

太极拳对非特异性腰痛的影响和机制研究*

徐长明^{1,2} 王雪强^{2,3,4}

非特异性腰痛(non-specific low back pain)是一个困扰着全球各个国家的问题^[1],不论是在发达国家还是发展中国家,腰痛都是临床上最常见的疾病之一^[2]。平均患病率为18.3%,疼痛持续一个月及其以上的更是高达30.8%^[3]。它还影响着未成年人的健康,38.9%女生和35%的男生会在成年之前有腰痛经历^[4]。在各国,非特异性腰痛造成了巨大的财政损失:英国,有12.5%的人全天告假^[5];美国,医疗财政支出28.2万亿美元;澳大利亚,消耗9万亿澳元^[6]。非特异性腰痛没有明确的病理解剖原因,国际上尚未有统一的诊断标准。诊断主要是与其他疾病进行鉴别,排除腰部以外或其他疾病引起的疼痛,如脊柱骨折、马尾综合征、神经根痛等^[2]。王雪强等^[10]认为:发病时间持续3个月以上,以腰部区域或臀部疼痛或不适为主,无神经根压迫症状,无明显影像学检查异常。Katharina Meyer等^[11]认为:疼痛超过3个月;排除其他特异性原因(如神经根受压、肿瘤等)和精神心理等方面引起的腰痛。总结国内外专家的诊断标准,我们将诊断标准归纳为:以腰、骶、臀疼痛或不适为主要症状,发病时间超过3个月及其以上,腰部活动不顺畅或轻度受限,其他临床检查证明无明显器质性病变。然而,目前临床常见的药物疗效并不乐观且具有一定的副作用^[6-9]。所以,寻求临床的非药物治疗方法十分迫切。

1 太极拳的研究现状

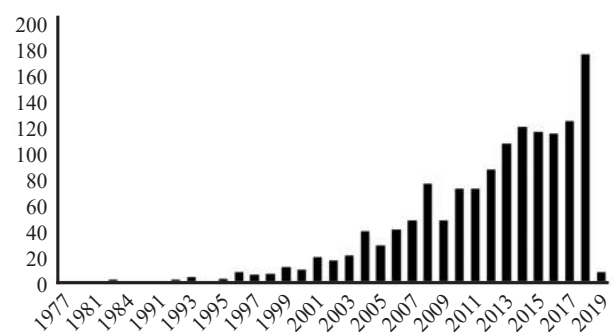
1.1 太极拳的发展趋势

太极拳是各大临床指南明确推荐的运动疗法之一^[6-9]。美国内科医师学会2017年4月公布的腰痛临床指南中指出:太极拳治疗腰痛不断获得新的证据支持^[6,12]。在我国,太极拳更是深受广大人民群众喜爱的传统健身项目、国家非物质文化遗产。太极拳对场地要求不高,便于在社区、公园等场所练习,经济实用,又深具中国传统文化和哲理,易于在人民群众当中推广和实行。进入现代化社会后,太极拳演变分化

为健身养生类、艺术表现类、技击防卫类等三类形式,随着社会经济不断发展,老年化问题日益严重,健身养生类太极拳得到了迅猛发展。越来越多的人愿意接受这种无痛而且健康的非药物治疗方法。

目前国际上,练习太极拳的国家有150多个^[13]。在美国,有将近250万人练习太极拳,并且人数在不断增长^[14]。在中国,练习太极拳的群体更是庞大。作者以“(taichi[Title/Abstract]) OR tai chi[Title/Abstract]”检索PubMed,共检索到1410篇相关文献,发现学术界关于太极拳的研究越来越热(图1)。

图1 太极拳相关文献研究趋势图



太极拳的历史源远流长,发源于明末清初的河南温县陈家沟,目前主要有陈氏和杨氏两大流派^[15-16];有学者将吴氏、和氏太极拳归为陈氏流派,将武氏、孙氏归为杨氏流派^[15],也有学者称太极拳流派皆由陈氏太极拳演变而来^[17]。1957年国家体育委员会将太极拳整理简化分为24式、40式、42式、88式进行推广^[15]。目前太极拳的发展及其研究多种多样:作者以“(taichi[Title/Abstract]) OR tai chi[Title/Abstract]”检索PubMed,影响因子≥10的文献有29篇,其中随机对照试验研究9篇,系统回顾和荟萃分析8篇。主要集中在老年人跌倒、

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2020.08.026

*基金项目:教育部霍英东教育基金会资助项目(161092);上海市科委科研项目(19080503100);上海市人类运动能力开发与保障重点实验室(11DZ2261100)

1 上海交通大学医学院附属仁济医院康复科,上海,200127; 2 上海体育学院运动医学康复中心; 3 上海上体伤骨科医院康复医学科; 4 通讯作者

第一作者简介:徐长明,男,硕士研究生; 收稿日期:2018-10-30

帕金森、肌纤维痛、失眠、焦虑、抑郁等方面,关于太极拳对腰痛的影响尚缺少高影响因子的文章。我们检索中外数据库发现:关于太极拳的研究主要集中在陈氏和杨氏两大流派,说明这两大流派是目前最受欢迎的太极拳练习方法。关于太极拳具有多少式多少动作则十分不统一,并且许多研究会根据其需要对太极拳进行改良,这说明太极拳具有很强的灵活性和适应性,是一种十分优秀的非药物疗法,可以让很多人从中受益。

1.2 不同流派太极拳的特点

陈氏太极拳有大架和小架之分,有2路拳套^[16]。其中第1路缠丝劲明显,动作要求留意腰腹部肌肉运动,弧形螺旋的特点能够充分动员腰部肌肉;练习时要求动作和呼吸相结合,可以动员膈肌、腹横肌等深层核心肌群。第2路拳套:炮捶,动作相对刚猛,爆发力强,跳跃动作较多,运动强度较大,不适宜老年人和体质较弱者练习。杨氏太极拳较陈氏动作和缓、姿势舒展;其特点为不跳不纵,绵里藏针^[15]。和式太极拳则要求顺乎自然,讲究协调,武氏太极拳动作轻盈、步法灵敏^[47]。虽然不同流派的太极拳各有其特点,但是其共同点都是相通的,都要求心静体柔、轻松和缓、动静结合、协调自然、主宰于腰。单鞭、云手等动作和棚、掤、挤、按、靠等招法,全部要求腰部具有一定的稳定性。我们将于下文中具体探讨太极拳治疗非特异性腰痛的临床疗效和机制。

2 太极拳治疗非特异性腰痛的临床疗效

腰痛的临床疗效评价指标可以分为四类:疼痛、心理因素、功能障碍、生存质量。这些指标的改善是衡量治疗非特异性腰痛是否有效的关键指标,它们不仅是腰痛领域研究不可缺少的数据,更是临床康复评估中的重要角色。

2.1 太极拳对腰部疼痛和心理的影响

疼痛形成的机制有很多,因疼痛产生的心理问题更是一大难题。有学者指出疼痛灾难化的想法会加重非特异性腰痛的疼痛和功能限制。Smeets R等^[18]的研究指出,积极的物理治疗和认知行为干预可以改善疼痛、功能和主要症状,患者的抑郁和焦虑也有明显改善,这说明疼痛灾难化会影响非特异性腰痛患者对疼痛和功能的感知。Spinhoven P等^[19]的研究中也表明,通过积极的认知行为干预减少患者的疼痛灾难化想法,可以有效的改善患者的疼痛、功能和抑郁。Hall AM等^[20]使用简化后的18式太极拳干预慢性腰痛疼痛灾难化影响的随机试验证明,练习太极拳可以减轻1/3的疼痛,提高2/3的功能,说明太极拳可以用来作为一种有效的积极的干预方法。练习太极拳时要求练习者心平气和,可以降低患者的焦虑状态,达到放松身心、集中注意力的效果,使其心理状态不易受外在条件的影响。谢慧慧^[21]使用太极拳对中老年人的抑郁情绪进行长达6个月的干预,其实验结果表明,

太极拳可以有效地改善中老年人的抑郁情绪,提高心自主神经的调节能力,由此建立一个良性循环。由以上研究我们得出,非特异性腰痛患者的心理状态对腰痛疼痛和功能产生影响,反之,腰痛疼痛和功能受限也会影响其心理状态。所以,使用太极拳积极干预,减轻患者的疼痛灾难化想法、控制患者的焦虑和抑郁,进而改善腰部疼痛是一种可行的方法。

2.2 太极拳对功能障碍和生存质量的影响

Hall AM等^[22]对160例非特异性腰痛患者进行了太极拳训练干预,分为两组先后进行为期10周的训练。采用Roland-Morris功能障碍调查表(Roland Morris Disability Questionnaire, RMDQ)、魁北克腰痛残疾量表(Quebec Back Pain Disability Scale, QBPDS)和患者特定功能量表(Patient-Specific Functional Scale, PSFS)评价非特异性腰痛患者的功能障碍,结果发现,相对于对照组太极拳训练能够有效改善RMAQ、QBPDS、PSFS功能障碍。Wang Y等^[23]的系统回顾选取SF-36作为主要数据,发现太极拳能够改善绝经期女性的身体功能、情绪健康、社会功能等。Hui ss等^[24]对比了太极拳和快走训练的区别,374例受试者进行为期12周(每天45min,每周5天)的训练,结果发现太极拳组有较高的静息能量消耗,与对照组相比能够显著改善日常生存质量(SF-12)。周庆来^[17]研究了长期坚持太极拳锻炼对中老年人生存质量的影响,发现太极拳可以增加腿部肌肉力量,改善肌肉的柔韧性,各项生理功能指标得到提升,具有较好的情绪状况。Pan L等^[25]的荟萃分析回顾了4个随机对照试验(n=242)发现,太极拳训练可以显著改善参与者的生存质量、6分钟步行距离和最大摄氧量。王雪强等^[26]的荟萃分析回顾了60篇研究中4311例中国传统运动对慢性疾病患者生存质量(SF-36)的影响,明确指出中国传统运动可以提高慢性疾病患者的生存质量。由以上研究我们可以发现,太极拳运动是一个全身心的运动,不仅能够提高心肺机能,还能提升肌肉力量,能够使练习者享有较强的获得感。所以,太极拳训练能够在很大程度上改善功能障碍,提高自身健康状况,保持良好的生存质量。

3 太极拳治疗非特异性腰痛的机制研究

目前,国际上关于非特异性腰痛的形成机制尚无定论。被国内外学者广泛接受的主要有以下三种机制:腰腹部核心力量不平衡、腰椎骨骼结构发生改变、腰部本体感觉下降。

3.1 太极拳对腰腹部核心力量的影响

Panjabi^[27]于1992年提出腰椎结构稳定模型:三系模型(主动亚系、被动亚系、神经控制亚系)。其中主动亚系在维持腰椎结构稳定中,扮演着重要的角色。主动亚系主要由多裂肌、腰方肌、腰大肌、竖脊肌等核心肌肉组成,通过核心肌肉的收缩来维持人体姿势的稳定、平衡,为姿势控制和腰椎

结构提供足够的支撑力。

在基础研究领域内:Zhou M等^[31]通过脑-肌肉磁共振波谱(magnetic resonance spectroscopy,MRS)检查评估老年人太极拳训练后大脑代谢产物和肌肉能量学的变化,发现受试者经过12周的太极拳训练后,后扣带回n-乙酰天冬氨酸与肌酸(NAA/Cr)比值和腿部肌肉磷酸肌酸(PCr)恢复时间显著增加,为太极拳改善肌力的有益机制提供了生理学证据。核心肌肉组织不正常可能导致脊柱负荷异常、肌肉拉伤或脊柱结构损伤,增加腰痛的风险。Sions JM等^[32]的横断面研究发现,非特异性腰痛患者的肌肉脂肪含量高、竖脊肌的横截面小。太极拳深、长、细、缓的呼吸方式,能够充分动员腹部核心肌肉的参与,提高呼吸效率。呼吸肌等核心肌肉的改善可以提高肺部通气状态,有利于巩固疗效,降低腰痛的复发率^[33]。太极拳静、松、慢、圆、整的动作要领能够强化脊柱周围的核心肌群,有利于维持腰椎的生物力学结构,为腰椎提高动态稳定。贺锁平^[34]对非特异性腰痛患者练习太极拳的肌肉工作特征进行了研究,发现太极拳可以有效的提高核心肌肉的力量,增加腰腹部的肌肉耐力,其中太极拳对竖脊肌的活化明显优于核心稳定训练(对照组),腰背肌肌电图波幅大于干预前,时程小于干预前,能够改善练习者的腰背肌肉力量,缓解非特异性腰痛。

核心肌力训练的效果在临床也得到了验证。Song R等^[28]对72例老年女性膝骨关节炎患者进行了12周的太极拳干预,结果发现太极拳组在腹肌力量($t=2.74$, $P=0.009$)显著优于对照组。Tsang WW等^[29]将19例脊髓损伤患者随机分为坐式太极拳训练组和健康宣教组,进行了12周的干预(每周两次,每次90min),结果发现坐式太极拳组手部力量、坐位动静平衡、反应时皆优于对照组,这说明太极拳训练提高了脊髓损伤患者的肌肉力量,改善了核心肌肉的力量,增强了对脊柱的控制,进而提高了坐位平衡,也让他们在反应时任务中优于对照组。Chung PH等^[30]将48例健康青年分为太极拳结合振动训练组、太极拳训练组、对照组,进行了8周的干预(每周3次,每次30min),结果发现太极拳训练可以明显改善下肢力量和平衡控制,平衡控制的显著提高,从侧面证明了核心力量的改善。

3.2 太极拳对腰椎骨骼结构的影响

腰椎的骨骼结构主要由5个腰椎骨组成,为腰部肌肉提供附着点,是支撑人体姿势的顶梁柱。腰椎骨骼结构的变化(如椎间盘退变)是引发腰痛的常见诱因^[35]。其中骨质疏松是影响腰椎骨骼结构的一种常见原因,它是一种骨量低、骨组织微结构退化导致脆性增强、骨折风险增加的疾病^[37]。使本就负重较多的腰椎压缩变形,进而改变正常的生理曲度,加重腰部负担,进一步影响腰痛。

骨质疏松与运动训练频率具有一定的相关性^[37-38]。在

生活中的各种应力,可以刺激维持骨组织健康生长^[39]。在应力的作用下,骨胶原基质产生形变,骨细胞的生物力学环境发生改变,产生压电效应,促进骨细胞的分化和增生。因此,当身体活动不能提供足够的承重刺激以维持骨量时,有必要增加运动训练计划。练习太极拳时,对马步和桩功的要求,能够增加下肢的应力,改善下肢肌肉力量^[17]。并且太极运动以腰部为轴心,顺逆缠丝,此过程中增加了腰椎的运动负荷,使其受到维持姿势稳定的肌肉的牵拉力,进而提升腰椎的骨密度。Yeh GY等^[40]的研究指出,太极拳训练可以降低血清B型利钠肽水平,增加每搏输出量,改善全身的血液循环。血液循环的改善可以将血钙等营养物质输送到腰部,增加腰部骨骼的新陈代谢,提高骨细胞对钙和其他矿物质的吸收,改善腰部的骨密度。

Chow TH等^[36]系统回顾了太极拳训练预防骨质疏松症的影响,纳入了9篇研究:7项随机对照试验、1项病例对照试验和1项横断面研究,共1222例参与者。其中5项研究显示太极拳训练后骨密度有显著性改善,2项研究显示太极拳训练预防骨质疏松症具有积极的意义。Maciaszek J等^[37]观察了太极拳训练对老年男性骨质疏松症患者平衡能力的影响,将49例受试者随机分为太极拳干预组(25例)和健康宣教组(24例)进行18周(每周2次,每次45min)的干预,结果显示太极拳训练可以改善老年男性骨质疏松症患者的动态平衡能力并降低跌倒风险。Murphy L等^[38]对31例老年女性骨质疏松患者进行了为期12周(每周至少1次)的太极拳训练,结果发现其平衡能力、力量功能得到了显著提升,并且在第6个月和第12个月的随访中仍有改善。

3.3 太极拳对腰部本体感觉的影响

本体感觉是指大脑感知肌肉、肌腱、关节等运动器官不同的运动状态和位置的能力。本体感觉外周感受器受损会导致患者运动能力和协调能力下降^[41]。

太极拳是全身协调统一的运动,注重平衡和协调,在重心的转换中讲究动静结合、虚实合一。随着太极拳步伐的转换,重心上下移动,躯干肌肉协调有序的收缩。运动过程中逐渐兴奋肌腹和肌腱,增加了对肌梭感受器的刺激。太极拳练习时,力的变化多端,浑厚、缓慢、柔和,内劲、寸劲、爆发力之间互相过渡转换,增加了对慢适应力学感受器高尔基腱器的刺激。Ito T等^[45]的研究发现老年非特异性腰痛患者躯干本体感觉减退,造成在平衡控制过程中对踝关节策略、髋关节策略的控制存在缺陷,这一现象加重了非特异性腰痛患者躯干本体感觉的减退。而赵文楠^[46]对太极拳治疗慢性下腰痛事件相关电位的研究发现,太极拳训练之后大脑感知疼痛区域(顶叶和前额叶)的脑波发生了变化,大脑处理相关信息的效率加快,这说明非特异性腰痛患者的本体感觉在大脑中得到了改善。本体感觉的改善是一个良性循环,外周运动

器官感受器功能提升,大脑对肢体的感知能力增强,减少不必要的动作,纠正错误的姿势,进而减缓肌肉疲劳,该工作机制可以降低非特异性腰痛的复发率。

Sungkarat S等^[42]对老年人跌倒风险的研究中,对66例老年人进行了为期15周(每周3次,每次50min)的干预,发现太极拳可以改善下肢的本体感觉。田小培^[43]对43例非特异性腰痛患者进行了12周(每周3次,每次60min)的运动干预,根据受试者的年龄、性别和体重随机分为:太极拳组15例,核心稳定训练15例,对照组10例。其结果表明太极拳可以明显改善非特异性腰痛患者膝关节的本体感觉($P < 0.01$),且明显优于核心肌力训练($P < 0.01$)。Chen EW等^[44]对40例70岁以上的视障老人进行了16周的杨氏太极拳干预,结果表明,太极拳训练可以改善视障老人的平衡控制、下肢本体感觉和前庭感觉。以上研究说明太极拳可以改善对神经肌肉的控制,增加关节周围肌肉力量和功能稳定性,为腰椎提供有力的支撑,解除对神经根的压迫,进而增加大脑对膝关节的感知和控制。

4 小结

太极拳作为一种老少皆宜、经济方便的运动方式,也是在治疗非特异性腰痛的各大临床指南中明确指出的运动疗法^[6-9]。在临床上,它能够在一定程度上减轻疼痛程度,愉悦身心,提升练习者的自我效能感,缓解非特异性腰痛患者的焦虑和抑郁,减少功能障碍,提高生存质量;从机制上,太极拳可以改善腰腹部的核心肌力,调整小面关节,加强腰椎骨骼结构的稳定,也能促进腰部本体感觉的改善。可以作为全民健身的运动方式推广,为健康中国添砖加瓦。但是,目前太极拳的流派、招式众多且不统一,大部分研究以实验室环境为主,哪个流派、哪个招式对非特异性腰痛患者最有益尚不清楚,所以关于太极拳治疗非特异性腰痛的影响和机制仍需要进一步研究。

参考文献

- [1] Clark S, Horton R. Low back pain: a major global challenge [J]. *Lancet*, 2018,391(10137):2295—2388.
- [2] Maher C, Underwood M, Buchbinder R. Non-specific low back pain[J]. *Lancet*, 2012, 389(10070):736—747.
- [3] Barnes PM, Bloom B, Nahin RL. Complementary and alternative medicine use among adults and children: United States, 2007[J]. *Natl Health Stat Report*, 2008,(12):1—23.
- [4] Swain MS, Henschke N, Kamper SJ, et al. An international survey of pain in adolescents[J]. *BMC Public Health*, 2014, 14(1): 447.
- [5] Koes BW, Bouter LM, Beckerman H, et al. Physiotherapy exercises and back pain: a blinded review[J]. *BMJ*, 1991, 302(6792): 1572—1576.
- [6] Qaseem A, Wilt TJ, McLean RM, et al. Noninvasive treatments for acute, subacute, and chronic low back pain: a clinical practice guideline from the American College of Physicians[J]. *Annals of Internal Medicine*, 2017, 166(7): 514—530.
- [7] National GCUK. Low Back Pain and Sciatica in Over 16s: Assessment and Management[M]. National Institute for Health and Care Excellence (UK), 2016.
- [8] Stochkendahl MJ, Kjaer P, Hartvigsen J, et al. National Clinical Guidelines for non-surgical treatment of patients with recent onset low back pain or lumbar radiculopathy[J]. *European Spine Journal*, 2018,27(1): 60—75.
- [9] 周谋望, 岳寿伟, 何成奇, 等. “腰椎间盘突出症的康复治疗”中国专家共识[J]. *中国康复医学杂志*, 2017, 32(2): 129—135.
- [10] Wang XQ, Pi YL, Chen PJ, et al. Whole body vibration exercise for chronic low back pain: study protocol for a single-blind randomized controlled trial[J]. *Trials*, 2014, 15(1): 104.
- [11] Meyer K, Klipstein A, Oesch P, et al. Development and validation of a pain behavior assessment in patients with chronic low back pain[J]. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 2016, 26(1): 103—113.
- [12] Chou R, Deyo R, Friedly J, et al. Nonpharmacologic therapies for low back pain: a systematic review for an american college of physicians clinical practice guideline[J]. *Annals of Internal Medicine*, 2017, 166(7):480—492.
- [13] 王俊杰, 王培勇, 徐坚, 等. 基于知识图谱的国外太极拳运动研究热点与演化分析[J]. *体育科学*, 2012, 32(10): 77—84.
- [14] Hoy D, Bain C, Williams G, et al. A systematic review of the global prevalence of low back pain[J]. *Arthritis & Rheumatism*, 2012, 64(6): 2028—2037.
- [15] 李真. 杨式太极拳的传承与发展[D]. 天津体育学院, 2009.
- [16] 王旭浩. 陈氏太极拳起源研究[D]. 河南大学, 2010.
- [17] 周庆来. 长期坚持太极拳锻炼对中老年人生存质量的影响研究[D]. 北京体育大学, 2013.
- [18] Smeets RJ, Vlaeyen JW, Kester AD, et al. Reduction of pain catastrophizing mediates the outcome of both physical and cognitive-behavioral treatment in chronic low back pain [J]. *The Journal of Pain*, 2006, 7(4): 261—271.
- [19] Spinhoven P, Ter Kuile M, Kole-Snijders AM, et al. Catastrophizing and internal pain control as mediators of outcome in the multidisciplinary treatment of chronic low back pain[J]. *European Journal of Pain*, 2004, 8(3): 211—219.
- [20] Hall AM, Kamper SJ, Emsley R, et al. Does pain-catastrophizing mediate the effect of tai chi on treatment outcomes for people with low back pain?[J]. *Complementary Therapies in Medicine*, 2016, 25: 61—66.

- [21] 谢慧慧. 太极拳运动对中老年人抑郁与心率变异性的影响研究[D]. 上海: 上海体育学院, 2011.
- [22] Hall AM, Maher CG, Lam P, et al. Tai Chi exercise for treatment of pain and disability in people with persistent low back pain: a randomized controlled trial[J]. *Arthritis care & research*, 2011, 63(11): 1576—1583.
- [23] Wang Y, Shan W, Li Q, et al. Tai Chi exercise for the quality of life in a perimenopausal women organization: a systematic review[J]. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 2017, 14(4): 294—305.
- [24] Hui SS, Xie YJ, Woo J, et al. Practicing Tai Chi had lower energy metabolism than walking but similar health benefits in terms of aerobic fitness, resting energy expenditure, body composition and self-perceived physical health[J]. *Complementary Therapies in Medicine*, 2016, 27: 43—50.
- [25] Pan L, Yan JH, Guo YZ, et al. Effects of Tai Chi training on exercise capacity and quality of life in patients with chronic heart failure: a meta-analysis[J]. *European Journal of Heart Failure*, 2013, 15(3): 316—323.
- [26] Wang X, Pi Y, Chen B, et al. Effect of traditional Chinese exercise on the quality of life and depression for chronic diseases: a meta-analysis of randomised trials[J]. *Scientific Reports*, 2015, 5:15913.
- [27] Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part IF function, dysfunction, adaption, and enhancement[J]. *Spine Disord*, 1992, 5:383—389.
- [28] Song R, Lee EO, Lam P, et al. Effects of Tai Chi exercise on pain, balance, muscle strength, and perceived difficulties in physical functioning in older women with osteoarthritis: a randomized clinical trial[J]. *The Journal of Rheumatology*, 2003, 30(9): 2039—2044.
- [29] Tsang WW, Gao KL, Chan KM, et al. Sitting Tai Chi improves the balance control and muscle strength of community-dwelling persons with spinal cord injuries: a pilot study [J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015:523852.
- [30] Chung PH, Lin GL, Liu C, et al. The effects of Tai Chi Chuan combined with vibration training on balance control and lower extremity muscle power[J]. *Journal of Sports Science & Medicine*, 2013, 12(1): 19.
- [31] Zhou M, Liao H, Sreepada LP, et al. Tai Chi Improves Brain Metabolism and Muscle Energetics in Older Adults [J]. *Journal of Neuroimaging*, 2018, 28(4):359—364.
- [32] Sions JM, Elliott JM, Pohlig RT, et al. Trunk muscle characteristics of the multifidi, erector spinae, psoas, and quadratus lumborum in older adults with and without chronic low back pain[J]. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 2017, 47(3): 173—179.
- [33] Holmes ML, Manor B, Hsieh W, et al. Tai Chi training reduced coupling between respiration and postural control[J]. *Neuroscience Letters*, 2016, 610: 60—65.
- [34] 贺锁平. 太极拳练习对慢性下腰痛患者肌肉工作特征影响的实验研究[D]. 上海体育学院, 2013.
- [35] Jain A, Jain S, Agarwal A, et al. Evaluation of efficacy of bone scan with SPECT/CT in the management of low back pain[J]. *The Clinical Journal of Pain*, 2015, 31(12): 1054—1059.
- [36] Chow TH, Lee BY, Ang ABF, et al. The effect of Chinese martial arts Tai Chi Chuan on prevention of osteoporosis: A systematic review[J]. *Journal of Orthopaedic Translation*, 2018, 12:74—84.
- [37] Maciaszek J, Osiński W, Szeklicki R, et al. Effect of Tai Chi on body balance: randomized controlled trial in men with osteopenia or osteoporosis[J]. *The American Journal of Chinese Medicine*, 2007, 35(1): 1—9.
- [38] Murphy L, Singh BB. Effects of 5-Form, Yang Style Tai Chi on older females who have or are at risk for developing osteoporosis[J]. *Physiotherapy Theory and Practice*, 2008, 24(5): 311—320.
- [39] American College of Sports Medicine. Position stand on osteoporosis and exercise[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1995, 27: i—vii.
- [40] Yeh GY, Wood MJ, Lorell BH, et al. Effects of tai chi mind-body movement therapy on functional status and exercise capacity in patients with chronic heart failure: a randomized controlled trial[J]. *The American Journal of Medicine*, 2004, 117(8): 541—548.
- [41] Kröger S. Proprioception 2.0: novel functions for muscle spindles[J]. *Current Opinion in Neurology*, 2018, 31(5): 592—598.
- [42] Sungkarat S, Boripuntakul S, Chattipakorn N, et al. Effects of tai chi on cognition and fall risk in older adults with mild cognitive impairment: a randomized controlled trial[J]. *Journal of the American Geriatrics Society*, 2017, 65(4): 721—727.
- [43] 田小培. 太极拳练习对慢性下腰痛患者膝关节本体感觉的影响[D]. 上海体育学院, 2013.
- [44] Chen EW, Fu AS, Chan KM, et al. The effects of Tai Chi on the balance control of elderly persons with visual impairment: a randomised clinical trial[J]. *Age and Ageing*, 2011, 41(2): 254—259.
- [45] Ito T, Sakai Y, Morita Y, et al. Proprioceptive weighting ratio for balance control in static standing is reduced in elderly patients with non-specific low back pain[J]. *Spine*, 2018, 43(24):1704—1709.
- [46] 赵文楠. 太极拳运动对慢性下腰痛患者事件相关电位影响的实验研究[D]. 上海体育学院, 2013.
- [47] 吕艳琼. 太极拳流派的演变研究[D]. 山西师范大学, 2015.