

# 手法治疗改善脊柱功能的作用机制

郑尉<sup>1</sup>, 孙立冰<sup>1</sup>, 刘春华<sup>1</sup>, John Downes<sup>2</sup>

【关键词】 手法治疗; 脊柱功能

【中图分类号】 R49; R681 【DOI】 10.3870/zgkf.2021.11.013

脊柱手法治疗 (Spinal Manipulation Therapy, SMT) 是一种通过双手将快速、小幅度的作用力施加于脊柱上特定部位的治疗手段<sup>[1]</sup>。脊柱手法治疗是预防、诊断和治疗骨骼肌肉系统相关病症的有效方法之一, 在减少肌肉抑制<sup>[2]</sup>、调节神经肌肉兴奋性<sup>[3]</sup>、矫正本体感觉缺陷<sup>[4]</sup>等方面具有一定的临床效果, 已得到国外物理治疗师、脊骨神经医生的广泛应用, 但在我国应用及相关研究较少。脊柱功能与神经肌肉控制<sup>[5]</sup>、肌肉力量<sup>[6]</sup>、本体感觉<sup>[7]</sup>等多种因素有关。脊柱功能下降可能会导致慢性疾病患病率上升、全球公共健康水平下降, 给日益严重的老龄化社会带来沉重的负担<sup>[8]</sup>。本文旨在总结脊柱手法治疗的作用特点, 从肌肉抑制、肌肉力量和本体感觉三个方面分析脊柱手法治疗改善脊柱功能的效应, 以期厘清手法治疗对脊柱功能影响的最新研究成果和作用机制, 为脊柱手法治疗应用于改善脊柱功能表现提供理论依据。

## 1 脊柱手法治疗的作用特点

**1.1 生物力学作用特点** 在脊柱手法治疗过程中, 脊骨神经医生通过控制施加作用力的速度、幅度、方向等将作用力施加于各椎体关节生理活动范围的末端, 但并不超越关节本身解剖结构的限制<sup>[9]</sup>。在治疗时通常伴随着开裂声, 这是由椎体关节之间的缝隙产生的液体气泡导致的<sup>[10]</sup>。脊骨神经医生最常用的治疗形式为短杠杆、快速和低幅度的脊柱手法治疗, 通常是利用短杠杆将动态的推动力作用于椎体棘突、横突或乳突等结构之上。在对骨盆进行治疗时, 作用部位通常为髂棘<sup>[11]</sup>。此外, 脊柱手法治疗也可利用长杠杆完成。当一只手作用于椎体的特定部位时, 另一只手放置在特定部位的身体远端(肩部或肘部), 椎体与身体远端之间就形成了作用的长杠杆。Wood 和 Adam<sup>[12-13]</sup>首次

对脊柱手法治疗时施加的外力进行了量化, 但他们并没有真正在人体上进行矫正, 因此这项研究的有效性还有待证实。Hessel 等<sup>[14]</sup>首次直接测试脊柱手法治疗施加在人身上的力量大小。他们在脊骨神经医生的手下放置一个测力板, 用来测量施加在病人具体身体部位上的作用力。近年来, 其他学者也针对脊柱矫正的动力时程进行了相关研究<sup>[15-17]</sup>。脊柱矫正的动力时程受到矫正手法、部位、施加作用力方向、执业年限等因素的影响。Pagé 等<sup>[15]</sup>用 255 牛顿的峰值作用力分别以 100、125、200、500、1000 和 1500ms 推力期作用于第 6、7 和 8 胸椎横突处, 结果发现, 在同一峰值作用力条件下, 推力期越短, 椎体错位的程度越低, 这在一定程度上验证了以高速、低幅、快速为特点的脊柱手法治疗能够矫正椎体错位。通过统合在脊柱矫正时的力学参数结果能够看出, 无论患者头枕是否固定, 在施加作用力的全过程中, 从不同方向施加的作用力大小均具有一定差异<sup>[16]</sup>。Funabashi 等<sup>[18]</sup>用 Activator 仪器在进行研究发现, 需用时 99±31 毫秒达到平均峰值作用力为 120±12.7 牛顿, 加载率为 1.21 牛顿/毫秒。此外, 经验丰富且有资质的脊骨神经医生施加作用力的时间仅为实习生所需时间的 1/3, 但峰值作用力并无显著差异<sup>[19]</sup>。脊柱手法治疗过程中施加于椎体间关节的作用力能够影响参与韧带-肌肉反射和肌肉间反应的神经肌肉成分, 从而产生一系列力学改变以降低脊柱旁组织的机械性应力或拉力, 但具体哪种峰值作用力能够产生最佳的生物力学效应还需要进一步研究<sup>[19]</sup>。脊柱手法治疗产生的生物力学效应还包括重建关节突关节的灵活性, 刺激脊柱旁组织的机械性感受神经末梢, 包括皮肤、肌肉、肌腱、韧带、椎间关节、椎间盘等<sup>[20]</sup>, 间接促进脊柱手法治疗的神经生理学效应。

**1.2 神经生理学作用特点** 近年来, 多项研究从不同角度实证研究了脊柱手法治疗的神经生理学效应, 主要体现在促进疼痛抑制, 改变肌肉反射、运动神经元兴奋性及对自主神经系统的影响等。Bialosky 等<sup>[22]</sup>认为, 手法治疗的神经生理学效应与其对中枢及周围神经系统产生的疼痛抑制有关<sup>[21]</sup>。脊柱手法治疗能够

基金项目: 天津市自然科学基金项目(18JCQNJC83000)

收稿日期: 2020-11-18

作者单位: 1. 天津体育学院, 天津 301617; 2. 美国生命大学脊骨神经医学学院, 玛丽埃塔 30060

作者简介: 郑尉(1985-), 女, 博士, 讲师, 主要从事脊柱手法治疗和运动损伤防护研究。

通讯作者: 刘春华, liuchunhua@tjus.edu.cn

通过中枢控制机制增加中枢神经元的感知范围,通过降低脊柱旁组织的机械性和化学性刺激阈值而改变中枢感觉处理,从而在一定程度上提升患者的疼痛阈值,降低其疼痛敏感度,促进疼痛抑制以及减少痛觉易化。Gorrell 等<sup>[23]</sup>的研究表明,颈椎(C1、C2、C6 和 C7)手法治疗能同时增强胸锁乳突肌、颈夹肌等颈部肌肉以及背部肌肉(斜方肌、背阔肌、多裂肌等)和三角肌后束的反射反应,这一结果表明脊柱手法治疗不仅能改善治疗部位周围的肌肉活动,还能影响治疗部位远端的肌肉反射,这为脊柱手法治疗提高全身性功能表现提供了依据。Dishman 等<sup>[24]</sup>经过研究发现,对非症状成年人和亚急性下背痛患者进行脊柱手法治疗后,呈现出 Ia 传入-运动神经通路抑制的刺激-反应特征,具体表现为 H 反射最大波幅和最大 M 波幅比值(Hmax/Mmax)在脊柱手法治疗结束 10s 后显著下降。Azadvari 等<sup>[25]</sup>也得出了类似的研究结果,他们发现腰骶部手法治疗后胫神经的 H 反射波幅及 Hmax/Mmax 均显著下降且具有统计学意义,M 波波幅及静息期无明显改变。一方面,脊柱手法治疗在脊柱韧带-肌肉系统上快速施加的机械性作用力引起脊柱旁肌肉反射。由于神经递质释放,单突触的 H 反射受到抑制。另一方面,脊柱手法治疗使来自纤维环、关节突关节囊、脊柱韧带等的机械感受器和神经末梢开始传入放电,从而抑制运动神经元的兴奋性。Navid 等<sup>[26]</sup>发现,脊柱手法治疗通过改变脊柱的神经传入,调节习惯化和敏感化之间的相互作用,进而改变中枢神经处理。Gyer 等<sup>[27]</sup>在前人研究的基础上,构建了脊柱手法治疗的神经生理学机制模型。他们认为,由于生物力学改变,脊柱手法治疗刺激脊柱旁感觉传入,激活感觉神经元,通过直接影响反射活动或在运动、痛觉乃至自主神经元池内影响中枢神经整合从而改变神经整合和处理。上述观点不仅支持了脊柱手法治疗在疼痛抑制、改变运动神经元兴奋性等方面的作用,而且还提出脊柱手法治疗能够改变自主神经系统的活动,在一定程度上促进疼痛抑制。研究证实,脊柱手法治疗能够调节自主神经系统的平衡性。与安静状态相比,前扣带皮质、下前额皮质、颞中回等脑部其他区域在胸椎手法治疗后被激活。上述所有脑部区域均与自主神经反应的产生相关。前扣带皮质的激活和小脑蚓部的失活导致交感神经活动减弱、副交感神经兴奋性增强以及疼痛水平下降<sup>[28]</sup>。

## 2 手法治疗改善脊柱功能的作用机制

### 2.1 减少关节源性肌肉抑制 关节源性肌肉抑制(Anthrogenic Muscle Inhibition, AMI)是损伤后的反

射性反应,是指在没有结构性损害或神经支配受损条件下损伤关节周围肌肉无法完全收缩的一种现象,在临幊上表现为肌肉无力,但该现象是来自中枢神经系统感受器传入刺激产生变化的结果<sup>[29]</sup>。肌肉抑制能够引起脊柱水平的 α 运动神经元兴奋性改变、疼痛程度增加、关节功能下降、步态异常、动态稳定性下降等<sup>[30]</sup>。以髌股关节疼痛(Patellofemoral Pain, PFP)为例,PFP 患者常表现出股四头肌无力和肌肉抑制,髌股关节应力增加的同时引起髋部肌肉活性以及完成功能性任务时运动模式的改变,形成反馈回路<sup>[30]</sup>。无法纠正肌肉抑制和重建肌肉功能会导致身体活动能力下降、生物力学缺陷以及再次出现损伤<sup>[31]</sup>,因此找到矫正肌肉抑制的有效手段十分重要。脊柱手法治疗通过刺激关节内部和周围的感觉感受器,使这些感觉感受器中的传入信号与脊柱水平的中间神经元形成突触,能够对运动神经元池的可用性以及动作输出产生影响,从而减少肌肉抑制<sup>[32]</sup>。由于骶髂关节(L<sub>2</sub>~S<sub>3</sub>)、股四头肌(L<sub>2</sub>~L<sub>4</sub>)和膝关节的神经根水平相同,一个结构的传入信息可能改变受相同神经根水平支配的所有结构的传出信号。骶髂关节的脊柱手法治疗能够刺激骶髂关节内和其周围的机械感受器和本体感受器,通过改变神经信号的传入和膝关节肌肉中运动神经元的兴奋性而扰乱疼痛-痉挛周期(Pain-Spasm Cycle)<sup>[33]</sup>。此外,Victor 和 Matkovich 研究发现,在颈椎(C5、C6)手法治疗后,肱二头肌肌电均方根下降 9.03%,肱二头肌肌力增加 4.76%<sup>[34]</sup>。Haavik 等<sup>[35]</sup>的研究表明,脊柱手法治疗使拇指展肌的运动诱发电位最大值 (Maximum Motor Evoked Potential, MEPmax) 平均提高 54.5%。胫骨前肌的 MEPmax 平均提高 44.6%。他们认为脊柱手法治疗适用于肌张力异常下降、肌肉功能下降、损伤后关节肌肉抑制等患者或运动员群体。上述研究在一定程度上说明脊柱手法治疗改善肌肉抑制的有效性。肌肉抑制很可能是引起肌肉爆发力和/或运动功能下降的原因之一,通过脊柱手法治疗能够纠正并减少大肌肉群或单块肌肉的肌肉抑制,将对改善功能表现产生十分重要的作用。

**2.2 调节肌肉力量变化** 良好的功能表现主要依赖于保持适宜的肌肉力量水平、减少神经肌肉疲劳以及增强大脑皮质中枢驱动等<sup>[36]</sup>。神经肌肉疲劳、肌肉力量和爆发力下降等均会对功能表现产生负面影响且能够增加损伤发生率<sup>[37~38]</sup>。这些生理性因素均与神经肌肉机制有关,可通过最大自主收缩(Maximum Voluntary Contraction, MVC)、脊柱反射(H 反射、M 波、V 波)等指标进行测量和评估<sup>[24~26,39]</sup>。H 反射和 V 波反映的是受脊柱 α 运动神经元影响的大脑皮质神经

驱动的程度,这些指标神经适应性的改善在一定程度上反映了功能表现的提高<sup>[39]</sup>。其中,H反射兴奋性增高、V波波幅增大与运动神经元兴奋性、下束神经驱动增强、抗疲劳能力提高有一定的相关性,同时伴随MVC力量提高<sup>[39]</sup>。Christiansen等<sup>[40]</sup>在对12名优秀跆拳道运动员进行脊柱和骶髂关节手法治疗后,观察比目鱼肌诱发电位V波、H反射和MVC等指标在治疗前后的变化。研究表明,脊柱手法治疗能够提高跖屈肌的肌肉力量和皮质脊髓束兴奋性,其中MVC和V波波幅增大,H反射并无显著性变化。Niazi等<sup>[39]</sup>发现健康年轻男性在接受脊柱手法治疗后H反射中低阈值运动神经元的兴奋性增强,Holt等<sup>[41]</sup>以12名慢性中风患者为研究对象,发现在脊柱手法治疗后比目鱼肌肌肉力量平均提高(64.2±77.7)%,V波波幅与M波波幅最大值的比值平均增加(54.0±65.2)%,但H反射无显著性改变。此外,皮质静息期(Cortical Silent Period,CSP)代表脊髓和大脑皮质的抑制机能<sup>[42]</sup>,通过表面肌电和/或刺激前时间柱状图(Prestimulus Time Histograms,PSTHs)能够反映CSP的变化。PSTHs是指肌肉受到刺激时的峰值时间,PSTHs越长表示肌肉激活的时间越长<sup>[4]</sup>。Haavik等<sup>[4]</sup>通过研究发现脊柱手法治疗可以缩短经颅磁刺激诱发的CSP以及增强下肢肌肉低阈值运动神经元的兴奋性,这一结果能够表明脊柱手法治疗可以作为增强肌肉力量的手段之一。上述研究结果中均体现出脊柱手法治疗在调节肌肉力量方面的重要作用,但这种影响受到患者类型、损伤或疾病类型及程度、治疗部位、手法等因素的影响,今后应结合实证研究分析脊柱手法治疗对肌肉力量的具体影响。

**2.3 改善本体感觉缺陷** 本体感觉是指人体在三维空间内对身体姿势和运动的感觉,需要整合来自韧带、椎间关节、椎间盘、皮肤和肌肉的机械感受器的周围感觉信息<sup>[43]</sup>。全身性本体感觉表现为个体对本体感觉信息处理的能力和质量下降<sup>[44]</sup>。本体感觉的重要性体现功能表现的各个方面。潜在的本体感觉机制能够说明在特定时间内人体的骨骼-肌肉系统是如何相互协作的。日常生活和体育锻炼过程中不仅需要单个肢体或关节的活动,更多要求全身肢体和关节协同运动<sup>[45]</sup>。例如,眼球需要不停地运动和观察周围物体,当有外界物体迎面而来时(例如球类),能够配合大脑进行前反馈<sup>[46]</sup>。大脑需要在短时间内接收来自身体各部分的信息传入并在统合后将神经信号传递至反应器官,决定人体的哪些肌肉需要放松或收缩以及所需的具体时间、人体运动的方向和速度等<sup>[47]</sup>。出现关节紊乱或功能障碍时,人体的一般适应过程应遵循适应

强制性需求(Specific Adaptation to Imposed Demands,SAID)原则<sup>[48]</sup>。而机体的神经-肌肉-骨骼机制除了要遵循SAID原则外,还包括前/后反馈<sup>[49]</sup>、神经可塑性<sup>[47]</sup>、任务特异性<sup>[50]</sup>、力量产生等过程<sup>[51]</sup>。在此基础上,脊骨神经医生John Downes提出“全身性本体感觉缺陷模式”<sup>[52]</sup>。他认为,由于外界干扰或自身功能障碍造成的本体感觉缺陷可以使神经肌肉控制水平下降,人体在面对特定动作时的肌肉反应模式改变,使得机体无法完成既定的动作任务或完成动作任务的质量下降。由此造成的全身性代偿以及神经前反馈功能下降,最终会导致功能不稳定、功能表现能力下降等问题。异常的信息传入与持续的中枢神经可塑性变化有关<sup>[53]</sup>。脊柱功能障碍部位的传入反馈发生改变后,随即引起脊柱其他区域和四肢传入反馈变化,导致感觉运动统合产生异常。脊柱手法治疗通过改变人体感觉运动统合、躯体感觉统合和神经肌肉控制等方面改善本体感觉缺陷<sup>[54]</sup>。Haavik和Murphy<sup>[55]</sup>提出脊柱矫正对躯体感觉和运动整合的影响模型,他们认为,由于脊柱脱位/错位造成的神经信号改变,能够继而导致人体躯体感觉系统和运动整合的改变。但这些异常的反应能够通过脊柱手法进行矫正和治疗,最终得到改善。上述理论模型也得到了一部分实证研究证实。Gómez等<sup>[56]</sup>的研究结果表明,非特异性慢性颈痛患者的站立位姿势控制能力分别在接受颈椎手法治疗的第7天和第15天分别提高13.4%和27.4%,与Goertz等<sup>[57]</sup>和Pascual-Vaca等<sup>[58]</sup>的研究相比效果更为显著。但Farazdaghi等<sup>[59]</sup>虽发现骶髂关节紊乱患者在前后向的震颤频率和速度在骶髂关节手法治疗后有显著性改变,但其他动态姿势控制相关指标并无统计学意义。此外,鉴于文献搜索发现有关脊柱手法治疗对运动觉、位置觉等本体感觉指标作用效果的研究相对较少,今后的研究应侧重于脊柱手法治疗在改善具体关节及全身性本体感觉方面的实证研究。

### 3 小结

脊柱手法治疗着眼于人体的神经系统,主要治疗和改善神经-肌肉-骨骼相关的病症/功能障碍,在预防/治疗损伤及促进功能表现等方面的作用逐渐得到研究学者的重视,但在我国应用较少。脊柱手法治疗改善脊柱功能已经被多项研究证实,通过本研究梳理相关文献发现,其潜在机制包括减少关节的肌肉抑制、调节肌力变化、改善本体感觉缺陷等。脊柱手法治疗在保障身体机能、改善功能表现以及预防损伤等方面具有重要作用,但脊柱手法治疗效果的持续时间、脊柱手法治疗对不同群体作用效果的差异性以及不同矫正

部位对功能表现的影响等问题还需继续进一步通过实验研究从神经生理学、生物力学等方面进行深入挖掘和分析。

## 【参考文献】

- [1] Wirth B, Gassner A, de Bruin ED, et al. Neurophysiological effects of high velocity and low amplitude spinal manipulation in symptomatic and asymptomatic humans: a systematic literature review[J]. *Spine*, 2019, 44(15): 914-926.
- [2] Vining R, Long CR, Minkalis A, et al. Effects of chiropractic care on strength, balance, and endurance in active-duty US military personnel with low back pain: a randomized controlled trial[J]. *J Altern Complement Med*, 2020, 26(7): 592-601.
- [3] Kingett M, Holt K, Niazi IK, et al. Increased voluntary activation of the elbow flexors following a single session of spinal manipulation in a subclinical neck pain population[J]. *Brain Sci*, 2019, 9(6): 136-149.
- [4] Haavik H, Niazi IK, Jochumsen M, et al. Chiropractic spinal manipulation alters TMS induced I-wave excitability and shortens the cortical silent period[J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2018, 42(1): 24-35.
- [5] Jaber H, Lohman E, Daher N, et al. Neuromuscular control of ankle and hip during performance of the star excursion balance test in subjects with and without chronic ankle instability[J]. *PLoS One*, 2018, 13(8): 201479-201494.
- [6] Baggen RJ, Van RE, Verschueren SM, et al. Bench stepping with incremental heights improves muscle volume, strength and functional performance in older women[J]. *Exp Gerontol*, 2019, 120(1): 6-14.
- [7] Cho BK, Park JK. Correlation between joint-position sense, peroneal strength, postural control, and functional performance ability in patients with chronic lateral ankle instability[J]. *Foot Ankle Int*, 2019, 40(8): 961-968.
- [8] Ramirez-Campillo R, Alvarez C, Garcia-Hermoso A, et al. High-speed resistance training in elderly women: effects of cluster training sets on functional performance and quality of life[J]. *Exp Gerontol*, 2018, 110(3): 216-222.
- [9] Peeling P, Binnie MJ, Goods P, et al. Evidence-based supplements for the enhancement of athletic performance[J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2018, 28(2): 1-10.
- [10] Dunning J, Mourad F, Zingoni A, et al. Cavitation sounds during cervicothoracic spinal manipulation[J]. *Int J Sports Phys Ther*, 2017, 12(4): 642-650.
- [11] Mourad F, Dunning J, Zingoni A, et al. Unilateral and multiple cavitation sounds during lumbosacral spinal manipulation[J]. *J Manip Physiol Ther*, 2019, 42(1): 12-22.
- [12] Adams AA, Wood J. Forces used in selected chiropractic adjustments of the low back: a preliminary study[J]. *Res Forum*, 1984, 1(1): 5-9.
- [13] Wood J, Adams AA. Comparison of forces used in selected adjustments of the low back by experienced chiropractors and chiropractic students with no clinical experience: a preliminary study[J]. *PCC Res Forum*, 1984, 1(1): 16-23.
- [14] Hessell BW, Herzog W, Conway PJ, et al. Experimental measurement of the force exerted during spinal manipulation using the Thompson technique[J]. *J Manip Physiol Ther*, 1990, 13(8): 448-453.
- [15] Pagé I, Biner é, Descarreux M. Vertebral displacements and muscle activity during manual therapy: distinct behaviors between spinal manipulation and mobilization[J]. *J Manip Physiol Ther*, 2018, 41(9): 753-761.
- [16] Engell S, Triano JJ, Howarth SJ. Force transmission between thoracic and cervical segments of the spine during prone-lying high-velocity low-amplitude spinal manipulation: a proof of principle for the concept of regional interdependence[J]. *Clin Biomech*, 2019, 69(1): 58-63.
- [17] Owens Jr EF, Hosek RS, Mullin L, et al. Thrust magnitudes, rates, and 3-dimensional directions delivered in simulated lumbar spine high-velocity, low-amplitude manipulation[J]. *J Manip Physiol Ther*, 2017, 40(6): 411-419.
- [18] Funabashi M, Nougarou F, Descarreux M, et al. Spinal tissue loading created by different methods of spinal manipulative therapy application[J]. *Spine*, 2017, 42(9): 635-643.
- [19] Colloca CJ, Cunliffe C, Hegazy MA, et al. Measurement and analysis of biomechanical outcomes of chiropractic adjustment performance in chiropractic education and practice[J]. *J Manip Physiol Ther*, 2020, 43(3): 212-224.
- [20] Jun P, Pagé I, Vette A, et al. Potential mechanisms for lumbar spinal stiffness change following spinal manipulative therapy: a scoping review[J]. *Chiropr Ther Man*, 2020, 28(1): 1-13.
- [21] Bialosky JE, Bishop MD, Price DD, et al. The mechanisms of manual therapy in the treatment of musculoskeletal pain: a comprehensive model[J]. *Man Ther*, 2009, 14(5): 531-538.
- [22] Bialosky JE, Beneciuk JM, Bishop MD, et al. Unraveling the mechanisms of manual therapy: modeling an approach[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2018, 48(1): 8-18.
- [23] Gorrell LM, Conway PJ, Herzog W. Reflex responses of neck, back, and limb muscles to high-velocity, low-amplitude manual cervical and upper thoracic spinal manipulation of asymptomatic individuals—a descriptive study[J]. *J Manip Physiol Ther*, 2019, 42(8): 572-581.
- [24] Dishman JD, Burke JR, Dougherty P. Motor neuron excitability attenuation as a sequel to lumbosacral manipulation in subacute low back pain patients and asymptomatic adults: a cross-sectional H-reflex study[J]. *J Manip Physiol Ther*, 2018, 41(5): 363-371.
- [25] Azadvari M, Razavi ZE, Rezaiee-Moghaddam F, et al. H-Reflex attenuation after lumbosacral manipulation in patients with low back pain [J]. *Acta Medica Iranica*, 2018, 56(10): 671-676.
- [26] Navid MS, Lelic D, Niazi IK, et al. The effects of chiropractic spinal manipulation on central processing of tonic pain—a pilot study using standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA)[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 6925-6932.
- [27] Gyer G, Michael J, Inklebarger J, et al. Spinal manipulation therapy: is it all about the brain? a current review of the neurophysiological effects of manipulation[J]. *J Integr Med*, 2019, 17(5): 328-337.
- [28] Minarini G, Ford M, Esteves J. Immediate effect of T2, T5, T11 thoracic spine manipulation of asymptomatic patient on autonomic nervous system response: single-blind, parallel-arm controlled-group experiment[J]. *Int J Osteopath Med*, 2018, 30(1): 12-17.
- [29] Hart JM, Pietrosimone B, Hertel J, et al. Quadriceps activation following knee injuries: a systematic review[J]. *J Athl Train*, 2010, 45

- (1):87 - 97.
- [30] Glaviano NR, Bazett-Jones DM, Norte G. Gluteal muscle inhibition: consequences of patellofemoral pain? [J]. Med Hypotheses, 2019, 126(1): 9-14.
- [31] Briani RV, de Oliveira Silva D, Flóride CS, et al. Quadriceps neuromuscular function in women with patellofemoral pain: influences of the type of the task and the level of pain[J]. PLoS One, 2018, 13(10): 205553-205559.
- [32] Grindstaff TL, Hertel J, Beazell JR, et al. Effects of lumbopelvic joint manipulation on quadriceps activation and strength in healthy individuals[J]. Man Ther, 2009, 14(4):415-420.
- [33] Bucek DW. Reduction of knee pain in a 45-year-old woman after pelvic manipulation and kinesiology taping: a case report[J]. J Chiropr Med, 2019, 18(3): 236-241.
- [34] Victor A, Matkovich G. The effect of spinal manipulation on biceps brachii muscle activity[J]. Chiropr Clin, 2016,1(1):14-23.
- [35] Haavik H, Niazi IK, Jochumsen M, et al. Impact of spinal manipulation on cortical drive to upper and lower limb muscles[J]. Brain Sci, 2017, 7(1): 2-9.
- [36] Borms D, Cools A. Upper-extremity functional performance tests: reference values for overhead athletes[J]. Int J Sports Med, 2018, 39 (6): 433-441.
- [37] Thomas K, Brownstein C, Dent J, et al. Neuromuscular fatigue and recovery after heavy resistance, jump, and sprint training[J]. Med Sci Sports Exerc, 2018, 50(12): 2526-2535.
- [38] Bily W, Sarabon N, L'fler S, et al. Relationship between strength parameters and functional performance tests in patients with severe knee osteoarthritis[J]. PMR, 2019, 11(8): 834-842.
- [39] Niazi IK, Türker, Kemal S, et al. Changes in H-reflex and V-waves following spinal manipulation[J]. Exp Brain Res, 2015, 233 (4): 1165-1173.
- [40] Christiansen TL , Niazi IK , Holt K , et al. The effects of a single session of spinal manipulation on strength and cortical drive in athletes [J]. Eur J Appl Physiol, 2018, 118(4):739-749.
- [41] Holt K, Niazi IK, Nedergaard RW, et al. The effects of a single session of chiropractic care on strength, cortical drive, and spinal excitability in stroke patients[J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 1-10.
- [42] Matsugi A. Changes in the cortical silent period during force control [J]. Somatosensory & motor research, 2019, 36(1): 8-13.
- [43] Al-Dadah O, Shepstone L, Donell ST. Proprioception deficiency in articular cartilage lesions of the knee[J]. Knee Surg Relat Res, 2020, 32: 25-31.
- [44] Tuthill JC, Azim E. Proprioception[J]. Curr Biol, 2018, 28(5): 194-203.
- [45] Montell C. Coordinated movement: watching proprioception unfold [J]. Curr Biol, 2019, 29(6): 202-205.
- [46] Bokil C, Bisen R, Kalra K. Effectiveness of upper extremity proprioceptive training on reaction time in table tennis players[J]. Int J Health Sci Res, 2020, 10(5): 34-39.
- [47] Pilurzi G, Ginatempo F, Mercante B, et al. Role of cutaneous and proprioceptive inputs in sensorimotor integration and plasticity occurring in the facial primary motor cortex[J]. J Physiol, 2020, 598(4): 839-851.
- [48] Nunes JP, Ribeiro AS, Schoenfeld BJ, et al. Comment on: "comparison of periodized and non-periodized resistance training on maximal strength: A meta-analysis" [J]. Sports Med, 2018, 48(2): 491-494.
- [49] Mousavi-Khatir R, Talebian S, Toosizadeh N, et al. Disturbance of neck proprioception and feed-forward motor control following static neck flexion in healthy young adults[J]. J Electromyogr Kines, 2018, 41(2): 160-167.
- [50] de Fontenay BP, Mercier C, Bouyer L, et al. Upper limb active joint repositioning during a multijoint task in participants with and without rotator cuff tendinopathy and effect of a rehabilitation program[J]. J Hand Ther, 2020, 33(1): 73-79.
- [51] Cho BK, Park JK, Choi SM, et al. The peroneal strength deficits in patients with chronic ankle instability compared to ankle sprain copers and normal individuals[J]. Foot Ankle Surg, 2019, 25(2): 231-236.
- [52] Downes JW. The master's athlete: defying aging[J]. Topics Clin Chiropr, 2002, 9(2): 53-60.
- [53] Daligadu J, Haavik H, Yielder PC, et al. Alterations in cortical and cerebellar motor processing in subclinical neck pain patients following spinal manipulation [J]. J Manipulative Physiol Ther, 2013, 36(8): 527-537.
- [54] 郑尉, 张冰, David B, 等. 脊柱手法治疗改善运动员本体感觉缺陷机制探讨[J]. 中国运动医学杂志, 2016, 35(1):106-109.
- [55] Haavik H, Murphy B. The role of spinal manipulation in addressing disordered sensorimotor integration and altered motor control[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2012, 22(5): 768-776.
- [56] Gómez F, Escrivá P, Oliva-Pascual-Vaca J, et al. Immediate and short-term effects of upper cervical high-velocity, low-amplitude manipulation on standing postural control and cervical mobility in chronic nonspecific neck pain: a randomized controlled trial[J]. J Clin Med, 2020, 9(8): 2580-2588.
- [57] Goertz CM, Xia T, Long CR, et al. Effects of spinal manipulation on sensorimotor function in low back pain patients – a randomised controlled trial[J]. Manual Ther, 2016, 21(2): 183-190.
- [58] Oliva PA, Punzano RR, Escrivá AP, et al. Short-term changes in algometry, inclinometry, stabilometry, and urinary pH analysis after a thoracolumbar junction manipulation in patients with kidney stones [J]. J Altern Complement Med, 2017, 23(8): 639-647.
- [59] Farazdaghi MR, Motealleh A, Abtahi F, et al. Effect of sacroiliac manipulation on postural sway in quiet standing: a randomized controlled trial[J]. Braz J Phys Ther, 2018, 22(2): 120-126.