis[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2014, 95(10):1912—1917.
- [18] Ogaya S, Naito H, Iwata A, et al. Toe-out gait decreases the second peak of the medial knee contact force[J]. *J Appl Biomech*, 2015, 31(4):275—280.
- [19] van den Noort JC, Steenbrink F, Roeles S, et al. Real-time visual feedback for gait retraining: toward application in knee osteoarthritis[J]. *Med Biol Eng Comput*, 2015, 53(3):275—286.
- [20] Takacs J, Kirkham AA, Perry F, et al. Lateral trunk lean gait modification increases the energy cost of treadmill walking in those with knee osteoarthritis[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2014, 22(2):203—209.
- [21] 张学颖,周霞,郑东晗,等.中年人静息心率与心血管病发病风险的相关性研究[J].*实用预防医学*,2014,21(06):665—668.
- [22] Sasaki T, Yasuda K. Clinical evaluation of the treatment of osteoarthritic knees using a newly designed wedged insole[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1987, (221):181—187.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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(04):505—510.
- [26] 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.
- [27] Dowling AV, Fisher DS, Andriacchi TP. Gait modification via verbal instruction and an active feedback system to reduce peak knee adduction moment[J]. *J Biomech Eng*, 2010, 132(7):071007.
- [28] Trombini-Souza F, Kimura A, Ribeiro AP, et al. Inexpensive footwear decreases joint loading in elderly women with knee osteoarthritis[J]. *Gait Posture*, 2011, 34(1):126—130.
- [29] 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.
- [30] Tateuchi H, Taniguchi M, Takagi Y, et al. Immediate effect of Masai Barefoot Technology shoes on knee joint moments in women with knee osteoarthritis[J]. *Gait Posture*, 2014, 40(1):204—208.
- [31] 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 Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2014, 63(6):595—602.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] Shakoor N, Sengupta M, Foucher KC, et al. Effects of common footwear on joint loading in osteoarthritis of the knee[J]. *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 2012, 62(7):917—923.
- [35] Shakoor N, Lidtke RH, Wimmer MA, et al. Improvement in knee loading after use of specialized footwear for knee osteoarthritis: results of a six-month pilot investigation[J]. *Arthritis Rheum*, 2013, 65(5):1282—1289.
- [36] Shakoor N, Block JA. Walking barefoot decreases loading on the lower extremity joints in knee osteoarthritis[J]. *Arthritis Rheum*, 2006, 54(9):2923—2927.
- [37] Parkes MJ, Maricar N, Lunt M, et al. Lateral wedge insoles as a conservative treatment for pain in patients with medial knee osteoarthritis: a meta-analysis[J]. *JAMA*, 2013, 310(7):722—730.
- [38] Hurwitz DE, Ryals AR, Block JA, et al. Knee pain and joint loading in subjects with osteoarthritis of the knee[J]. *J Orthop Res*, 2000, 18(4):572—579.